УДК 621.3:63

# РЕЗУЛЬТАТИ Й ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

***В. В. Адамчук, доктор технічних наук, академік НААН України***
***В. А. Музиченко, кандидат технічних наук***
***Національний науковий центр***
***«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»***
***e-mail: nnc-imesg@ukr.net***

**Анотація.** *Проаналізовано та узагальнено стан розробок ННЦ «ІМЕСГ» у галузі агроелектротехнології, наведено результати досліджень, визначено пріоритетні напрями подальших робіт з метою ресурсо- та енергозбереження.*

**Ключові слова:** ***агроелектротехнологія, насіння, сепарація, стимуляція, рослинна продукція із соковитими тканинами, зберігання, аероіони, режими обробки***

Одним із найефективніших методів ресурсо- та енергозбереження під час виробництва сільськогосподарської продукції є підвищення продуктивності виробництва та скорочення втрат під час зберігання. При збільшенні врожайності питомі енергозатрати відповідно зменшуються. Усунення втрат збільшує ресурси споживання до 30%, а затрати на це вдвічі – тричі менші, ніж на додаткове виробництво такого самого обсягу продукції.

Вирішення проблеми інтенсифікації виробництва потребує розробки відповідних новітніх технологій. Одним із таких методів є електротехнологія.

**Мета досліджень –** аналіз стану розробки й використання електротехнології в сільськогосподарському виробництві, визначення її пріоритетних напрямів та шляхів подальшого розвитку.

**Матеріали та методика досліджень.** Робота виконана на основі аналізу та узагальнення результатів досліджень, здійснених в ННЦ «ІМЕСГ», у галузі агроелектротехнології.

**Результати досліджень.** Електротехнологічні установки сільськогосподарського призначення є системи, що містять джерела енергії, робочі органи, які передають енергію біологічному об’єкту та власне самі об’єкти обробки. Наявність в такій системі біологічної складової потребує засобів, які дадуть змогу оцінити вплив енергетичного чинника, а відтак, визначати режими обробки. Результат такого впливу

*© В. В. Адамчук, В. А. Музиченко, 2016*

може, з точки зору енергетики, значно перевищувати енергозатрати на його реалізацію. Найвищий ефект у цьому разі може бути досягнутий в насінництві, кормоприготуванні та при зберіганні рослинної продукції із соковитими тканинами.

Класифікацію електротехнологічних установок сільськогосподарського призначення, пов'язаних із біологічними об'єктами, наведено в [1]. Там же подано перелік відповідних робіт, виконаних в Україні.

У ННЦ «ІМЕСГ» виконуються роботи з використання засобів електротехнології для розділення насіння за їх посівними якостями (сепарація) та покращення цих якостей (стимуляція). Виконано аналіз технічних засобів для електросепарації насіння. Класифікацію електросепараторів наведено в [2].

Запорукою отримання високих урожаїв є якісний посівний матеріал. Використання посівного матеріалу низької якості значно знижує врожайність та призводить до перевитрати насіння через завищення норм висіву в 1,5–2 рази [3].

Світовий досвід і практика підготовки насіння свідчать, що вирощуванням насіннєвого матеріалу займаються спеціалізовані фірми. Насіння доводиться до кондицій та пакується на спеціалізованих заводах. Такі заводи призначені для очистки високоякісного насіння високих репродукцій. Загальна матеріало- та енергоємність таких комплексів, а також їх вартість, на 2 порядки вища за аналогічні показники для електросепараторів за порівняно незначної (приблизно вдвічі вищій) продуктивності.

В Україні на сьогодні практично не застосовуються спеціалізовані машини для очищення насіння. Така підготовка насіння здійснюється, як правило, на зерноочисних машинах. Первинну підготовку насіння вони здійснюють на належному рівні, але остаточна очистка й сортування насіннєвого матеріалу потребує врахування специфічних його особливостей, а отже, і спеціального обладнання. Із механічних зерноочисних машин найбільш придатними для очистки та сортування посівного матеріалу є гравітаційні сепаратори, які ще називають пневматичними сортувальними столами. Вони ж практично не пошкоджують насіння.

Фермерські господарства намагаються обходитися власним, як правило, далеко не найкращих сортів, насінням. Ті господарства, що мають таку можливість, закуповують якісне насіння переважно в іноземних фірмах. При цьому сорти культур не завжди відповідають місцевим умовам.

Спеціальні машини для підготовки насіння знайшли розповсюдження лише в тих галузях рослинництва, де насіння використовується тільки для сівби, як, наприклад, у буряківництві. При підготовці ж до сівби зернових, бобових тощо використовують наявні зерноочисні машини. Такі машини не можуть забезпечити вимоги стандартів щодо посівних якостей насіння. У зв'язку з цим, розроблюються електрозерноочисні машини, які здатні не тільки очищувати насіння від домішок та сортувати його за геометричними

розмірами, а й відбирати найбільш повноцінне з біологічної точки зору. Всі електричні методи сортування насіння базуються на здатності насіння сприймати заряд залежно від його питомої ваги та хімічного складу. Останній, у свою чергу, переважно залежить від ступеня достиглого насіння.

Відомо, що насіння з вищою здатністю до проростання та енергією проростання й урожай дасть вищий [4].

Критерієм, який дає змогу оцінити якість електросепарації відразу після сепарації, є маса 1000 насінин. Багаторічні дослідження, виконані в ІМЕСГ, свідчать, що після сепарації в електростатичному полі маса 1000 насінин підвищується на 4…7%. З іншого боку, дослідженнями агрономів встановлено, що збільшення маси 1000 насінин призводить до підвищення врожайності. Наприклад, при врожайності пшениці сорту Лютесценс 35,3 ц/га, прибавка врожаю від кожного грама абсолютної маси 1000 насінин становить 1,08 ц/га [5].

Беззаперечною перевагою електросепараторів є можливість відбирати найбільш повноцінне, з біологічної точки зору, насіння. Це пояснюється тим, що окрім механічних критеріїв відбору насіння, які використовуються в усіх типах сепараторів, в електросепараторах враховуються електричні фактори (провідність, діелектрична проникність тощо). Біологічні властивості насіння тісно корелюють з його електричними властивостями. Електричні властивості насіння впливають на заряд, який може отримати насінина. Від величини заряду залежить сила, що діє на насінину в електричному полі. Величина електричної сили, що діє на насіння, визначає те переміщення насіння в електричному полі, що й визначає якість сепарації.

Ефективність електросепарації ярого ячменю сорту Едем за різними показниками наведено на рис. 1.

Аналіз методів і технічних засобів електросепарації дає змогу пропонувати для подальшого вдосконалення барабанні електрокоронні сепаратори й електростатичні сепаратори із заземленим електродом у вигляді похилої площини та ізольованим барабаном, що обертається.

Проаналізовано технічні засоби для електростимуляції насіння. Встановлено, що всі методи стимуляції сприяють підвищенню врожайності в межах близько 10–20%. Відповідно перспективний стимулятор повинен мати якомога простішу конструкцію, споживати якомога менше енергії і, як наслідок, мати низьку вартість.

Таким вимогам відповідає розроблений в ННЦ “ІМЕСГ” електромагнітний стимулятор, призначений для підвищення енергії проростання насіння та його здатності до проростання з 95…97% до 99…100%, що дає змогу довести насіння до першого класу. Може застосовуватися для обробки всіх сільськогосподарських культур. Живлення від мережі однофазного струму з частотою 50 Гц та напругою 220 В. Питома споживана потужність – 5 Вт·год/кг. Тривалість обробки 1…4 хв. Таким чином, при потужності 5 кВт продуктивність стимулятора, залежно від тривалості обробки, становитиме 15–60 т/год. В остаточному підсумку

стимуляція підвищує врожайність на 15...25% як зерна, так і коренеплодів, зеленої маси тощо.

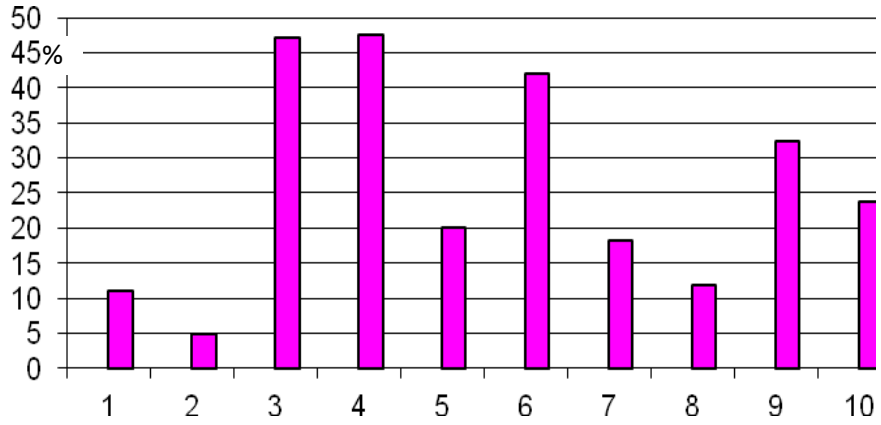



**Рис. 1. Ефективність електросепарації насіння ярого ячменю сорту Едем (% по відношенню до контролю):**

1 – маса 1000 насінин; 2 – енергія проростання; 3 – кількість рослин через місяць після висіву; 4 – висота надземної частини через місяць після висіву; 5 – висота рослин через місяць після висіву; 6 – маса паростків через місяць після висіву; 7 – кількість колосків; 8 – маса насіння; 9 – розрахункова врожайність; 10 – урожайність

На рис. 2 показано електромагнітний стимулятор насіння.

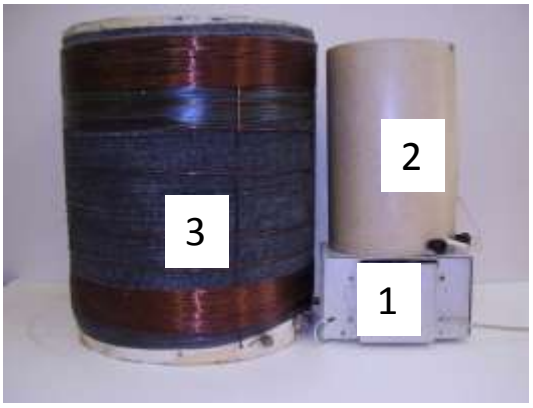



**Рис. 2. Електромагнітний стимулятор насіння:**

1 – блок живлення електромагнітного стимулятора;
2 – технологічний вузол продуктивністю 10 кг/год;
3 – технологічний вузол продуктивністю 100 кг/год

В електромагнітному стимуляторі оброблено насіння перцю сорту Каліфорнійське чудо. Напруженість магнітного поля під час обробки становила $3{,}2 \cdot 10^3$ А/м, тривалість обробки – 5 хвилин. Результати електромагнітної стимуляції показано на рис. 3.

**Рис. 3. Розсада перцю сорту Каліфорнійське чудо:**
1 – контроль; 2 – насіння розсади оброблено за допомогою електромагнітного стимулятора

Обґрунтовано доцільність використання електротехнологій для зберігання рослинної продукції із соковитими тканинами. Встановлено, що доповнюючи традиційні методи зберігання електрообробкою можна при незначних затратах отримати додатково до 20 % продукції, собівартість якої буде на 2 порядки нижча за решту. [6]. Аналіз режимів аероіонної обробки такої продукції, з метою підвищення ефективності її зберігання, наведено в [7]. Енергетичну оцінку використання іонізаторів у сховищах наведено в [6].

Аероіонна обробка рослинної продукції із соковитими тканинами дає змогу скоротити втрати при зберіганні. Вона може поєднуватися з усіма існуючими технологіями зберігання, підвищуючи їх ефективність, а також застосовуватись автономно. Вона не потребує переоснащення діючого технологічного обладнання. Енерговитрати на аероіонну обробку на кілька порядків нижчі від енерговитрат за традиційних технологій зберігання. Обґрунтована перспективність використання аероіонної обробки рослинної продукції із соковитими тканинами в усіх типах існуючих сховищ.

Для живлення високовольтних електротехнологічних установок сільськогосподарського призначення Сумським відкритим акціонерним товариством «SELMI» за технічним завданням ННЦ “ІМЕСГ” розроблено та виготовлено партію високовольтних блоків БВ-30. Блок має захист від перевантажень та короткого замикання.

Технічні характеристики БВ-30. Напруга живлення: 220В, 50Гц; вихідна напруга – до 30кВ; номінальний струм навантаження – 3мА. Габаритні розміри: високовольтного блоку 380×350×410, пульта керування 200×200×100. Маса, не більше, ніж: високовольтного блоку – 50 кг, пульта керування – 2 кг.

Загальний вигляд джерела живлення зображений на рис. 4.

**Рис. 4. Загальний вигляд джерела живлення БВ-30**

Він забезпечує роботу електросепаратора продуктивністю 3 тонни за годину, а також обробку рослинної продукції із соковитими тканинами в засіку місткістю 16 тонн. Потужність такого джерела живлення всього 30 Вт, тобто незрівнянно менше, ніж потужність будь-якого технологічного процесу.

Економічна оцінка засобів електротехнології свідчить про те, що термін їх окупності не перевищує кількох місяців. Незважаючи на низькі енергозатрати, економічність та екологічну чистоту методів і засобів елктротехнології, їх впровадження у сільськогосподарське виробництво гальмує недостатня обґрунтованість режимів обробки, а відтак – нестабільність її результатів. Основними режимами такої обробки є: інтенсивність, тривалість та періодичність. Визначення режимів обробки сільськогосподарських об’єктів пов’язане з рядом труднощів. Результати, що отримані одного року, на другий рік можуть не підтвердитися, тому що властивості сільськогосподарської продукції залежать від багатьох факторів, а саме: виду й сорту продукції, агротехнічних та кліматичних умов вирощування тощо.

Зворотній зв’язок від об’єкта обробки під час самої обробки або відразу після неї, дасть змогу оцінити ефективність обробки на тому етапі, коли ще є можливість відкоригувати її режими [8].

Для вирішення цієї проблеми на прикладі процесу аероіонної обробки та зберігання рослинної продукції отримані аналітичні вирази, що описують дію зовнішніх чинників на біологічний об’єкт [9,10,11,12,13].

Для отримання інформації про стан біологічного об’єкта запропоновано та апробовано використання біопотенціалів [14,15].

Відтак розроблено теорію визначення впливу електромагнітних чинників на біологічні об’єкти.

Запропоновано метод визначення режимів обробки рослинної продукції із соковитими тканинами, розроблено та апробовано відповідну методику [15,16,17,18,19,20]. Виконано виробничу перевірку визначених

режимів обробки. При зберіганні 500 тонн яблук протягом 6 місяців втрати скоротилися з 30% до 12%.

Прискорення впровадження у сільськогосподарське виробництво електротехнологій потребує розробки єдиної системи за участю біологічних об'єктів і технічних засобів, а також поєднання обробки продукції з існуючими технологіями. У насінництві це процеси завантаження та вивантаження технологічного вузла. Якщо для власне процесу сепарації насіння в установці продуктивністю 3 т\год. достатньо потужності 30 Вт, то установлена потужність електродвигунів: на сепараторі – 0,55 кВт, на завантажувальному та розвантажувальному транспортерах – по 0,75 кВт, на ходовій частині – 1,1 кВт. Питома споживана потужність електромагнітного стимулятора – 5 Вт·год/кг. Енергозатрати на завантаження, розвантаження та переміщення стимулятора вздовж бурта аналогічні енергозатратам при сепарації. Ці операції доцільно суміщати з відправкою насіння в поле.

При зберіганні рослинної продукції із соковитими тканинами одноразова обробка під час закладки на зберігання може бути суміщена з процесом завантаження сховищ. Відповідна періодична обробка доцільна тільки при її суміщенні з активним вентилюванням.

## Висновки

1. Підготовлено до впровадження установки для підготовки насіннєвого й посадкового матеріалу (електросепарація та електромагнітна стимуляція) та аероіонізатори для сховищ рослинної продукції із соковитими тканинами.
2. Визначено шляхи узгодження електротехнологічних операцій з існуючими технологіями.
3. Розроблено теорію визначення впливу електромагнітних чинників на біологічні об'єкти.
4. Розроблено методику визначення режимів обробки біологічних об'єктів
5. Потребують вдосконалення системи, що містять джерела енергії, робочі органи, які передають енергію біологічному об'єкту, засоби отримання інформації від біологічного об'єкта про вплив на нього режимів обробки, з подальшим включенням у цю систему засобів автоматичного керування режимами обробки, а також власне самих об'єктів обробки.

## Список літератури

1. Мартиненко І. І. Проблеми, перспективи та результати досліджень по використанню електротехнології в сільськогосподарському виробництві / І. І. Мартиненко, В. А. Музиченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – № 3. – С. 32–40.
2. Методичні рекомендації по використанню аероіонізації для покращення лежкості картоплі / [М. К. Лінник, П. В. Гринько, А. В. Бурилко та ін.]. – Глеваха : ІМЕСГ, 2006. – 21 с.

3. Шмигель В. В. Сепарация и стимуляция семян в электрическом поле / В. В. Шмигель // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 9. – 2004. – С. 23–24.

4. Кулешов. Н. Н. Лабораторная и полевая всхожесть семян сельскохозяйственных растений и её научно-производственное значение / Н. Н. кулешов / Биологические основы повышения качества семян сельскохозяйственных растений // Материалы научной сессии. – 26–30 ноября 1963 г. – М. : Наука, 1964. – С. 83–87.

5. Успенский Н. А. Повышение урожайных качеств семян яровой пшеницы при подготовке их к посеву / Н. А. Успенский, П. Т. Корольков // Вопросы семеноводства, семеноведение и контрольно-семенного дела. Вып. 2. Материалы совещания по организации научно-исследовательской работы в области семеноводства, семеноведения и контрольно-семенного дела. Харьков. 1962 г. 17–22 декабря. – К. : Урожай, 1964. – С. 161–165.

6. Мартиненко І. І. Проблеми та перспективи використання електротехнології для підвищення ефективності зберігання рослинної продукції з соковитими тканинами / І. І. Мартиненко, Б. І. Котов, В. А. Музиченко / Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип. 28. – С. 3–13.

7. Музиченко В. А. Аналіз режимів аероіонної обробки рослинної продукції з соковитими тканинами [Електронний ресурс] / В. А. Музиченко // Міжнародна інтернет-конференція «Роль земледельческой механики в социальном развитии общества» : зб. наукових доповідей. – Глеваха-Мелітополь : ІМЕСГ-ТДАТА, 2005. – Т. 1. – С. 131–144.

8. Музиченко В. А. використання зворотного зв’язку від об’єкта обробки для визначення параметрів установки і режимів обробки / В. А. Музиченко // актуальні питання сталого розвитку сільськогосподарського виробництва : міжнар. науково-практична конф., 24–25 квітня 2014 р. – Бережани, 2014. – С. 8–10.

9. Музиченко В. А. Моделювання процесу аероіонної обробки рослинної сировини / В. А. Музиченко // Вісник аграрної науки. – 1998. – № 4. – С. 54–57.

10. Музиченко В. А. Математична модель процесу аероіонної обробки та зберігання рослинної продукції / В. А. Музиченко // Механізація та електрифікація сіл. госп.-ва. – К. : Ей-Бі-Сі, 2000. – Вип. 83. – С. 189–191.

11. Музиченко В. А. Визначення ефективності зберігання рослинної продукції з соковитими тканинами / В. А. Музиченко // Механізація та електрифікація сіл. госп.-ва. – К. : Ей-Бі-Сі, 2002. – Вип. 86. – С. 240–244.

12. Музиченко В. А. визначення стану біологічного об’єкта при зберіганні після обробки [Електронний ресурс] / В. А. Музиченко // енергетика і автоматика, 2013. – № 2. – С. 75–81.

13. Музыченко В. А. Моделирование состояния сочного растительного сырья при обработке и хранении / В. А. Музыченко // научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-технич. конф. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – С. 229–233.

14. Музиченко В. А. Використання біопотенціалів для контролю за станом рослинної продукції / В. А. Музиченко // Механізація і енергетика сільського господарства : IV Міжнародна науково-технічна конференція MOTROL 2003. – Люблін-Київ. – 21–23 травня 2003 р. –- С. 352–356.

15. Мартыненко И. И. Определение потенциальной лёжкости и режимов обработки растительного сырья с сочными тканями / И. И. Мартыненко, Н. К. Линник, В. А. Музыченко // Энегосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике : М., 2006. – Ч. 2. – С. 185–193.

16. Мартиненко О. І. Методика визначення режимів аероіонної обробки / О. І. Мартиненко, В. А. Музиченко // Вісник аграрної науки. – 1999. – № 3. – С. 47–50.

17. Музиченко В. А. Визначення тривалості обробки біологічних об'єктів в полі коронного розряду / В. А. Музиченко // Механізація та електрифікація сіл. госп.-ва. – К. : ПоліграфКонсалтинг, 2003. – Вип. 87. – С. 278–284.

18. Музиченко В. А. Оптимізація режимів одноразової аероіонної обробки / В. А. Музиченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 4. – С. 24–29.

19. Музиченко В. А. Вплив тривалості та періодичності аероіонної обробки на її ефективність / В. А. Музиченко // Техніка АПК. – 2005. – № 10–11. – С. 34–35.

20. Музиченко В. А. Визначення режимів електрообробки рослинної продукції з соковитими тканинами / В. А. Музиченко, І. В. Бондаренко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2013. – Вип. 97. – Т. 2. – С. 194–201.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАННЯ БИОЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

***В. В. Адамчук, В. А. Музыченко***

**Аннотация.** *Проанализировано и обобщено состояние разработок ННЦ ИМЕСГ,приведены результаты исследований, определены приоритетные направления дальнейших работ с целью ресурсо- и энергосбережения.*

**Ключевые слова:** ***агроэлектротехнология, семена, сепарация, стимуляция, растительная продукция с сочными тканями, хранение, аэроионы, режимы обработки***

## RESULTS AND OUTLOOK FOR USE BIOELECTROTECHNOLODGY FOR RESOURCE AND ENERGY SAVING

***V. Adamchuk, V. Moozychenko***

**Annotation.** *Based on developments of NSC "IAEE" in agroelectrotechnolodgy the analysis and synthesis of their condition results of researches the priority areas identified for further work to resource and energy conservation.*

**Key words:** ***agroelectrotechnolodgy, seeds, separation, stimulation, vegetative production with juicy fabrics, storage, air, ion, modes of treatment***

УДК 631.95: 502.064.2: 504.055

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

***Ю. Е. Виноградов, инженер***
***Д. С. Стребков, академик РАН***
***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: nauka-ds@mail.ru***

**Аннотация.** *Рост численности населения Земли сопровождается ростом сельскохозяйственного и промышленного производства и увеличением использования ископаемого топлива для производства энергии, что приводит к загрязнению среды обитания и увеличению воздействия на параметры климата.*

*Приведены исследования соотношений мощности природных и антропогенных процессов, которые позволяют выяснить корреляцию между антропогенной деятельностью человечества и поведением климата. Показано, что антропогенной теплоты хватает, чтобы обеспечить скорость потепления и скорость прироста уровня мирового океана талой водой ледников – на уровнях, регистрируемых соответствующими службами мониторинга.*

**Ключевые слова:** ***ископаемое топливо, энергетика, антропогенное воздействие, парниковые газы, управление климатом***

В 1997 г. был подготовлен для ратификации Киотский протокол. В 2004 г. президент РАН Ю. Осипов сообщил: «Киотский протокол не имеет научного обоснования». В таком случае получается, что Киотский протокол был принят и действует на основании общепринятого мнения, но не на основе научного мнения [1]. Документы МГЭИК, в частности, Доклад № 5 и Решения Парижской конференции по климату в декабре 2015 г. исповедуют базовый принцип Киотских соглашений, т.е. тоже научно не обоснованы.

**Цель исследований** – изучение антропогенного воздействия на изменение климата.

**Материалы и методика исследований.** Научное обоснование может формироваться путём создания физической модели исследуемого природного процесса, математического обоснования модели расчётным путём и проведения экспериментов, подтверждающих расчёты. Необходимым элементом научно обоснованного мнения являются расчёты по принятым методикам на основе данных, полученных из

*© Ю. Е. Виноградов, Д. С. Стребков, 2016*

данных мониторинга. Результаты расчётов должны совпадать с реальными параметрами процессов.

**Результаты исследований.** *1. О научном обосновании Киотского протокола*

При подготовке к ратификации Киотского протокола не рассматривалось влияние теплоты, выделяемой при сгорании топлива, на температуру атмосферы [2]. Решение о целесообразности игнорирования антропогенной теплоты в атмосфере может быть принято на основании анализа результатов расчётов параметров климата с учётом антропогенной теплоты, что и является целью этой статьи.

На рис. 1 приведена динамика изменения средней температуры атмосферы планеты за последние 160 лет [3].

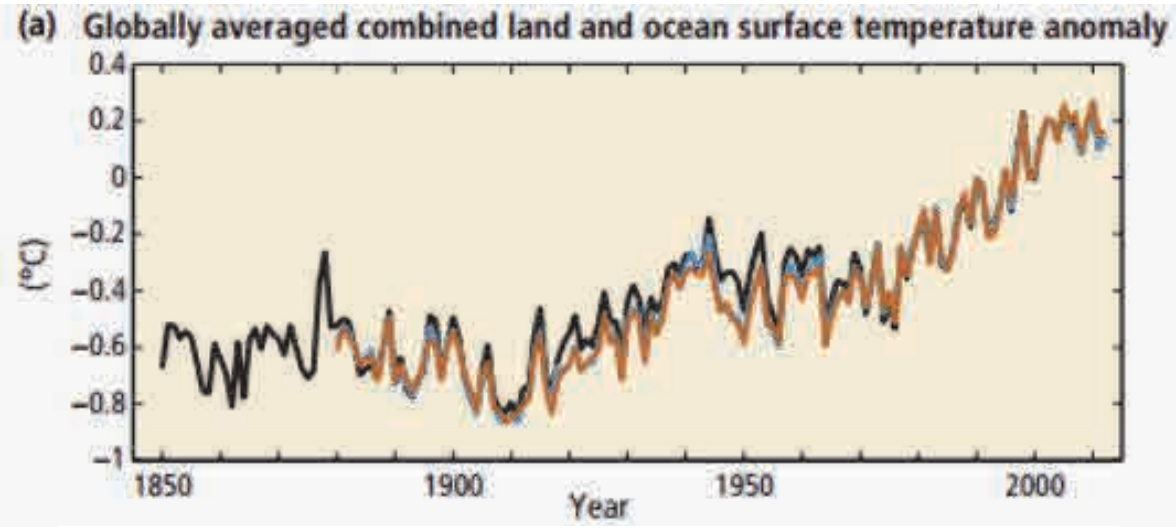



**Рис. 1. Изменение средней температуры поверхности земли и океана**

Из рис. 1 следует, что за период в 25 лет (с 1980 г. по 2005 г.) средняя температура атмосферы (и воды в океанах) повысилась на 0.4 градуса (повышалась со скоростью $dT_{\text{ОБИТАНИЯ}}$ = 0.016 *град/год*).

Необходимые для расчётов значения параметров и исходных данных по климату приведены в табл. 1.

**1. Значения параметров и исходных данных по климату**

| Параметры и исходные данные по климату | Значения | Источник |
|---|---|---|
| Ежегодное увеличение температуры среды обитания, $dT_{\text{ОБИТАНИЯ}}$ (*град*/*год*) | 0.016 | [3] |
| Площадь поверхности Земли, $S_{\text{ЗЕМЛИ}}$ (см$^2$) | $0.5*10^{19}$ | [4] |
| Площадь океанов и морей, $S_{\text{ВОДН}}$ (*км*$^2$) | $361*10^6$ | [4] |
| Общий объём льда на планете, $V_{\text{ЛЬДА}}$ (*км*$^3$) | $26*10^6$ | [4] |
| Удельная теплоёмкость воздуха, $C_P$ (кДж/(*кг*град*)) | 1.0 | [5] |
| Масса воздуха над поверхностью планеты, $m_{\text{НАД_КВ.СМ.}}$ (*кг*/*см*$^2$) | 1.0 | [5] |
| Удельная теплота плавления льда, $\lambda_{\text{ЛЁД}}$ (кДж/*кг*) | 334 | [5] |

| | | |
|---|---|---|
| Удельная теплоёмкость воды, $C_{воды}$ (кДж/(*кг*град*)) | 4.19 | [5] |
| Удельная плотность двуокиси углерода, $\rho_{CO2}$ (*кг/м*$^3$) | 1.3 | [5] |
| Численность населения на планете, $КОЛ_{людей}$ (ед.) | $7.35*10^9$ | [6] |
| Тепловой поток от живого человека, $N_{челов.}$ (Вт/чел.) | 120 | [7] |

*2. Антропогенное воздействие на климат*

*2.1. Расчёт ежегодного теплового загрязнения среды обитания от сжигания ископаемого топлива*

На гистограмме рис. 2 приведены сведения о структуре и объёме потребляемого за год топлива на планете. По горизонтали отложены года (от 1900 г. до 2008 г.), а по вертикали – значения потребляемого топлива в миллионах тонн условного топлива (млн. т у.т.).

Суммарный объём потребляемого топлива в течение 2008 года составил 11.8 млрд т условного топлива. В 2016 году потребление следует ожидать до $M_{усл.топл.} = 14.0*10^{12}$ кг/год.

Один килограмм условного топлива выделяет при сгорании в атмосферу $Q_{уд_усл} = 0.29232*10^5$ кДж/кг.

Теплота от сгоревшего в течение года топлива, выделяется в атмосферу в количестве $Q_{топл}$ :

*QТОПЛ = M*QУД_УСЛ = 14.0*1012*0.29232*105 = 4.09*1017 кДж/год*

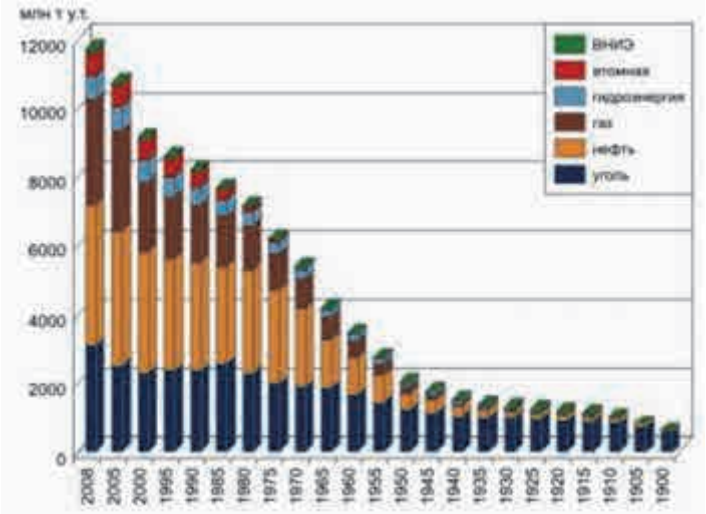



**Рис. 2. Динамика потребления топлива в мире**

*2.2. Тепловое загрязнение от передачи в атмосферу теплоты от человеческих тел и животных*

При определении теплового загрязнения от передачи в атмосферу теплоты от человеческих тел и животных $Q_{живность}$ принимается, что человек выделяет в атмосферу тепловой поток в соответствии с п. 9 табл. 1, а, учитывая, что для каждого человека приходится содержать не менее одного животного, обеспечивающего человека молоком, маслом, сыром, мясом (а животные выделяют в атмосферу в два раза больше

теплоты, чем человек; численность населения – см. п. 8 табл. 1), тогда тепловыделение $Q_{\textbf{живность}}$ будет равно:

$$Q_{ЖИВНОСТЬ} = 3^* N_{ЧЕЛОВ.} * КОЛ_{ЛЮДЕЙ} * Ч_{С/ГОД} =$$

$$= 3^* 120 * 7.35 * 10^9 * 3.15 * 10^7 = 8.34 * 10^{19} \text{ Дж/год } (0.834 * 10^{17} \text{ кДж/год}),$$

где: $Ч_{\textbf{С/ГОД}}$ – число секунд в году ($Ч_{\textbf{С/ГОД}}$ =365*24*3600 = $3.15*10^{\textbf{7}}$ с/год).

Антропогенное тепловое загрязнение среды обитания, с учетом теплоты сгораемого топлива и тепловыделения людей и животных (п. 2.1.), составит, $Q_{\textbf{ТОПЛ+ЧЕЛ}}$:

$$Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ} = Q_{ТОПЛ} + Q_{ЖИВНОСТЬ} = 4.09 * 10^{17} + 0.834 * 10^{17} = 4.92 * 10^{17} \text{ кДж/год.}$$

*2.3. Расчёт энергии, необходимой для ежегодного повышения температуры среды обитания на 0.016$^o$ С*

Масса атмосферы, $M_{\textbf{АТМ}}$, с учётом п. 2 и п. 4 табл. 1, численно равна площади поверхности Земли, взятой в сантиметрах квадратных:

$$M_{АТМ} = S_{ЗЕМЛИ} * m_{НАД_КВ.СМ.} = 0.5 * 10^{19} * 1.0 = 0.5 * 10^{19} \text{ кг.}$$

Количество энергии, необходимое для нагрева атмосферы на 0.016 градуса (см. п.1 табл. 1) в год равно:

$$Q_{АТМ_0.016} = M_{АТМ} * C_P * dT_{ОБИТАНИЯ} = 0.5 * 10^{19} * 1.0 * 0.016 =$$

$$= 0.8 * 1017 \text{ кДж/год.}$$

*2.4. Расчёт энергии, необходимой ежегодно для таяния ледников и нагрева талой воды до средней температуры воды в океане*

Предварительно нужно рассчитать объём льда ($V_{ЛЬДА}$) который нужно растопить, чтобы уровень океана, площадь которого $S_{ВОДН}$ = $361*10^6$ км $^2$ (п. 2. табл.1), увеличился на величину $dh_{ОКЕАНА}$ = $2.9*10^{-3}$м/год (см. рис. 3) [3], предполагая, что уровень мирового океана повышается за счёт убыли льда в ледниках.

При расчетах предполагается, что плотность воды и льда, в первом приближении, составляет 1000 *кг/м*$^{\textbf{3}}$, тогда объём льда в 1046 *км* $^{\textbf{3}}$ имеет массу $m_{\textbf{ЛЬДА}}$ = $1.046*10^{\textbf{15}}$ *кг*. Гренландия в последние годы теряет до 240 кубокилометров льда.

Количество энергии, $Q_{\textbf{ЛЬДА}}$, которое требуется для того, чтобы растопить лёд в количестве $V_{\textbf{ЛЬДА}}$ = 1046 *км*$^{\textbf{3}}$ и нагреть талую воду до средней температуры вод океанов (до +4 °С).

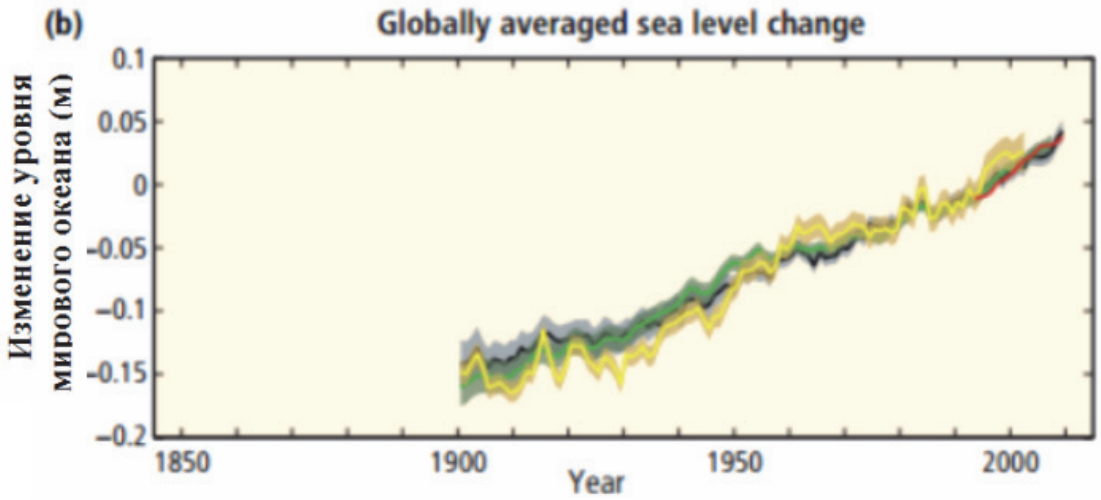



**Рис. 3. Изменение уровня мирового океана [3]**

$$V_{ЛЬДА} = S_{ВОДН} * dH_{ОКЕАНА} = 361*10^{6} * 2.9*10^{-6} = 1046 \text{ км}^3\text{/год.}$$

$$Q_{ЛЬДА} = \lambda_{ЛЁД} * m_{ЛЬДА} + dT_{ВОДЫ} * C_{ВОДЫ} * m_{ЛЬДА} = 334*1.046*10^{15} +$$

$$+ 4*4.19*1.046*10^{15} = 3.49*10^{17} + 0.175*10^{17} = 3.66*10^{17} \text{ кДж/год,}$$

где: $\lambda_{ЛЁД}$ – удельная теплота плавления льда, $\lambda_{ЛЁД}$ = 334 кДж/*кг;*

- $C_{ВОДЫ}$ – удельная теплоёмкость воды, $C_{ВОДЫ}$ =1.0 кДж/(*кг*град*).

В сумме с энергией, необходимой на нагрев атмосферы с существующей скоростью ($Q_{ATM_0.016}$ = $0.8*10^{17}$ кДж*/год*), полученное значение $Q_{ЛЬДА}$ = $3.66*10^{17}$ кДж/*год* – это меньше, чем количество антропогенной теплоты ( $Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ}$ = $4.92*10^{17}$ кДж*/год*).

Остаток антропогенной теплоты $Q_{ОСТ}$ = $0.46*10^{17}$ кДж*/год.*

*2.5. Определение удельной мощности теплового потока антропогенного загрязнения атмосферы*

Чтобы определить удельную мощность теплового потока антропогенного загрязнения атмосферы $N_{УД_ЗАГР}$, следует величину антропогенной теплоты, попадающей в атмосферу за год, $Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ}$ = $4.92*10^{20}$ Дж*/год*, привести **к** площади поверхности $S_{ЗЕМЛИ}$ = $0.5*10^{15}$ м$^2$ :

$$N_{УД_ЗАГР} = Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ} / (S_{ЗЕМЛИ} * Ч_{С/ГОД}) = 4.92*10^{20} /(0.5*10^{15}*3.15*10^{7}) = = 2.93*10^{-2} \text{ Вт/м}^2,$$

где: $Ч_{С/ГОД}$ – число секунд в году ($Ч_{С/ГОД}$ =365*24*3600 = $3.15*10^{7}$ *с/год*).

*2.6. Поглощение антропогенной теплоты водами морей и океанов*

При определении количества антропогенной теплоты $Q_{ДОП}$, которое поглощается нагреваемыми водами океанов и морей из общего количества антропогенной теплоты должно быть вычтено количество теплоты, которое поглотил воздух при нагреве атмосферы ($Q_{ATM_0.016}$ = $0.8*10^{17}$ кДж*/год*) и то количество теплоты, которое за год поглотил тающий лёд (**(**$Q_{\Sigma}$ = $3.66*10^{17}$ кДж*/год*).

$$Q_{ДОП} = Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ} - Q_{АТМ_0.016} - Q_{Σ} = 4.92*10^{17} - 0.8*10^{17} - 3.66*10^{17} =$$

$$= 0.46*10^{17} \text{ кДж/год.}$$

*2.6.1. Выделение диоксида углерода в атмосферу из воды растаявшего льда, из морей и океанов*

Можно рассчитать количество диоксида углерода, которое выделится из талой воды растаявшего льда, если известно, что при $T_0$ = 0° вода содержит $v_{L_0}$ = 0.47 *мл/литр* двуокиси углерода, а при $T_{20}$ = 20° в воде содержится всего $v_{L_24}$ = 24 *мл/литр* двуокиси углерода [8].

Средняя температура океанов +4 °С [4].

При нагреве воды на $dT_{НАГРЕВ}$ = 4° каждый литр выделит в атмосферу количество диоксида углерода, $v_L$, равное:

$$v_L = (v_{L_0} - v_{L_24}) * dT_{НАГРЕВ} /(T_{20} - T_0) = 0.47 - 0.24/5 = 0.046 \text{ мл/литр.}$$

Один кубический метр нагретой воды выделит двуокиси углерода в 1000 раз больше, чем один литр:

$$v_{КУБОМЕТР} = 1000* v_L = 1000* 0.046 = 46 \text{ мл/м}^3.$$

Удельная плотность диоксида углерода в нормальных условиях $\rho_{CO2}$ = 1.3 *кг/м*$^3$, тогда масса диоксида углерода, выделившаяся из прогретого одного кубометра воды, равна:

$$Уд = v_{КУБОМЕТР} * \rho_{CO2} = 46*10^{-6} * 1.3 = 59.8*10^{-6} \text{ кг/м}^3.$$

Из одного кубического километра талой воды выделится двуокиси углерода в $10^9$ раз больше, чем из одного кубического метра воды:

$$Уд_км = Уд *10^9 = 59.8*10^{-6} *10^9 = 59.8*10^3 \text{ кг/км}^3.$$

Из всей талой воды, в количестве $V_{ЛЬДА}$ = 1046 *км*$^3$ выделится в год, в атмосферу диоксида углерода в количестве $M_{CO2\ ИЗ\ ТАЛ_ВОДЫ}$:

$$M_{CO2\ ИЗ\ ТАЛ_ВОДЫ} = Уд_км * V_{ЛЬДА} = 59.8*10^3*1046 = 6.255*10^7 \text{ кг/год}$$

двуокиси углерода (или 6.2*10$^4$ тонн).

*2.6.2. Можно вычислить количество диоксида углерода, которое выделится в атмосферу, если оставшаяся часть антропогенной теплоты, вычисленной в п.2.4. ($Q_{ОСТ}$ = 0.46*10$^{17}$ **кДж/год**) будет поглощена нагреваемой водой в океанах и морях.*

В п. 2.6.1. вычислено удельное выделение газа из воды при её нагреве на 4 градуса, (см. п.2.6.2.), а именно: Уд_км = 5.98*10$^4$ *кг/км*$^3$.

Остатком антропогенной теплоты $Q_{ДОП}$ = 0.46*10$^{17}$ кДж/***год*** (после отвлечения большей части антропогенной теплоты на нагрев воздуха и таяния льда в ледниках) может быть нагрето до +4 °С некоторое виртуальное количество воды $V_{ВИРТ}$:

$$V_{ВИРТ} = Q_{ДОП} /4* C_{ВОДЫ} = 0.46*10^{17} / (4*4.19*10^9) = 2.7*10^6 \text{ км}^3.$$

Нагретая вода в количестве, эквивалентной $V_{ВИРТ}$ = 2.7*10$^6$ *км*$^3$, выделит за год в атмосферу массу двуокиси углерода, $M_{ИЗ\ НАГР_ВОДЫ}$ :

$M_{CO2_ИЗ\ НАГР_ВОДЫ}$ = Уд_км *$V_{ВИРТ}$ = $5.98*10^{4}*2.7*10^{6}$ =$16.1*10^{10}$ *кг/год*. ($1.6*10^{*6}$ *т/год*).

Всего, с учётом нагрева талой воды (с учётом п.6.1.) в атмосферу выделяется ежегодно двуокиси углерода не менее $M_{CO2_ИЗ\ НАГР_ВОДЫ_Σ}$:

$$M_{CO2_ИЗ\ НАГР_ВОДЫ_Σ} = M_{CO2_ИЗ\ НАГР_ВОДЫ} + M_{CO2\ ИЗ\ ТАЛ_ВОДЫ} =$$

$$= 1.6*10^{*6} + 0.0625*10^{*6} = 1.66*10^{*6}\ т/\ год.$$

*2.7. Выделение диоксида углерода при сжигании органического топлива*

Можно определить массу антропогенного диоксида углерода, которая выделяется при сжигании за год всего органического топлива. Структура потребления топлива и потребляемой энергии приведена на рис. 2.

При сжигании метана ($CH_4$) получается вода и двуокись углерода.

Исходная масса газа (топлива), составляет 16 молей, а получается двуокиси углерода ($CO_2$) 44 молей. Масса двуокиси углерода превышает массу исходного топлива в 44/16 = 2.76 раза.

При сжигании каменного угля (уголь – это почти чистый углерод), масса двуокиси углерода в продуктах сгорания превышает массу топлива, как 44 к 12, т.е. в 3.66 раза (44/12 = 3.66 раза).

Доля каменного угля и углеводородов в структуре топлива приблизительно равны. Это позволяет предположить, что средний коэффициент прироста массы двуокиси углерода в процедурах горения топлива может составлять $К_{УВЕЛ}$ = (2.76+3.66)/2 = 3.2 раза. Известна доля сжигаемых углеводородов и каменного угля в структуре потребляемой энергии и составляет $Д_{СЖИГ.}$ = 0.7 (рис. 2).

Масса ежегодно выделяемой двуокиси углерода при сжигании топлива $CO_{2\ АНТРОП}$ составит (при условии, что доля углеводородов в структуре топлива составляет до 70%, а масса условного топлива, сжигаемого за год равна:

$$(M_{УСЛ_ТОПЛ.} = 14,0*10^{12}\ кг/год):$$

$$CO_{2\ АНТРОП} = Д_{СЖИГ.} * M_{УСЛ_ТОПЛ.} * К_{УВЕЛ} = 0.7*14*10^{12}*3.2 = 32*10^{12}\ кг/год$$

Таким образом, в атмосферу выделяется, как минимум, $32*10^{9}$ тонн $CO_2$ в год.

*2.8. Содержание диоксида углерода в атмосфере*

При определении содержания диоксида углерода в атмосфере планеты, принимается, что концентрация двуокиси углерода составляет величину $\%_{CO2}$ = 0,039% = $3.9*10^{-4}$ (рис. 4 [3]).

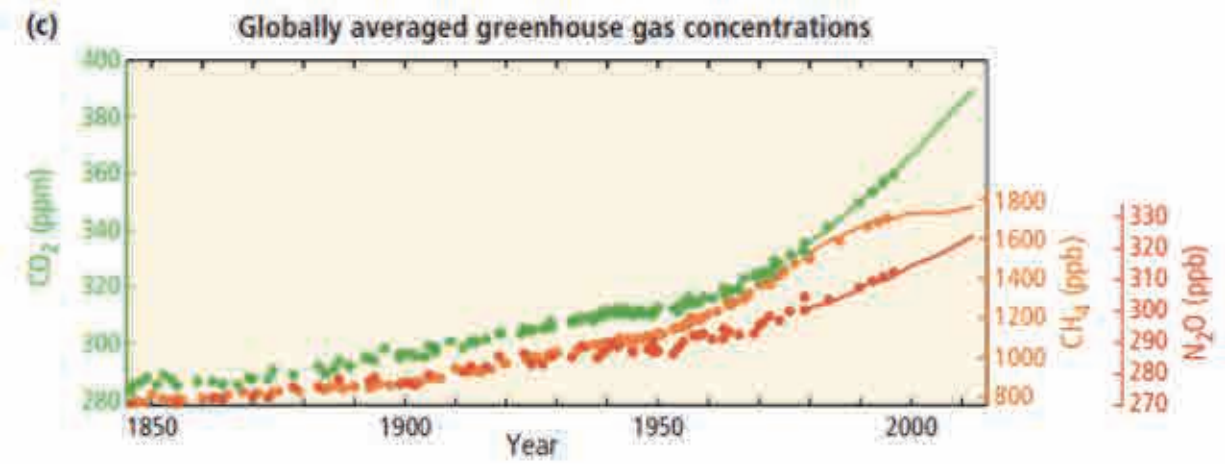



**Рис. 4. Концентрация парниковых газов в атмосфере**

Масса атмосферы $M_{АТМ}$ = 0.5*10$^{19}$ *кг* (см. п.2 и п.4 табл.1), тогда постоянно в атмосфере находится масса диоксида углерода, $M_{CO2\ пост}$, в количестве:

$$M_{CO2\ пост} = M_{АТМ} * \%_{CO2} = 0.5*10^{19} *3.9*10^{-4} = 1.95*10^{15}\ кг\ CO_2.$$

*2.9. Ежегодный прирост массы диоксида углерода в атмосфере*

Из рис. 4 следует, что прирост концентрации диоксида углерода за год составляет величину d% = 0.002 %/год, тогда прирост абсолютного количества двуокиси углерода составляет в год:

$$M_{CO2\ в\ год} = M_{АТМ} * \%_{CO2} = 0.5*10^{19} *2*10^{-6} = 10*10^{12}\ кг/год\ углекислоты\ (10*10^{9}\ т/год).$$

*2.10. Выделение диоксида углерода людьми на планете и животными*

Численность населения Земли $КОЛ_{ЛЮДЕЙ}$ = 7.35*10$^{9}$ человек, а на каждого человека приходится содержать сельскохозяйственных животных.

За год люди и животные выделяют теплоты (п. 2.2.):

$$Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ} = 4.92*10^{17}\ кДж/год.$$

Чтобы выделить установленное в п. 2.2. количество теплоты, люди и животные за год должны потреблять некоторое количество сухого продукта для пищи, $M_{пищи_год}$:

$$M_{пищи_год} = Q_{ТОПЛ+ЧЕЛ} / W_N = 4.92*10^{17}/32*10^{3} = 1.5*10^{13}\ кг/год,$$

где: $W_N$ = 32*10$^{3}$ кДж/*кг* [5] – нижняя теплотворная способность углеводородов, в том числе и пищевых углеводородов.

При сгорании в течение года $M_{пищи_год}$ = 1.5*10$^{13}$ килограмм углеводородов из организмов людей и животных, в атмосферу выводится диоксид углерода в количестве $Z_{живность}$. Как и в случае с топливом, количество углекислого газа, выдыхаемого людьми и животными, в

несколько раз больше массы пищи (п. 2.7.), а в среднем, в $К_{УВЕЛ}$ = 3.2 раза больше.

Тогда масса диоксида углерода, выделяемого людьми и животными в атмосферу в течение года:

$$Z_{живность} = М_{пищи_год} * К_{увел} = 1.5*10^{13}*3.2 = 4.8*10^{13}\ кг/год\ (4.8*10^{10}\ т/год).$$

*2.11. Поглощение и излучение тепловой энергии, поступающей от Солнца*

Расчётным путём можно оценить величину тепловой энергии, поступающей от солнца и сравнить её с величиной тепловой энергии, которую поверхность Земли может передать в космос лучеиспусканием, при средней температуре поверхности Земли +15 $^{o}$C.

Земля получает теплоту от Солнца на площадь поверхности большого круга земного шара, с радиусом равным радиусу Земного шара, а излучается теплота со всей поверхности земного шара, и отношение поверхности земного шара к площади большого круга земного шара, ψ = 4.0.

По формуле Стефана-Больцмана определяется приведенная к площади большого круга Земного шара излучательная способность поверхности планеты, $q_{излуч_земли}$ (Вт/м$^2$) а именно, одного квадратного метра поверхности планеты с учётом альбедо Земли и средней температуры поверхности планеты [9],

$$q_{излуч_земли} = \psi * (1 - \upsilon) * (T_{СР})^4 = 5.64*10^{-8} * (273+15)^4 = 982\ Вт/м^2,$$

где - ψ = 4.0 – отношение площади, излучающей тепло в космос, к площади, получающей тепло от Солнца, в каждый момент времени;

- υ = 0,367 – альбедо (отражательная способность земной поверхности);

- к = 5.64*10$^{-8}$ Вт/м$^2$ *Т$^4$ – постоянная Стефана – Больцмана;

- $Т_{СР}$ = 273$^{o}$К+15$^{o}$ = 288$^{o}$К – средняя температура поверхности Земли в градусах Кельвина.

Величина солнечной постоянной определяет тепловую мощность, приходящую от Солнца на один метр квадратный (за пределами атмосферы).

Известно, что плотность потока солнечной радиации вне атмосферы Земли с допуском по изменению солнечной активности составляет от $С'_{Вт/м^2}$ ≈ 1364.5 Вт/м$^2$ до $С''_{Вт/м^2}$ ≈ 1366.5 Вт/м$^2$, а на поверхности Земли на высоте уровня океана, на экваторе в полдень, плотность солнечной радиации, $С_{Вт/м^2}$, меньше [10] и составляет $С_{Вт/м^2}$ = 1000 Вт/м$^2$.

Разница мощности тепловых потоков $N_{лишняя}$ на Земле (излучения от Солнца - $С_{Вт/м^2}$ и излучения от Земли - $q_{излуч_земли}$), составляет величину:

$$N_{лишняя} = С_{Вт/м^2} - q_{излуч_земли} = 1000 - 982 = 18\ Вт/м^2.$$

На каждом квадратном метре поверхности Земли действует лишний нагреватель мощностью 18.0 Вт в виде приходящего тепла от Солнца и за вычетом испускаемой поверхностью Земли теплоты в дальнем инфракрасном спектре излучения. Хорошо ли наличие этого лишнего нагревателя или плохо для стабильности климата?

Учитывая, что на Земле могут быть природные катаклизмы, вызывающие похолодание (например, типа взрыва кальдеры Йеллоустонского вулкана), то излишняя теплота, поступающая от Солнца – полезная. Излишний нагрев не позволит надолго понизить температуру климата на планете.

*2.12. Определение скорости потепления климата*

Можно оценить возможную скорость потепления климата при отсутствии механизма вывода лишней теплоты в космос.

Методика расчёта следующая. Нужно количество теплоты, создаваемой за один год нагревателем мощностью в $N_{лишняя}$ = 18 Вт/м$^2$, разделить на теплоёмкость всего столба воздуха в атмосфере, у которого площадь основания на поверхности Земли равна одному квадратному метру.

Удельная теплоёмкость столба воздуха над поверхностью земли, с площадью основания столба в один квадратный метр (10 000 см$^2$), если над каждым квадратным сантиметром основания этого столба находится воздух массой в один килограмм:

$$C_{столб} = m_{столб} * C_P = 10\,000*1.0 = 1*10^4 \text{ кДж/(град*столб).}$$

В течение года тепловой поток мощностью $N_i$, равный 18 ватт (18 *Дж/сек)* принесёт энергии:

$$Q_{18_год} = Ч_{с/год} * N_{лишняя} = 3.15*10^7*18.0 = 56.7*10^4 \text{ кДж/год,}$$

где: $Ч_{с/год}$ – число секунд в году ($Ч_{с/год}$ =365*24*3600 = 3.15*10$^7$ *с/год*);

$N_i$ – мощность лишнего теплового потока (Вт).

Воздух в столбе над каждым метром квадратным поверхности Земли (и даже над полюсами) каждый год стал бы нагреваться на $dT_{18_вт}$ градусов:

$$dT_{18_вт} = Q_{18_год} / C_{столб} = 56.7*10^4 / 1*10^4 = 56.7^o \text{ (шкалы Цельсия).}$$

Атмосфера до 1950 г. не прогревалась… И всё потому, что природа без затрат дополнительной энергии умеет выводить лишнюю теплоту из холодного слоя к горячему (из слоя стратосферы, с высоты от 10 до 20 километров (где температура -50 $^o$C) в ближний космос, вверх, на высоту 140 км, где температура на 100° выше, чем в нижнем слое и достигает +50 $^o$C [11]). Этот метод передачи теплоты от холодного к горячему в условиях гравитации – принято называть «кондукционным».

*2.13. Определение скорости потепления климата при реальном коэффициенте поглощения излучения атмосферой, но в условиях отсутствия кондуктивного способа вывода теплоты в космос*

Методика определения скорости по п. 2.13. основана на том, что известна мощность теплового излучения поверхности Земли в диапазоне температур поверхности Земли, 211–310 $^{o}$К, приведенная к площади большого круга Земного шара. Плотность приведенного радиационного излучения $q_{излуч_земли}$ = 982 Вт/м$^2$, но реально этот тепловой поток излучается с площади в 4 раза большей (площадь шара ровно в 4 раза больше площади большого круга), т.е. реальная плотность радиационного излучения, взаимодействующего с атмосферой, составляет $УдЕ_{\lambda T}$ = 245.5 Вт/м$^2$. Часть радиационного излучения, определяемого коэффициентом поглощения-блокировки излучения атмосферой ($dT_{блок_изл_15\%}$ = 0.15) поглощается водяными парами атмосферы. Поглощённая энергия, с коэффициентом К = 0.5, переизлучается атмосферой в космос, а оставшаяся половина переизлучается к поверхности планеты и нагревает атмосферу. Эта часть теплоты не может быть выведена в космос, ибо опять перехватится атмосферой. Переизлучённая к поверхности планеты энергия может быть выведена в космос только механизмом кондуктивной теплопередачи в космос. А если бы этого механизма вывода теплоты не было, то тогда воздушный столб прогревался бы тепловым потоком переотражённой части теплового излучения поверхности Земли. Ежегодно температура воздуха в атмосфере увеличивалась бы на величину $dT_{блок_изл_15\%}$:

$$dT_{блок_изл_15\%} = A_{\lambda T} * К * УдЕ_{\lambda T} * Год_{сек} /(m * C_P) =$$

$$= (0.15*0.5*245.5*31*10^6)/1*10^4 * 1.0*10^3 = 570.8*10^6/1*10^7 = 57.08 \text{ град/год,}$$

где: $A_{\lambda T}$ – коэффициент поглощения атмосферой радиации от поверхности Земли;

$C_P$ = 1*10$^3$ Дж/(*кг*град*) – удельная теплоёмкость воздуха;

К = 0.5 – коэффициент возвращения поглощённой энергии из атмосферы к поверхности Земли;

$УдЕ_{\lambda T}$ – удельная мощность радиационного потока от поверхности Земли.

За счёт поглощения и переотражения теплоты облаками, в атмосфере накапливается теплота от теплового потока $Q_{ПЕРЕОТРАЖ.}$, мощностью:

$$N_{ПЕРЕОТРАЖ.} = К * A_{\lambda T} * УдЕ_{\lambda T} = 0.5*0.15*245.5 = 18.41 \text{ Вт/м}^2.$$

Потепление климата не наблюдалось до 1920 г. [13], поскольку влияние антропогенной теплоты на параметры климата было незначительным.

## Выводы

1. Киотский протокол не имеет научного обоснования, и увеличение концентрации в атмосфере парниковых газов не является причиной потепления климата.

2. Рассмотрены физические основы механизма потепления климата в результате антропогенного теплового загрязнения окружающей среды. Природный механизм вывода теплоты из атмосферы в космос до 1920 г. справлялся с выводом потока переотражённой теплоты, излучаемой поверхностью Земли мощностью $N_{ПЕРЕОТРАЖ.}$ = 18.41 Вт/$м^2$ и с лишним потоком теплоты от Солнца, мощностью $Q_{ЛИШНЯЯ}$ = 18 Вт/$м^2$. Потепления климата не наблюдалось.

В последнее время к этим тепловым мощностям добавилась тепловая мощность антропогенной теплоты в количестве $N_{УД\ ЗАГР}$ = $2.93*10^{-2}$ Вт/$м^2$ и климат стал перегреваться, уверенно приближаясь к точке невозврата, когда всех материальных ресурсов человечества не хватит, чтобы остановить потепление климата.

3. Природный механизм вывода теплоты из атмосферы в космос обладает совершенно конкретной производительностью и сверх своих возможностей антропогенную теплоту вывести не может. Необходимо скрупулёзно изучать работу и свойства природного механизма вывода теплоты из атмосферы в ближний космос, чтобы научиться использовать природный механизм вывода теплоты из атмосферы в космос.

## Список литературы


1. Осипов Ю. С. О позиции Российской академии наук по проблеме Киотского протокола во исполнение поручения Президента РФ от 16.03.2004 г. № Пр-432 и правительства Российской Федерации от 15 апреля 2004 г. № АЖ-П9-2727.
2. Коржубеев А. Г. Нефтегазовый комплекс России в глобальной энергетике: перспективы развития, реализация национальных интересов [Электронный ресурс]. / А. Г. Коржубеев. – Режим доступа : http://www.geoim.ru/content/view/801/278/
3. МГЭИК. Доклад № 5, резюме для политиков. (IPCC, Climate Change 2014 г. Synthesis Report Summary for Policymakers) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_ SPM.pdf
4. Энциклопедия Кругосвет. Земля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/ astronomiya/ZEMLYA. html
5. Кошкин Н. И. Справочник по элементарной физике / Н. И. Кошкин, М. Г. Ширкевич. – М. : Наука, 1976.
6. Счетчик населения Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://countrymeters.info/ru/World/
7. СНИП СНиП 2.04.05-91. Тепловыделения от взрослых людей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.vashdom.ru/snip/P2_91-20405-91/index-6.htm
8. Справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://geyz.ru/news/2013-05-05-589
9. Альбедо [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.astronet.ru/db/msg/1171481
10. Гелиоэнерегетика. Солнечные коллекторы (1 kW/$m^2$) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://progress21.com.ua/ru/solar-collectors/solar-power-engineering

11. Температура с высотой в стратосфере [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://oko-planet.su/spravka/spravkageo/1962-stroenie-atmosfery-zemli. html

12. Спектры поглощения и испускания [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wiki2.org/wiki/

13. Дегтярёв К. С. Изменения климата и ВИЭ – мнения, факты, прогнозы / К. С. Дегтярёв // С. О. К., август 2015. – № 164. – С. 80–93.

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЗМІНУ КЛІМАТУ

***Ю. Є. Виноградов, Д. С. Стребков***

**Анотація.** *Зростання кількості населення Землі супроводжується зростанням сільськогосподарського та промислового виробництва і збільшенням використання викопного палива для виробництва енергії, що призводить до забруднення довкілля та збільшення впливу на параметри клімату.*

*Досліджено співвідношення потужності природних і антропогенних процесів, які дають змогу з'ясувати кореляцію між антропогенною діяльністю людства та поведінкою клімату. Показано, що антропогенної теплоти вистачає, щоб забезпечити швидкість потепління й швидкість приросту рівня світового океану талою водою льодовиків – на рівнях, що реєструються відповідними службами моніторингу.*

**Ключові слова:** ***викопне паливо, енергетика, антропогенний вплив, парникові гази, управління кліматом***

## INVESTIGATION OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON CLIMATE CHANGE

***Y. Vinogradov, D. Strebkov***

**Annotation.** *The growth of population is accompanied by growth in agricultural and industrial production and the increasing use of fossil fuels for energy production, resulting in pollution of environment and increase the impact on climate parameters.*

*The paper presents the results of investigation of parameters of natural processes and anthropogenic processes. The calculation results allow to clarify the relationship between anthropogenic activities and the behavior of the climate. It was found that the amount of anthropogenic heat is enough to heat the atmosphere and increase the global sea level melt water from glaciers with velocities, which are recorded by the relevant services of environmental monitoring.*

**Key words:** ***fossil fuel, power engineering, anthropogenic impact, greenhouse gases, management of climate***

УДК 644 112

# ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МИКРОСЕТЯХ НА ОСНОВЕ ВИЭ

***В. В. Харченко, доктор технических наук***
***В. А. Гусаров, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***В. Б. Адомавичюс, доктор технических наук***
***И. Ю. Валицкас, доктор технических наук***
***Каунасский технологический университет, Литва***
***e-mail: kharval@mail.ru***

**Аннотация.** *Предложена концепция формирования и оптимизации микросетей, создающих возможность эффективного применения возобновляемых источников энергии для решения задачи энергоснабжения на современном уровне с учетом высоких экологических требований XXI века. Сформулированы меры по организации микросети, критерии отбора генераторов энергии, показано значение формирования оптимальной конфигурации микросети с эффективными источниками генерации.*

**Ключевые слова:** ***энергетика, микросети, структура микросетей, функции, оптимизация, возобновляемые источники энергии***

Энергоснабжение объектов сельского хозяйства имеет ряд специфических особенностей: рассредоточенность потребителей, малая единичная мощность, большая протяженность электрических, тепловых и газовых сетей, наличие больших территорий, часто малонаселенных, где сельскохозяйственное производство ведётся, но централизованное электро- и теплоснабжение отсутствует. Обеспечение надежного энергоснабжения этих территорий является задачей первостепенной важности, от решения которой в значительной степени зависит успех решения задачи по обеспечению продовольственной независимости РФ и отказу от импорта продовольствия.

Надежность энергетических сетей, минимизация потерь энергии в них и высокая экономическая эффективность этих сетей играют значительную роль. Огромное значение для решения задачи устойчивого энергоснабжения сельхозпроизводителей имеет использование микросетей, формируемых преимущественно на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – современой формы реализации концепции распределенной энергетики [1–3]. Такие системы получили достаточно широкое применение в мировой практике и, по нашему мнению, имеют

*© В. В. Харченко, В. Б. Адомавичюс, В. А. Гусаров, И. Ю. Валицкас, 2016*

перспективы для дальнейшего расширения масштаба использования. Создание научно-методической базы для организации микросетевых систем энергоснабжения на практике представляется одним из наиболее эффективных способов содействия внедрению в практику этого нового инновационного подхода. Основные положения и принципы построения микросетей были отработаны ранее [1, 2].

**Цель исследований** – обоснование источников генерации для использования в микросетях на основе ВИЭ.

**Материалы и методика исследований.** Наиболее перспективными для построения микросетей являются сельские территории, где доступ к возобновляемым источникам энергии в меньшей степени ограничен по сравнению с урбанизированной местностью, и где, как правило, имеются и другие местные энергоресурсы. На первом этапе работы по созданию микросети необходимо ответить на следующие вопросы: а) сколь большой эта система должна (может) быть? б) сколько эта система будет стоить?; в) даст ли система прибыль в обозримом будущем?

Ответы на эти вопросы позволяют понять, насколько рассматриваемая микросеть будет приемлемой для инвестирования. Конфигурация микросети, в первую очередь, определяется такими факторами, как: а) состав потребителей и их категорийность; б) наличие потребителей, требующих бесперебойного питания; в) Потенциал различных видов ВИЭ по территории микросети, в первую очередь в местах дислокации объектов-потребителей (тогда будет удобно управлять работой генерирующего источника).

В отдельных случаях, при обнаружении в каком-либо месте высокого энергетического потенциала ВИЭ, источник генерации может быть размещен и на отдельной площадке, являться самостоятельным субъектом микросети и иметь собственного владельца. Для всех потребителей составляются графики нагрузок (суточные, сезонные, месячные, годовые), а для источников генерации строятся графики выработки всех источников с учетом потенциала ВИЭ в местах их дислокации (при этом места для их размещения выбираются с учетом обеспечения максимальной мощности).

Методом суперпозиции графиков потребления и выработки энергии для разных составов источников генерации определяется такое их сочетание, которое полностью обеспечит покрытие нагрузок всех потребителей при минимальных мощностях аккумулирования и резервирования и, естественно, при минимальных капитальных и эксплуатационных расходах.

Когда микросеть работает параллельно с сетью энергосистемы, потребность в аккумулировании и резервировании энергии может быть минимизирована. При этом работа с сетью может быть организована по нескольким согласованным схемам: в первом случае, для покрытия пиковых нагрузок микросеть принимает электроэнергию из сети и по отношению к ней является регулярным потребителем; во втором случае

обмен энергией с сетью осуществляется по двум направлениям, т. е. микросеть покрывает свой дефицит отбором энергии из сети, а при наличии избыточной мощности передает электроэнергию в сеть. Основной объем производимой и потребляемой электроэнергии при этом остается в микросети, поэтому подключение последней к сети большого влияния на нее не окажет.

Большое значение для эффективного функционирования микросети имеет грамотно организованная система управления, которая должна выполнять следующие функции: в автономном режиме поддерживать баланс мощностей; коммутировать генераторы и накопители энергии; управлять мощностью регулируемых источников энергии; поддерживать стабильность напряжения и частоту микросети; обеспечивать сбор информации, необходимой потребителям для «умного» управления нагрузками и т. д.

Чисто автономную микросеть целесообразно создавать в случае невозможности присоединения к централизованной сети в регионах с большими ресурсами ВИЭ. При этом мощность накопителей энергии должна быть рассчитана с учетом длительности вероятных интервалов времени без ветра и солнечной радиации. А вот возможность организовать работу микросети параллельно с централизованной сетью обернется значительной выгодой, поскольку снизит уровень капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Таким образом, при разработке проектов по созданию микросети в заданном районе предполагается решение задач на двух уровнях: а) первый уровень предусматривает рассмотрение вопросов, относящихся к микросети в целом (высший уровень), б) второй уровень предусматривает рассмотрение вопросов, касающихся выбора элементов микросети.

*Решение задач на первом уровне.* Рассматриваются такие вопросы, как:

1. Разработка принципиальной схемы микросети, включающая схемы размещения потребителей, схемы размещения генераторов, систем аккумулирования и резервных источников питания.

2. Определение категорийности потребителей электроэнергии, их потребление (суточное, сезонное, годовое), степень необходимости обеспечения бесперебойного энергоснабжения и оценки последствий в случае нарушения режимов подачи энергетического ресурса.

3. Оценка потенциала ВИЭ в различных точках территории, подпадающей под действие микросети, в том числе и в зоне дислокации потребителей.

4. Разработка принципиальной схемы размещения источников генерации, их тип, вид используемого возобновляемого ресурса.

5. Разработка возможных режимов функционирования микросети с условием надежного энергообеспечения потребителей.

6. Оценка возможности развития микросети с точки зрения включения новых потребителей и новых источников генерации. Необходимо учитывать, что в составе микросети потребители энергии в

то же время могут быть и ее производителями, эксплуатирующими свои генераторы или/и накопители энергии. Интеграция в микросеть ветряных станций (ВЭС), солнечных станций (СЭС) и других источников генерации на основе ВИЭ встречает значительно меньше бюрократических препятствий, чем присоединение их к централизованным сетям.

7. Оценка приемлемой формы собственности микросети и ее организационной структуры (следует учитывать то обстоятельство, что владеть микросетью и эксплуатировать ее могут владельцы жилых домов, предприятия, ЗАО, муниципальные образования и т. д.). При проведении этой работы важно учитывать, какие потребители планируются для включения в состав микросети (уже существующие или создаваемые) и как они будут функционировать в составе микросети (в микросети выработанная энергия, в основном, используется местными потребителями, что обеспечивает снижение потерь, связанных с передачей и распределением энергии по электрическим сетям.)

8. Оценка наличия в близости к обслуживаемой территории сети энергосистемы и возможность технологического присоединения к ней.

9. Рассмотрение вопросов надежности электроснабжения потребителей в микросети (надежность снабжения электроэнергией в аварийных случаях разного рода в рамках микросети обеспечить существенно легче, чем в крупных энергетических системах; потребители энергии в микросети могут участвовать в процессе балансирования мощности путем регулирования своих нагрузок, генерируя, накапливая и отдавая электроэнергию в микросеть).

10. Рассмотрение вопросов экономики микросети и тарифов на поставляемую энергию, а также срока окупаемости микросети.

11. Обеспечение оптимального выбора системы управления работой микросети и ее реализация.

Когда микросеть присоединена к сети энергосистемы, существенно снижаются требования к системам аккумулирования и резервирования. В этом варианте микросеть работает параллельно с сетью, но в основном энергия и производится, и потребляется в пределах микросети. Обмен потоками энергии осуществляется в случае передачи в сеть излишков произведенной в микросети энергии или же для отбора энергии из сети для покрытия пиковых нагрузок.

*Решение задач на втором уровне.* На этом уровне рассматриваются вопросы, касающиеся выбора элементов микросети: тип и мощность генераторов энергии, систем аккумулирования, конструкций интерфейсных устройств передачи электроэнергии от генераторов в микросеть и ряд других вопросов, касающихся компонентов микросети.

**Результаты исследований.** *Выбор элементов микросети и периферийных устройств*

Правильный выбор элементов микросети представляется важным этапом в формировании микросети в заданном районе с точки зрения обеспечения надежности ее функционирования, сроков окупаемости,

стоимости вырабатываемого и поставляемого энергоресурса. Поэтому этот этап работы представляется крайне важным.

Состав источников генерации в такой микросети определяется рядом факторов, основными из которых являются состав потребителей, их нагрузки, потенциалы ВИЭ, доступных для использования на территории, где микросеть реализуется. Конфигурация микросети, в первую очередь, определяется следующими факторами: а) состав потребителей и их категорийность; б) наличие потребителей, требующих бесперебойного питания; в) потенциалы различных видов ВИЭ по территории микросети, в первую очередь, в местах дислокации объектов-потребителей (тогда будет удобно управлять работой генератора). Однако в отдельных случаях, при обнаружении в каком-либо месте особо благоприятных метеорологических условий и высокого энергетического потенциала ВИЭ, генератор может быть размещен и на отдельной площадке, являться самостоятельным субъектом микросети и иметь собственного владельца.

Для всех потребителей составляются графики нагрузок (суточные, сезонные, месячные, годовые), а для генераторов – графики выработки с учетом потенциала ВИЭ в местах их дислокации (при этом места для их размещения выбираются с учетом обеспечения максимальной мощности).

Применяя метод суперпозиции графиков потребления и графиков выработки электроэнергии для разных составов источников генерации, определяется оптимальное их сочетание. При этом в максимальной степени обеспечивается покрытие нагрузок всех потребителей при минимальных мощностях резервирования и емкостей аккумулирования и, естественно, при минимальных капитальных и эксплуатационных расходах.

В случае возможности параллельной работы микросети с сетью энергосистемы, потребность в аккумулировании и резервировании может быть минимизирована. При этом работа с сетью может быть организована по нескольким согласованным схемам: в первом случае, для покрытия пиковых нагрузок микросеть принимает энергию из сети и по отношению к ней является регулярным потребителем; во втором случае, обмен электроэнергией с сетью осуществляется по двум направлениям, т. е. микросеть покрывает свой дефицит отбором энергии из сети, а при наличии избыточной мощности передает электроэнергию в сеть. При этом основной объем производимой и потребляемой электроэнергии реализуется в пределах микросети, поэтому подключение последней к сети большого влияния на нее не окажет.

*Критерии отбора источников генерации электроэнергии*

Выработка таких критериев создаст благоприятные условия для расширения объемов и мощностей, внедряемых в практику микросетей на основе ВИЭ, поскольку обеспечит практических работников эффективным инструментом для решения этих задач. Для выбора и обоснования подобных критериев крайне необходима оценка эффективности всех возможных генераторов, как традиционных, так и

нетрадиционных, а также вариантов их комбинирования в создаваемых микросетях. Это требует использования единого системного подхода к анализу, как отдельных технологий преобразования энергии, так и комбинированных систем, а также учет многих сопутствующих факторов.

Микросети, как системы энергоснабжения, создаются для выполнения вполне определенной цели – удовлетворения спроса потребителей, входящих в состав микросети, на энергию при минимальной потребности в ресурсах, с наименьшими затратами и с наименьшим суммарным ущербом в течение определенного периода времени. Мерой достижения этой цели является эффективность системы, характеризующаяся одним или несколькими параметрами. Эти параметры можно принять как критерии эффективности, которые позволяют решить основную задачу – выбор оптимального варианта состава микросети, а также проведение анализа факторов, определяющих существование такого варианта и их влияния на окончательное решение.

Выбор эффективных вариантов энергоснабжения потребителей, объединенных в микросеть, это сложная проблема системного анализа, так как системы энергоснабжения различаются по многим признакам: а) по виду используемой технологии производства энергии; б) по степени взаимозаменяемости и взаимодополняемости источников энергии; в) по предусматриваемым режимам эксплуатации; г) по планируемым срокам эксплуатации создаваемой микросети; д) по предполагаемой степени замещения энергии, вырабатываемой традиционными генерирующими устройствами, зелёной, т. е. полученной на основе ВИЭ, энергией; е) по наличию энергетического потенциала в данном месте для данного конкретного вида ВИЭ; ж) по режимам функционирования по отношению к централизованным сетям более высокого уровня; к) по степени автономности (возможности работать в «островном» режиме); л) по ряду экономических показателей; м) по наличию в сети потребителей, требующих обеспечения бесперебойного энергоснабжения, и их соотношению с потребителями других категорий; н) по степени постоянства выработки электроэнергии данным генератором и возможности работы в «базовом» режиме.

В общем виде источники могут классифицироваться по следующим критериям: а) по погодно-климатическим условиям (определяют потенциал данного источника); б) по техническим характеристикам (комплекс параметров, определяемых типом установки, ее характеристиками и т. д.); в) по экономическим показателям (стоимость единицы установленной мощности, эксплуатационные расходы, расходы на обслуживания и т. д.).

Наиболее распространенными на практике являются следующие генерирующие системы: ВЭС, СЭС, микроГЭС и биогазовые установки.

Рассмотрим источники генерации с позиции вышеприведенной системы классификации. Ниже будут кратко рассмотрены основные элементы генерирующего комплекса микросети, потенциально пригодные

для включения в состав микросетей. Это СЭС на основе фотоэлектрического преобразования солнечного излучения, а также ВЭС.

*Элементы генерирующего комплекса микросети*

*Накопители энергии.* Функции накопителей электроэнергии (НЭ) в микросетях и в энергосистеме заключаются в следующем: резервирование электростанций ВИЭ, интегрирование в сеть энергии электростанций ВИЭ, балансирования мощности, выравнивание нагрузки, пиковое генерирование энергии, улучшение качества энергии, стабильность бесперебойной передачи электроэнергии. В настоящее время применяются следующие технологии накопления и регенерирования электроэнергии [4–6]: гидроаккумуляционные электростанции, накопитель энергии на сжатом воздухе, накопители энергии на маховиках, сверхпроводящие индуктивные накопители энергии, суперконденсаторы; батареи (свинцово-кислотные, литий-ионные, никель-кадмиевые – NiCd, никель-метал-гидридная –NiMH), серно-натриевая батарея (NaS), поточные батареи и водородные накопители энергии. Важная роль накопителей электроэнергии и когенерационных микроэлектростанций, а также эффективность их функционирования рассмотрены в [7].

*Ветряные источники генерации.* Предлагаемые на мировом рынке ВЭС малой мощности (до 100 кВт) по своей технической и экономической эффективности могут отличаться существенно [3]. Некоторые малые ВЭС характеризуются высокой технической эффективностью и большой ценой, но есть и такие дорогие модели, которые в тех самых условиях вырабатывают значительно меньше электроэнергии. Поэтому удачно выбранная ВЭС может повысить эффективность работы микросети в целом и снизить себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Для отбора продуктивных ВЭС был предложен технико-экономический критерий эффективности, учитывающий и цену, и производительность ВЭС [3]. Производительность учитывается как удельная развиваемая мощность с одного квадратного метра рабочей площади лопастей ветроколеса (Вт/м$^2$) при скорости ветра 10 м/с. Такая скорость ветра выбрана потому, что она в среднем является самой плодотворной в плане вырабатываемой на ВЭС энергии или близка к тому в местностях, где экономически целесообразно устанавливать ВЭС.

Технико-экономический критерий эффективности $K_{me}$(Вт$^2$/€·м$^2$) может быть определен следующим образом:

$$K_{me} = \frac{P_{10}{}^2}{S \cdot C};$$

где $P_{10}$ – мощность ВЭС при скорости ветра 10 м/с, Вт;

$S$ – рабочая площадь лопастей ВЭС, м$^2$;

$C$ – цена ВЭС (без башни), €.

Предложенный критерий был применен по отношению к группе из 14 ВЭС с вертикальной осью вращения ветряной турбины. Целью этого исследования была предварительная оценка эффективности работы

ВЭС разных типов. Полученные значения показали большой разброс технико-экономического критерия эффективности ВЭС (рис. 1) [3].

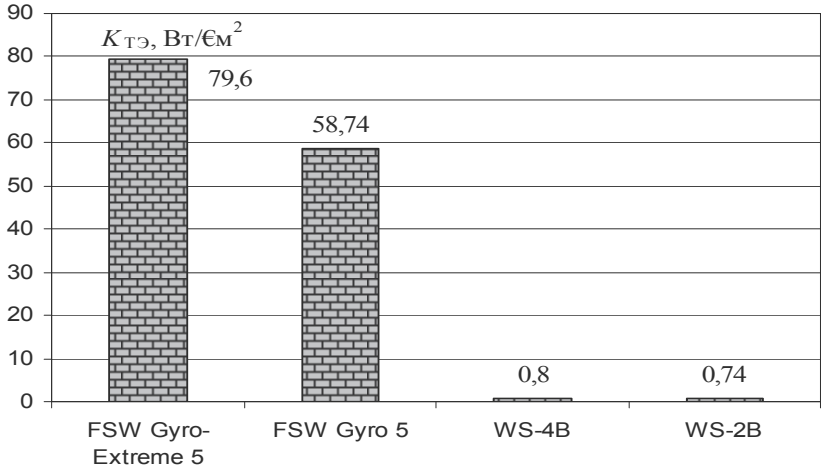



**Рис. 1. Разность значения критерия в исследованной группе из 14 ВЭС**

*Солнечные источники генерации.* Техническая и экономическая эффективность работы СЭС, в первую очередь, зависит от эффективности фотоэлектрических модулей. Резкое падение цен фотоэлектрических модулей в течение последних лет вызвало значительный рост суммарной установленной мощности СЭС во всём мире. Индекс цены оного установленного киловатта СЭС в настоящее время на мировом рынке составляет около 1000 €/кВт, в то время как тот самый показатель для атомных электростанций составляет около 5000–6000 €/кВт. В связи с этим, создались благоприятные условия для использования СЭС также и в электрических микросетях в качестве одного из основных источников для бестопливного производства электрической энергии.

Фотоэлектрические модули (ФМ) СЭС одного типа разных изготовителей по своей эффективности и энергопроизводительности отличаются друг от друга в значительно меньшей степени, по сравнению с ВЭС разных моделей. Но с целью получения большей электроэнергии с той же площади следует выбирать ФМ с высоким КПД.

Кроме того, с целью повышения эффективности работы СЭС, а заодно и микросети, рекомендуется принимать следующие меры:

- ✓ модульное поле СЭС формируется только из ФМодного типа и одной номинальной мощности, а для ее установления выбирается место, где не падает тень от деревьев, зданий или других объектов;
- ✓ выбирается оптимальная ориентация модульного поля (на юг) и угол наклона плоскости ФМ (по географической широте местности);
- ✓ с целью уменьшения потерь, ФМ между собой соединяются так, чтобы выходное напряжение всего поля при стандартных условиях солнечного излучения (АМ 1.5) была близка к верхнему пределу

постоянного напряжения входа выбранного инвертора, при возможности ФМ и преобразователь электрической энергии рекомендуется выбирать одного производителя; СЭС в таком случае повышается (известны случаи, когда общий КПД СЭС повышается до 8–10 %, что подтверждено независимыми лабораториями);

- ✓ если это экономически целесообразно, можно применять системы автоматического слежения за солнцем, которые обеспечивают перпендикулярное облучение ФМ, или концентраторы излучения;
- ✓ с целью повышения эффективности работы ФМ при надобности они очищаются от пыли, грязи и снега.

На рис. 2 приведены данные о годовой выработке электроэнергии СЭС мощностью 27 кВт (для условий г. Каунас) в зависимости от угла наклона плоскости фотоэлектрических модулей по отношению к горизонтальной плоскости.

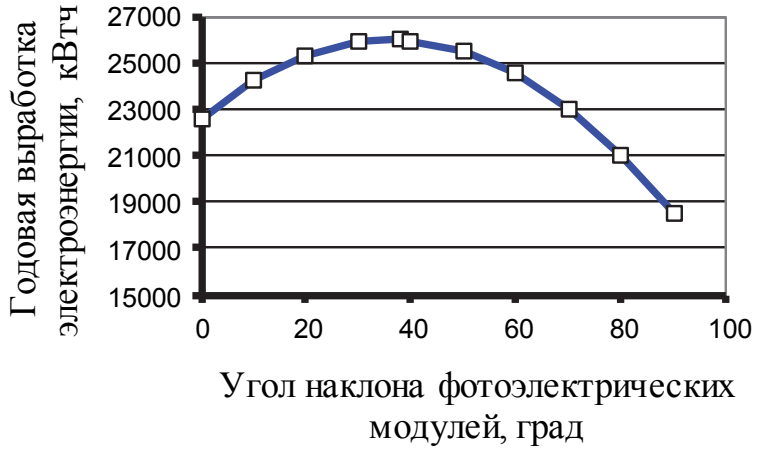



**Рис. 2. Годовая выработка электроэнергии СЭС мощностью 27 кВт в зависимости от угла наклона фотоэлектрических модулей**

При оптимальном угле наклона для г. Каунас 38° СЭС вырабатывает максимальное количество электроэнергии (26,3 МВтч/год). Незначительные отклонения от оптимального угла наклона до ± 15º...20º большого влияния на уменьшение количества вырабатываемой электроэнергии не имеют.

*Генерация миниГЭС.* Как и для любого другого источника генерации, первым и важнейшим условием эффективного функционирования миниГЭС является наличие потенциала, т. е. наличие реки или иного водотока с достаточно высоким потенциалом с точки зрения выработки электрической энергии. Малая ГЭС, как и любая электростанция другого типа, эффективно работает тогда, когда коэффициент использования первичного источника энергии в ней соответствует современному мировому уровню или выше, а ее отрицательное воздействие на окружающую среду минимальное. Эффективная работа малых ГЭС обеспечивается при выполнении двух основных условий: а) выбор оптимально подходящей гидротурбины для

данных гидротехнических условий с максимально возможным КПД, б) максимальное использование гидроэнергетического потенциала плотины.

Один из примеров, каким образом можно увеличить использование потенциала плотины, показан на рис. 3. Здесь показана среднемесячная выработка электроэнергии малой гидроэлектростанции мощностью 30 кВт в дер. Свобишкис Молетского района Литвы в 2002–2010 годах.

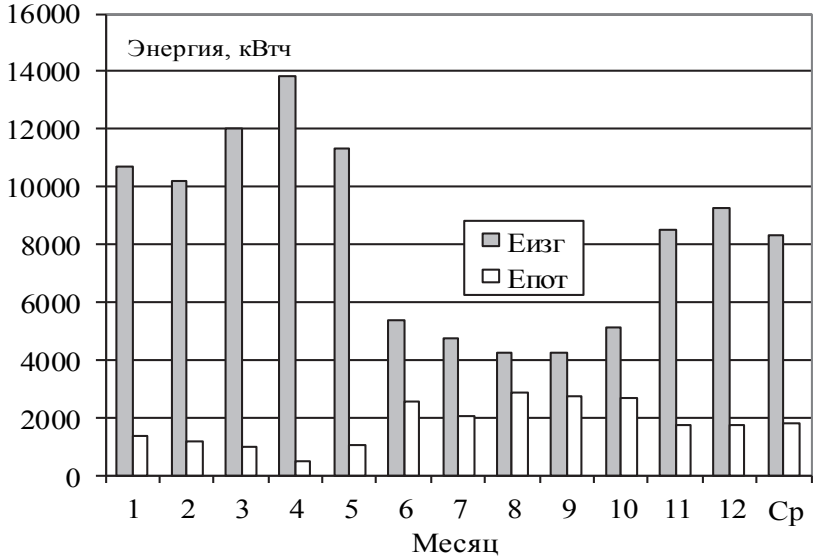



**Рис. 3. Средняя многолетняя месячная выработка электроэнергии малой гидроэлектростанции мощности 30 кВт (Литва) [3]**

Черными столбиками показана среднемесячная выработка энергии, а белыми – энергия $E_{пот}$, потерянная в связи с тем, что не был использован природу охраняющий дебет воды. После установки дополнительного гидроагрегата с генератором мощностью 5 кВт количество выработанной за год электроэнергии в среднем увеличилось на 24 000 кВтч.

Оптимальный выбор источников генерации для заданной микросети является залогом успешного ее функционирования в дальнейшем.

Концепция использования микросетей на основе ВИЭ для организации автономного энергоснабжения – перспективный путь к решению задачи энергоснабжения новых территорий. Причём потребность в создании микросетей актуальна не только на территориях не обеспеченных централизованным энергоснабжением. Даже в регионах РФ, которые рассматриваются как энергоизбыточные, нетрудно найти территории, где обеспечить энергоснабжение никаким иным способом, кроме организации микросети, не представляется возможным. Ещё одно преимущество концепции применения микросетей заключается в том, что при априори более низкой себестоимости электроэнергии микросети создадут серьёзную конкуренцию традиционным генерирующим компаниям, что, в свою очередь, приведёт к развитию рынка, укреплению здоровой конкурентной среды и, в конечном итоге, к снижению тарифов на электроэнергию.

Наиболее распространенными источниками генерации электроэнергии сегодня являются солнечные и ветряные электростанции, мощность которых меняется значительно в зависимости от природных условий. Поэтому в состав микросетей необходимо включать накопители энергии, резервные источники питания, а также генерирующие источники с регулируемой мощностью, которые обеспечат возможность поддержания баланса генерируемых и потребляемых мощностей внутри микросистемы [8].

*Перспективы использования микросетей*

Расширение масштабов использования микросетей имеет хорошую перспективу в связи с возможностями дальнейшего снижения себестоимости электроэнергии [9], а также с весьма большими возможностями применения технологии электроснабжения на основе микросетей с использованием ВИЭ для производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции, потребность в которой на рынке непрерывно возрастает [10].

Серьезные перспективы имеют микросети для энергоснабжения объектов малоэтажного строительства, при образовании поселений на новых территориях или при освоении новых участков для дачного строительства.

Применение микросетей, каждая из которых представляет собой «энергетический остров», открывает большие возможности для организации энергоснабжения больших территорий [1]. В этом случае, общая схема энергоснабжения территории будет представлять собой систему энергетических островков, покрывающих всю территорию и соединенных между собой линиями низкого напряжения, которые должны выполнять функции обмена энергетическими потоками каждой из микросетей с сетью энергоситемы и между собой. Каждая микросеть потребляет всю вырабатываемую в ее пределах энергию, поэтому указанные потоки не будут значительными, что существенно разгрузит низковольтные сельские сети, повысит их пропускную способность и надежность.

## Выводы

Предложенная и развитая концепция микросети на основе преимущественного использования ВИЭ, представляющая собой новую форму реализации идеологии распределенной энергетики, открывает возможность эффективного применения ВИЭ для решения задачи энергоснабжения удаленных, в первую очередь, сельских территорий, малоэтажного строительства и автономного энергоснабжения отдельно располагаемых единичных объектов. Показано значение формирования оптимальной конфигурации микросети с эффективными источниками генерации, подобранными в соответствии с разработанными критериями.

## Список литературы

1. Харченко В. В. Микросети на основе ВИЭ: концепции, принципы построения, перспективы использования / В. В. Харченко // Энергия: экономика, техника, экология. – 2014. – № 5. С. 20–27.
2. Харченко В. В. Микросеть на основе ВИЭ как инструмент концепции распределенной энергетики / В. В. Харченко, В. Б. Адомавичюс, В. А. Гусаров //Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 2 (119). – С. 80–85.
3. Харченко В. В. Возможность повышения экономической эффективности микросетей на основе ВИЭ // Сборник трудов X международной конференции «Возобновляемая и малая энергетика». / В. В. Харченко, В. Б. Адомавичюс, В. А. Гусаров М. : Экспоцентр, 2013. – С. 108–123.
4. Overview of Current Development in Electric energy Storage Technologies and the Application Potential in Power Systems Operation. Applied Energy / X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke. – 2015. – Vol. 137. – P. 511–536.
5. Lithium–antimony–lead liquid metal battery for grid-level energy storage / K. Wang, D. Sadoway [et al.]. // Nature. – 2014. – Vol. 514. – P. 348–350.
6. Hydrogen-based Energy Conversion: More than Storage. Fact Book. SBC Energy Institute. February 2014. – 280 p.
7. Адомавичюс, В. Б. Особенности и проблемы построения микросетей. // Труды 8-й Международной научно-технической конференции «Энергоснабжение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Возобновляемые источники энергии. – М. : ВИЭСХ, 2012. – С. 50–56.
8. Источники регулируемой мощности в микросетях / В. Б. Адомавичус, В. В. Харченко, В. А. Гусаров, И. Ю. Валицкас // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – Вып. 7. – С. 54–59.
9. Survey on microgrids: analysis of technical limitations to carry out new solutions / Laria A. [et al.]. // 13th European Conference on Power Electronics and Applications 2009 (EPE'09). September 8–10. – 2009. – P. 1–8.
10. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture / V. Adomavicius, V. Kharchenko, J. Valickas, V. Gusarov // Proceeding of the 5th International Conference «Trends in Agricultural Engineering», September 3–6, 2013. – Prague. – P. 51–55.


## ВИБІР ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ В МІКРОМЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВДЕ


***В. В. Харченко, В. А. Гусаров, В. Б. Адомавічюс, І. Ю. Валіцкас***



**Анотація.** *Запропоновано концепцію формування та оптимізації мікромереж, що створюють можливість ефективного застосування відновлюваних джерел енергії для вирішення завдання енергопостачання на сучасному рівні з урахуванням високих екологічних вимог XXI століття. Сформульовано заходи з організації мікромережі, критерії відбору генераторів енергії, показано значення формування оптимальної конфігурації мікромережі з ефективними джерелами генерації.*



**Ключові слова:** ***енергетика, мікромережі, структура мікромереж, функції, оптимізація, відновлювані джерела енергії***

## SELECTION OF GENERATION SOURCESI N RES-BASED MICROGRIDS

***V. Kharchenko, V. Gusarov, V. Adomavicius, I. Valickas***

**Annotation.** *Concept, guidelines and principles of RES-based microgrids formation are proposed for efficient utilizing of renewable energy sources. It could be useful for solving tasks of energy supply taking into consideration high standards of environment protection of XXI century. Measures for the microgrids arrangement, criteria of energy generators choice are proposed. Importance and benefits of optimization of microgrid energy generating equipment composition, efficiency and their optimal capacity is explained.*

**Key words:** ***energy, microgrids, structure of microgrids, functions, optimization, renewable energy sources***

УДК 662.997.534.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

***А. И. Исманжанов, доктор технических наук***
***Кыргызско-Узбекский университет, г. Ош***
***Н. М. Ташиев, аспірант***
***Ошский технологический университет, г. Ош***
***e-mail: anvis2012@mail.ru***

**Аннотация.** *Приведены результаты исследований по сушке пастообразных продуктов до порошкообразного состояния с помощью солнечной энергии. Установлено, что испарение влаги с измельченных продуктов происходит аналогично испарению со свободной поверхности воды.*

**Ключевые слова:** ***солнечная сушка, этапы сушки, пастообразный продукт, остаточная влажность, порошковый продукт***

Ежегодно во всем мире производится огромное количество порошков сельхозпродуктов для нужд пищевой промышленности. Если учесть, что фрукты, ягоды и овощи, за исключением некоторых их видов, состоят почти на 90 % и выше из воды, то для превращения таких продуктов в порошок методом сушки необходимо удалить из них влагу,

*© А. И. Исманжанов, Н. М. Ташиев, 2016*

## SELECTION OF GENERATION SOURCESI N RES-BASED MICROGRIDS

***V. Kharchenko, V. Gusarov, V. Adomavicius, I. Valickas***

**Annotation.** *Concept, guidelines and principles of RES-based microgrids formation are proposed for efficient utilizing of renewable energy sources. It could be useful for solving tasks of energy supply taking into consideration high standards of environment protection of XXI century. Measures for the microgrids arrangement, criteria of energy generators choice are proposed. Importance and benefits of optimization of microgrid energy generating equipment composition, efficiency and their optimal capacity is explained.*

**Key words:** ***energy, microgrids, structure of microgrids, functions, optimization, renewable energy sources***

УДК 662.997.534.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

***А. И. Исманжанов, доктор технических наук***
***Кыргызско-Узбекский университет, г. Ош***
***Н. М. Ташиев, аспірант***
***Ошский технологический университет, г. Ош***
***e-mail: anvis2012@mail.ru***

**Аннотация.** *Приведены результаты исследований по сушке пастообразных продуктов до порошкообразного состояния с помощью солнечной энергии. Установлено, что испарение влаги с измельченных продуктов происходит аналогично испарению со свободной поверхности воды.*

**Ключевые слова:** ***солнечная сушка, этапы сушки, пастообразный продукт, остаточная влажность, порошковый продукт***

Ежегодно во всем мире производится огромное количество порошков сельхозпродуктов для нужд пищевой промышленности. Если учесть, что фрукты, ягоды и овощи, за исключением некоторых их видов, состоят почти на 90 % и выше из воды, то для превращения таких продуктов в порошок методом сушки необходимо удалить из них влагу,

*© А. И. Исманжанов, Н. М. Ташиев, 2016*

составляющую как минимум 82–87 % от их начального веса (остаточная влажность конечного продукта должна составлять не более 3–8 %) [1].

В порошковом состоянии сельхозпродукты, как известно, хранятся долго и удобны в потреблении. Этому способствует малая остаточная влажность порошковых продуктов, составляющая не более 5–8 %. Это намного меньше, чем в обычных сушеных сельхозпродуктах – 15–18 % [2, 3].

Как известно, для испарения 1 кг воды требуется 2450 кДж тепла [4]. При существующих мировых объемах производства порошковых продуктов, составляющих несколько миллионов тонн, для получения такого количества порошков потребуется огромное количество тепла.

Поскольку для получения порошковых продуктов в основном применяется метод термической сушки и для получения тепловой энергии используется в основном теплота сгорания органического топлива, то становится очевидным, что производство порошков сельхозпродуктов не только потребляет огромное количество тепловой энергии, но и вносит существенный вклад в загрязнение окружающей среды выбросами $CO_2$, и других загрязнений.

В свете изложенного, использование солнечной энергии для получения тепла для сушки сельхозпродуктов и получения из них порошков является весьма актуальной.

Использование традиционных методов сушки сельхозпродуктов, при которых их остаточная влажность составляет не менее 15–17 %, не позволяет превратить эти продукты в порошок, так как при такой остаточной влажности они остаются мягкими и их невозможно измельчить.

Для получения продуктов с остаточными влажностями нужна другая методика сушки, но с использованием солнечной энергии.

**Цель исследований –** разработка технологии и установок для сушки сельхозпродуктов до низкой остаточной влажности с помощью солнечной энергии, позволяющие превращать сушеные продукты измельчением в порошок.

**Материалы и методика исследований.** Эксперименты проводились с 16 видами фруктовых и бахчевых продуктов: вишня, черешня, урюк (два сорта), персик, слива, яблоко, груша, айва клубника, малина, арбуз, дыня, тыква, томаты, морковь и др.

Виноград, черешня, вишня, урюк, слива, дыня, относятся к плодам с большим содержанием сахара. Содержание сахара в них достигает 12–15 %;

Яблоко, персик, айва, арбуз относятся к продуктам со средним содержанием сахара (5–8 %).

Тыква, томаты, морковь относятся к плодам с малым содержанием сахара (2–3 %).

Исследования проводились в основном экспериментальными методами.

**Результаты исследований.** В работах [5, 6] описана разработанная нами солнечная сушильная установка (ССУ) для получения порошков сельхозпродуктов. В данной статье приведены

результаты экспериментов по сушке сельхозпродуктов с целью получения их порошков.

Блок-схема разработанной технологии получения порошков сельхозпродуктов показана на рис. 1.

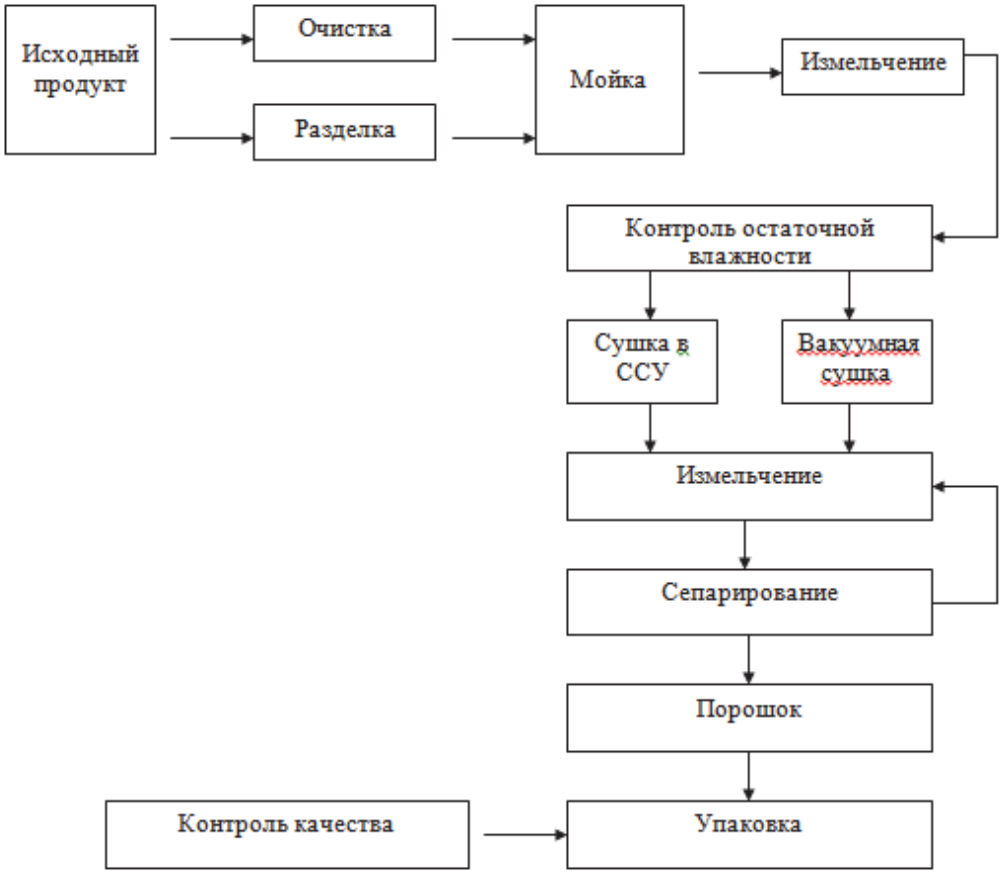



**Рис. 1. Блок-схема технологии получения порошков сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии**

Предварительно высушиваемые продукты превращались в равномерную пастообразную массу в бытовом измельчителе (аналог кофемолки). Максимальные размеры частиц продукта при этом не превышали 1 мм. При этом часть воды в виде сока, вышедшая из разрушенных капилляров, выделялась от пастообразного продукта. Перед погружением в поддоны вся масса тщательно перемешивалась до полного поглощения выделившейся воды пастообразным продуктом.

Для сушки пастообразные (жидковязкие) продукты клали в специальные поддоны из пищевой стали размерами 350х375 мм и высотой бортиков в 6±1 мм. Толщина материала поддонов составляла 0,5 мм. Начальная толщина продуктов составляла 6±1 мм. Это достигалось выравниванием толщины продуктов с верхней частью бортика поддона с помощью специального скребка.

Сушку продуктов проводили в солнечной сушильной установке радиационно-конвективного типа (ССУ) и параллельно – на открытом воздухе (воздушно-солнечная сушка, ВСС).

ССУ радиационно-конвективного типа состоит из двух основных блоков – солнечного воздухонагревательного коллектора (СВК) площадью приемной поверхности 780х1280 мм и камеры сушки (КС) такого же размера, соединенных между собой последовательно. КС представляет собой прямоугольный теплоизолированный ящик с верхним прозрачным ограждением из плоского стекла толщиной 5 мм.

Из СВК горячий воздух поступает в КС ССУ. Таким образом, продукты нагреваются как горячим воздухом, поступающим из СВК, так и непосредственно солнечным излучением.

При этом эксперименты проводились в следующих вариациях (рис. 2):

а) воздушно-солнечная сушка пастеризованного продукта в поддоне (П), без нагревательных элементов (а);

б) воздушно-солнечная сушка пастеризованного продукта в поддоне с нагревательными элементами (б), (П+НЭ);

в) воздушно-солнечная сушка пастеризованного продукта в поддоне с нагревательными элементами, контактирующими с продуктом (в) (П+НЭК);

г) сушка пастеризованного продукта в ССУ в поддоне (П) без нагревательных элементов (г);

д) сушка пастеризованного продукта в ССУ поддоне с нагревательными элементами (д), (П+НЭ).

е) сушка пастеризованного продукта в ССУ поддоне с нагревательными элементами, контактирующими с продуктом (е), (П+НЭК).

На части продуктов накладывались нагревательные элементы в виде прямоугольных корыт длиной 330 мм и шириной 30 мм и высотой борта
5 мм, изготовленных из пищевой стали толщиной 1 мм. Верхнюю часть этих элементов, обращенную к Солнцу, покрывали черным печным лаком со средним коэффициентом поглощения 92 %.

На одной стороне корыта имеется линейный отросток шириной в 10 мм для затенения продукта от прямого попадания солнечных лучей. Средний вес нагревательных элементов составлял 125±5г. Площадь его контакта с продуктом составляла 99 $см^2$. Таким образом, давление нагревательного элемента на пастообразный продукт составляло 1,26 $г/см^2$.

При наложении нагревательных элементов на продукты они погружаются в продукты на 0,2–0,5 мм в зависимости от их мягкости. Меньше всего нагревательные элементы углубляются в пастообразные продукты с толстой кожурой, а также в морковь и грушу, имеющие волокнистую структуру твердого скелета. Больше всего нагревательные элементы углубляются в мягкие, очищенные от кожуры продукты (арбуз, томаты, персик).

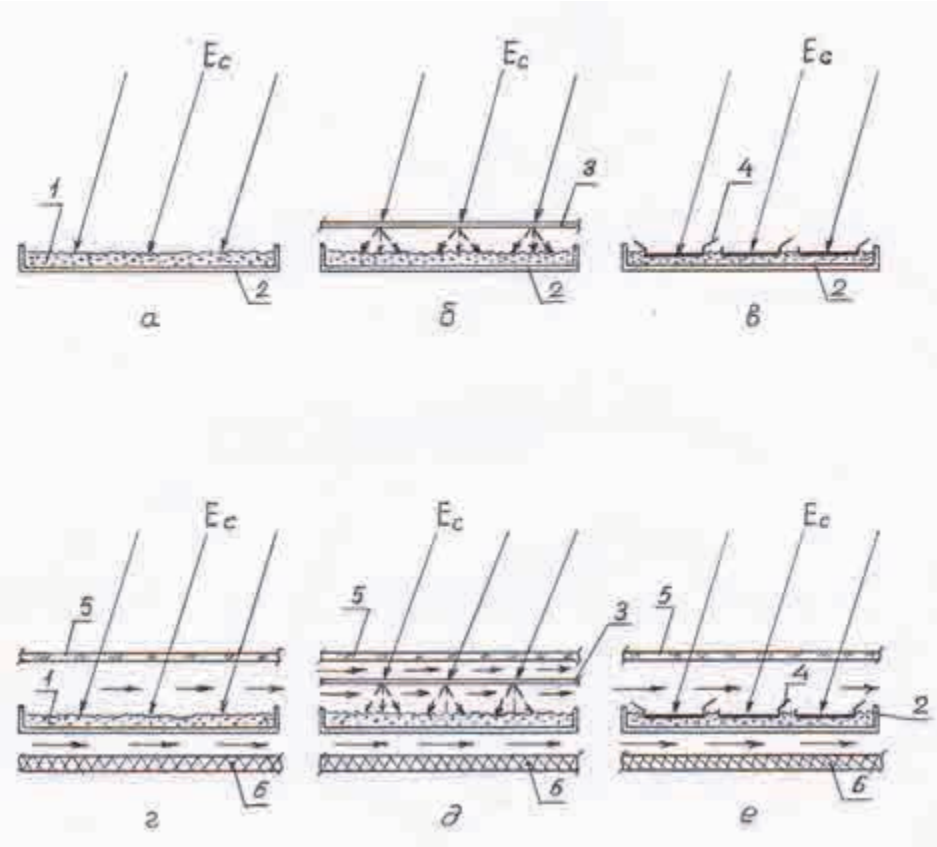



**Рис. 2. Схемы вариантов сушки пастообразных продуктов на открытом воздухе (а, б, в) и в солнечной сушильной установке (г, д, е)**

При большем весе нагревательного элемента или при его вдавливании в продукт жидкость из пастообразного продукта выделяется в отдельную фазу, что недопустимо. Продукт должен сохнуть вместе с собственным соком.

Сушку пастеризованных продуктов проводили в ССУ и параллельно – на открытом воздухе (воздушно-солнечная сушка – ВСС).

В камере сушки располагаются 6 поддонов с продуктами.

С целью изучения влияния непосредственного нагрева от нагревателей часть поддонов не имели нагревательных элементов и продукты нагревались только прямым солнечным излучением.

Эксперименты проводились в 2014 и 20ё15 гг. Для примера на рис. 3 и 4 приведены результаты сушки клубники и тыквы.

Как видно из рисунков, при сушке продуктов в пастообразном виде с разрушенными капиллярами процесс сушки, за исключением начальных этапов сушки, когда происходит разогрев продукта, имеет практически одинаковую скорость. На конечном этапе сушки во всех вариантах скорость сушки замедляется и при достижении предельной остаточной влажности практически прекращается.

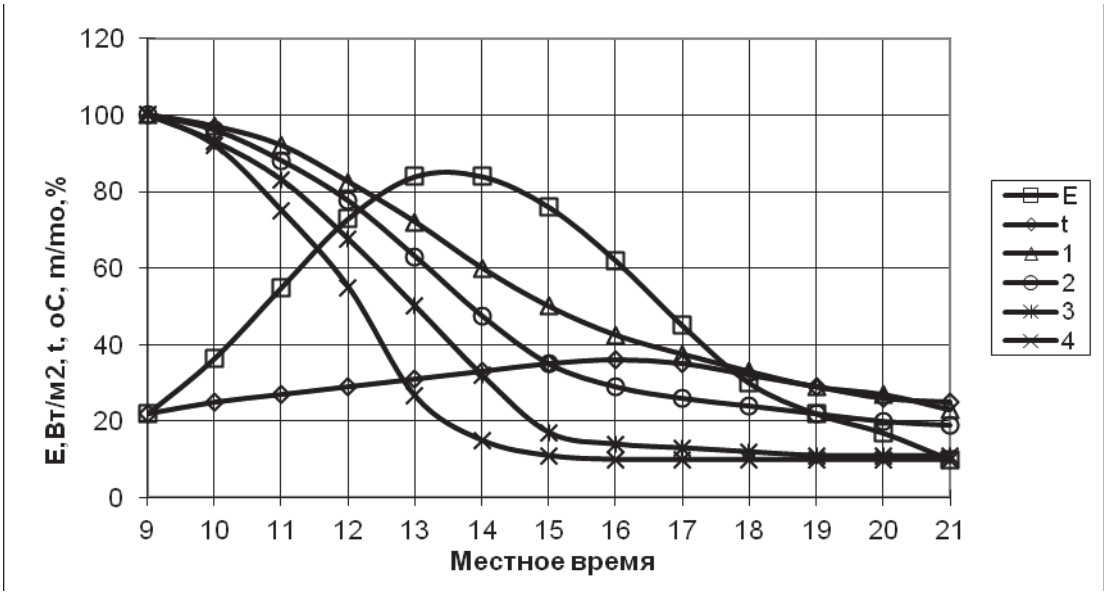



**Рис. 3. Результаты сушки клубники:**
E – плотность суммарной солнечной радиации, t – температура окружающего воздуха; 1 и 2 – сушка в солнечной сушильной установке (1 – в поддоне с нагревательным элементом, 2 – в поддоне без нагревательного элемента); 3–4 – воздушно-солнечная сушка (1– в поддоне с нагревательным элементом, 2 – в поддоне без нагревательного элемента)

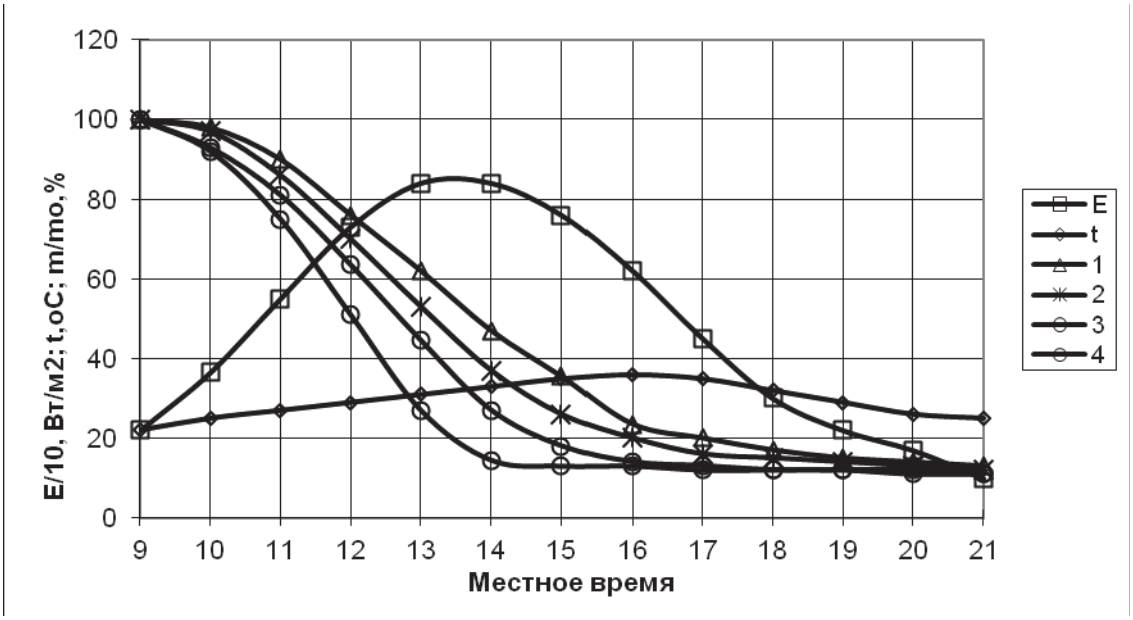



**Рис. 4. Результаты сушки тыквы** (обозначения те же, что и на рис. 3)

Клубника, высушенная в виде пасты, теряет до 85,2 % своей массы. Если учесть, что она состоит почти из 90 % воды, то остаточная влажность высушенного продукта составляет всего 5,2 %.

Как показали наши эксперименты, толщина продукта около 6 мм является оптимальной с точки зрения испарения влаги с такой массы продуктов в течение одного светового дня при плотностях солнечной радиации, наблюдающейся в летнее время в условиях Средней Азии.

При больших толщинах продуктов, они не успевают высохнуть до достаточно низкой остаточной влажности и остаются мягкими, что не позволяет превратить их в порошок.

При более низких значениях плотности солнечной радиации следует уменьшить толщину высушиваемого продукта.

Ряд фруктов и овощей (айва, груши, некоторые сорта яблок, виноград, поздние сорта дынь, чеснок и т. д.) созревают в осеннее время, когда максимальная плотность солнечной радиации относительно невысока (400–500 Вт/м$_2$). В этом случае можно применять контактный способ их сушки с использованием контактирующих нагревательных элементов.

При более высоких плотностях солнечной радиации температура контактирующих нагревательных элементов доходит до 80–85 $^{o}$С из-за чего верхний слой высушиваемых продуктов «подгорает», теряет вкусовые качества и становится непригодной для потребления.

В начальный период сушки, когда плотность солнечной радиации невысока и угол падения прямой солнечной радиации на поверхность прозрачной изоляции СВК и КС большой, скорость испарения воды из продуктов небольшая и в это время в основном идет разогрев продукта.

Начиная с 10 часов дня, температура воздуха, нагреваемого в СВК, достаточно высока, а также возрастает величина поглощаемой непосредственно продуктами и нагревательными элементами солнечной радиации и интенсивно идет испарение влаги с продуктов.

Следует отметить, что при сушке пастообразных продуктов не наблюдается имеющий место при сушке обычных сельхозпродуктов двухэтапный процесс сушки. Испарение влаги происходит как от свободной поверхности воды. Это объясняется достаточно короткими длинами разрушенных капилляров и выходом воды из них и нахождением воды в пространстве между мелкими частицами пастообразного продукта. Испарение влаги с такого продукта практически до окончания процесса сушки идет как от свободной поверхности воды.

В конце сушки продукты имеют низкую остаточную влажность, достигающие 5–8 %. Измельчением в бытовой кофемолке их легко можно превратить в порошок.

Продукты, содержащие много сахара (урюк, вишня, черешня, дыня и др.), даже потеряв значительное количество влаги, все еще остаются мягкими: в них остается 12–15 % влаги, которая не позволяет измельчать их в порошок. Даже при дальнейшей сушке таких продуктов в ССУ остаточная влага существенно не уменьшается. В этом случае, для их досушки необходима дополнительная, например, сушка вакуумно-сублимационным методом.

## Выводы

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Разработанная технология позволяет получать порошки сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии.

2. Сушку сельхозпродуктов следует осуществлять конвективно-контактным или конвективно-инфракрасным способом сушки. Это зависит от вида продукта, от его теплофизических свойств и состава, плотности солнечной радиации и температуры окружающей среды.

3. При высоких плотностях солнечной радиации (700 Вт/м$^2$и более) сельхозпродукты рекомендуется сушить радиационно-конвективным методом.

4. При низких плотностях солнечной радиации предпочтителен контактно-конвективный метод сушки.

5. Технологическая схема сушки сельхозпродуктов зависит от содержания сахара в них: для сахаристых продуктов требуется дополнительная досушка продуктов вакуумно- испарительным методом.

6. В случае солнечной сушки жидковязких (пастообразных) сельхозпродуктов не наблюдаются этапы сушки, характерные целым или крупно измельченным продуктам. Сушка жидковязких (пастообразных) продуктов в основном состоит из одного этапа сушки, характеризующегося постоянной скоростью сушки, что связано с их строением (разрушенными капиллярами).

7. Сушка жидковязких (пастообразных) сельхозпродуктов происходит аналогично механизму испарения с открытой поверхности жидкости.

8. Чем мельче продукт (чем больше разрушены капилляры), тем быстрее он сушится.

9. Кожистые продукты (виноград, слива, черешня, вишня и др.) сушатся медленнее, что обусловлено трудностью испарения влаги с кожистых слоев.

10. Малосахаристые и волокнистые продукты: айва, груша, морковь и др. имеют более высокую скорость сушки, чем обычные измельченные продукты. При их измельчении и укладке на поддоны между волокнами остается пространство, что увеличивает площадь испарения продукта.

## Список литературы


1. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
2. Сушка пищевых растительных материалов / [Филоненко Г. К., Гришин М. А., Гольдберг Я. М., Коссек В. К.]. – М. : Пищевая промышленность, 1971. – 300 с.
3. Исманжанов А. И. Солнечные сушильные установки и комплексы. Расчет и проектирование / Исманжанов А. И., Клычев Ш. И. – Бишкек : Илим, 2011. – 131 с.
4. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника / Г. Н. Алексеев. – М. : Высшая школа, 1980. – 552 с.
5. Исманжанов А. И. Разработка солнечной сушильной установки для получения порошков сельхозпродуктов / А. И. Исманжанов, Н. М. Ташиев, К. Абдырахмануулу // Известия ОшТУ. – № 2. – С. 194–197.

6. Пат. №1615 Кыргызская Республика: МПК6 F 24 J 2/46, F 26 B 17/09. Солнечная сушильная установка / Исманжанов А. И., Абдырахмануулу К., Ташиев Н. М.

## РОЗРОБКА Й ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПОРОШКІВ СІЛЬГОСППРОДУКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***А. І. Ісманжанов, Н. М. Ташиєв***

**Анотація.** *Наведено результати досліджень із сушіння пастоподібних продуктів до порошкоподібного стану за допомогою сонячної енергії. Встановлено, що випаровування вологи з подрібнених продуктів відбувається аналогічно випаровуванню з вільної поверхні води.*

**Ключові слова:** ***сонячне сушіння, етапи сушіння, пастоподібний продукт, залишкова вологість, порошковий продукт***

## DEVELOP AND RESEARCH OF THE TECNOLOGY POWDERING AGRYCULTURAL PRODUCTS BY SOLAR ENERGY

***A. Ismanjanov, N. Tashiev***

**Annotation.** *Described results of researches draying some agricultural products till powder consist by solar energy. Determined, that evaporation of moister from products similar evaporation from free surface of water.*

**Key words:** ***solar drying, stages of drying, some agricultural products, residual moister, powder product***

УДК 621.313.33:621.318.123

# СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ РОТОРА

***Н. Н. Заблодский, доктор технических наук***
***Национальный университет биоресурсов и природопользования,***
***e-mail: zablodskiynn@gmail.com***
***К. В. Худобин, магистр электромеханики***
***Инженерно-технический отдел***
***Международного Комитета Красного Креста***
***e-mail: wathab1987@mail.ru***

**Аннотация.** *Предложена математическая модель асинхронного двигателя, в основе которой лежит усовершенствованный способ разбиения стержня по высоте на слои, позволяющий учесть эффект вытеснения тока и насыщение магнитной цепи. Приедены результаты реализации модели в структурных блоках пакета Matlab/Simulink и их оценка путем сравнения с результатами стендовых испытаний двигателя.*

**Ключевые слова:** ***асинхронный двигатель, математическая модель, эффект вытеснения тока, насыщение магнитной цепи, стендовые испытания***

К настоящему времени разработаны десятки вариантов моделей асинхронных двигателей, но их слабым местом является пренебрежение или приближенный учет эффекта вытеснения тока в пазу ротору и насыщения магнитной цепи. Поэтому многие авторы, например [1], предлагают корректировать параметры ротора, как наиболее сильно зависящие от эффекта вытеснения тока и насыщения магнитной цепи, по мере разгона двигателя. Но в этом случае, в основном, учитывается эффект вытеснения тока и не учитывается насыщение магнитной цепи. Да и изменение параметров, в зависимости от скорости вращения, не совсем корректно. Дело в том, что при переходных процессах в стержне ротора протекают как периодическая, так и апериодическая составляющая тока. Эффект вытеснения тока для этих составляющих проявляется в разной степени, поэтому и коррекция параметров становится неоднозначной. Еще одна трудность, связанная с пошаговой коррекцией параметров, это определение значений активного и индуктивного сопротивлений в зависимости от частоты тока. В [1] такую зависимость предлагается определять экспериментально. Такое решение значительно снижает ценность модели из-за условия, что для синтеза математической модели необходима физическая модель. Такой подход применим только в тех

*© Н. Н. Заблодский, К. В. Худобин, 2016*

случаях, когда эксперименты проводятся с системой управления, а в параметры двигателя внесение изменений не планируется.

Наиболее существенно эффект вытеснения тока проявляется в стержнях ротора. Для учета эффекта вытеснения тока в [2] предложено разбить паз по высоте на отдельные слои, причем принимается, что плотность тока в пределах слоя остается постоянной. Там же приведены аналитические соотношения для расчета параметров слоя.

**Цель исследований –** усовершенствование способа учета эффекта вытеснения тока путем разбиения стержня на слои и на основе численно-полевых расчетов разработать математическую модель асинхронного двигателя, которая позволит не только учесть влияние на параметры стержня эффекта вытеснения тока, но и насыщения магнитной цепи.

**Материалы и методика исследований**. При разбиении стержня на слои, можно говорить о токе каждого слоя, который создает свой магнитный поток. Потокосцепления слоев определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}\Psi_1 &= i_1 \cdot L_{1,1} + i_2 \cdot M_{1,2} + i_3 \cdot M_{1,3}\\ \Psi_2 &= i_1 \cdot M_{2,1} + i_2 \cdot L_{2,2} + i_3 \cdot M_{2,3}\\ \Psi_3 &= i_1 \cdot M_{3,1} + i_2 \cdot M_{3,2} + i_3 \cdot L_{3,3}\end{aligned} \qquad (1)$$

где $L_{1,1}, M_{1,2} \ldots L_{3,3}$ – индуктивности и взаимные индуктивности слоев;

$i_1, i_2, i_3$ – токи в слоях 1, 2, 3.

Для дальнейших расчетов будем считать, что магнитный поток замыкается по путям, как показано на рис. 1, т. е. он полностью охватывает слой. При таких допущениях соотношения (1) значительно упрощаются, и имеют вид:

$$\begin{aligned}\Psi_1 &= L_1 \cdot (i_1 + i_2 + i_3)\\ \Psi_2 &= i_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot (i_2 + i_3)\\ \Psi_3 &= i_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot i_2 + i_3 \cdot L_3\end{aligned} \qquad (2)$$

где $L_1, L_2, L_3$ – расчетные индуктивности слоев.

При такой постановке задачи, математическая модель стержня имеет следующий вид

$$\begin{aligned}U &= i_1 \cdot r_1 + L_1 \cdot \frac{d(i_1 + i_2 + i_3)}{dt},\\ i_1 \cdot r_1 &= i_2 \cdot r_2 + L_2 \cdot \frac{d(i_2 + i_3)}{dt},\\ i_2 \cdot r_2 &= i_3 \cdot r_3 + L_3 \cdot \frac{di_3}{dt}.\end{aligned} \qquad (3)$$

где $r_1$, $r_2$, $r_3$ – активные сопротивления слоев. Нумерация слоев начинается сверху.

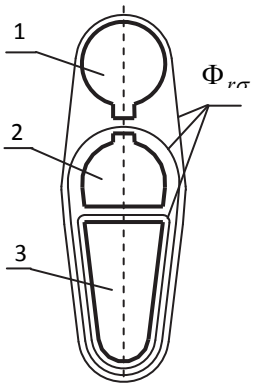



**Рис. 1. Картина поля в пазу ротора при разбиении его на 3 слоя**

Насыщение магнитной цепи делает индуктивные сопротивления слоев, на которые разбит паз ротора, зависящими от токов в них. Мы предлагаем считать, что параметры слоев, на которые разбит стержень, мало зависят от распределения тока по слоям, а определяются полным током в пазу.

Для доказательства справедливости такого предположения был проведен эксперимент в среде *COMSOL Multiphysics*. Моделировался разбитый на слои стержень, у которого в первых двух слоях генератором случайных, равномерно распределенных, чисел задавалась плотность тока. Плотность тока в третьем слое рассчитывалась из условия постоянства полного тока в пазу. Было проведено по 150 экспериментов для различных значений полного тока в пазу.

На рис. 2 приведена геометрическая модель паза ротора двигателя ЭДКОФВ315М4, который выпускается ОДО "ПЭМЗ им. К. Маркса" и применяется для привода скребкового конвейера. Она содержит три паза: исследуемый паз в центре и два соседних по краям, необходимых для корректности граничных условий.

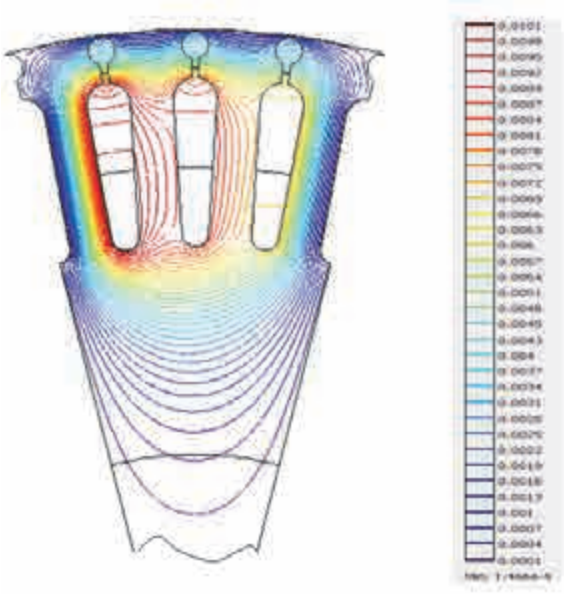


**Рис. 2. Геометрическая модель паза ротора двигателя**

По результатам моделирования магнитного поля, методом наименьших квадратов, рассчитаны индуктивности слоев $L_1$, $L_2$, $L_3$ по следующим зависимостям.

$$L_1 = \sum_{i=1}^{N} \frac{\Psi_{1,i}(i_1 + i_2 + i_3)}{(i_1 + i_2 + i_3)^2}$$

$$L_2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(\Psi_{1,i} - L_1 \cdot i_1)\cdot (i_2 + i_3)}{(i_2 + i_3)^2}, \qquad (4)$$

$$L_3 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(\Psi_{1,i} - L_1 \cdot i_1 - L_2 \cdot i_2)\cdot i_3}{i_3^2}.$$

где N – число экспериментов при одном значении полного тока в пазу (N=150).

Результаты экспериментов приведены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что среднеквадратическое отклонение потокосцеплений, рассчитанных по (2) и по результатам моделирования, составляет не более 1%.

**1. Результаты расчета индуктивностей слоев стержня ротора двигателя ЭДКОФВ315М4**

| Средняя плотность тока в пазу, А/мм$^2$ | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|
| Полный ток паза, А | 443 | 1328 | 2213 | 3098 | 3984 |
| $L_1$, мкГн | 3,925 | 2,070 | 1,602 | 1,358 | 1,192 |
| $L_2$, мкГн | 9,145 | 7,285 | 6,289 | 5,345 | 4,649 |
| $L_3$, мкГн | 11,255 | 9,396 | 8,330 | 7,408 | 6,643 |
| $Oh_1$ | 0,00496 | 0,00800 | 0,00843 | 0,00804 | 0,00845 |
| $Oh_2$ | 0,00575 | 0,00731 | 0,00750 | 0,00732 | 0,00750 |
| $Oh_3$ | 0,00575 | 0,00731 | 0,00750 | 0,00732 | 0,00750 |

Погрешность определялась по следующим формулам:

$$Oh_1 = \sqrt{\frac{1}{150} \cdot \sum_{i=1}^{150} \left( \frac{\Psi_{1,i} - L_1 \cdot (\Delta_{1,i} \cdot S_1 + \Delta_{2,i} \cdot S_2 + \Delta_{3,i} \cdot S_3)}{\Psi_{1,i}} \right)^2}$$

$$Oh_2 = \sqrt{\frac{1}{150} \cdot \sum_{i=1}^{150} \left( \frac{\Psi_{2,i} - L_1 \cdot \Delta_{1,i} \cdot S_1 - L_2 \cdot (\Delta_{2,i} \cdot S_2 + \Delta_{3,i} \cdot S_3)}{\Psi_{2,i}} \right)^2} \qquad (5)$$

$$Oh_3 = \sqrt{\frac{1}{150} \cdot \sum_{i=1}^{150} \left( \frac{\Psi_{3,i} - L_1 \cdot \Delta_{1,i} \cdot S_1 - L_2 \cdot \Delta_{2,i} \cdot S_2 - L_3 \cdot \Delta_{3,i} \cdot S_3}{\Psi_{3,i}} \right)^2}$$

где $S_1$, $S_2$, $S_3$ – сечение слоев.

Анализ зависимости индуктивного сопротивления слоя от тока в пазу показал, что наиболее существенна зависимость индуктивного сопротивления верхнего слоя. ЭДС в этом слое равна:

$$E_1 = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -\frac{d\Psi_1}{di_c} \cdot \frac{di_c}{dt}, \qquad (6)$$

где $\Psi_1 = L_1 \cdot i_c$ – потокосцепление первого слоя;

$i_c$ – полный ток в стержне обмотки ротора.

Входящее в (6) соотношение $d\Psi_1/di_c$ имеет размерность индуктивности, назовем его динамической индуктивностью первого слоя. Зависимость

$$\frac{d\Psi_1}{di_c} = L_{1d} = f(i_c), \qquad (7)$$

получаем из зависимости $L_1 = f(i_c)$ путем численного дифференцирования.

Представляет интерес сравнить параметры стержня, рассчитанные с использованием схемы замещения в среде *Matlab* и на основе численно полевых расчетов в COMSOL *Multiphysics.* Определение параметров стержня описано в [3]. На рис. 3 и рис. 4 приведена структурная схема *Simulink* модели стержня ротора. Расчет эквивалентных параметров стержня ведется в такой последовательности:

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} i\,(t)^2 \cdot dt}; \quad P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i\,(t) \cdot u\,(t) dt; \quad R_s = \frac{P}{I_1^2}; \quad Z_s = \frac{U_1}{I_1}; \quad X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}. \qquad (8)$$

где $I_1$ – действующее значение тока в пазу;

$T$ – период питающего напряжения;

$P$ – потери в стержне;

$R_s$ – эквивалентное активное сопротивление стержня;

$X_s$ – эквивалентное индуктивное сопротивление стержня;

$Z_s$ – полное сопротивление стержня.

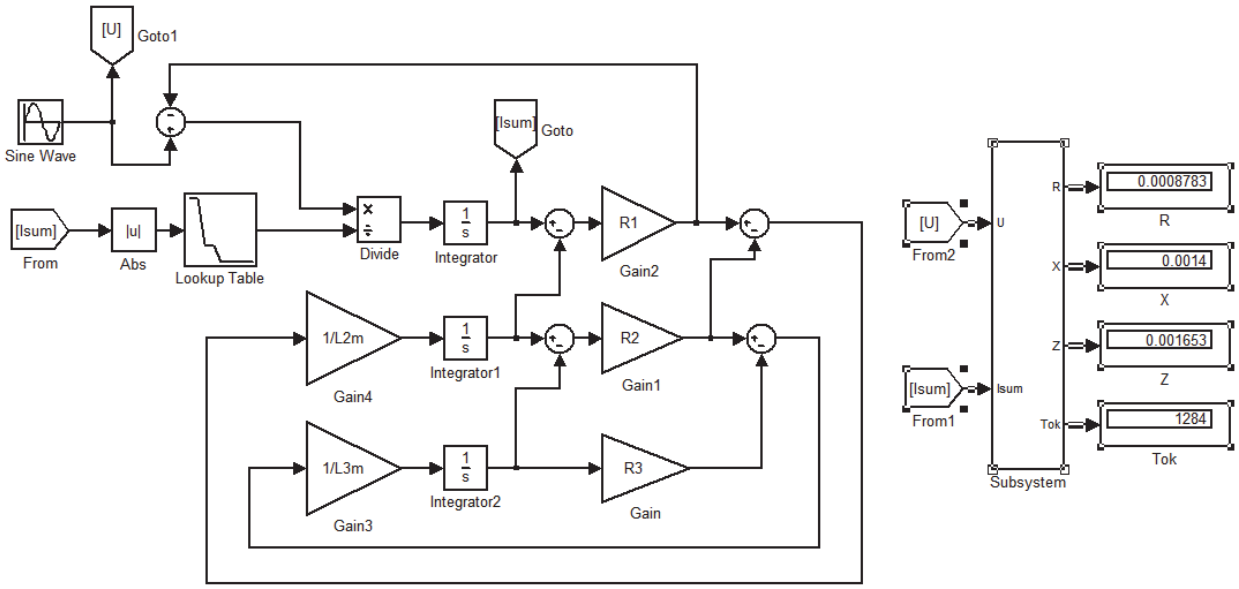



**Рис. 3. Структурная схема модели стержня ротора**

Расчет параметров по указанной выше последовательности расчетов проводит подсистема, *Simulink*, модель которой приведена на рис. 4.

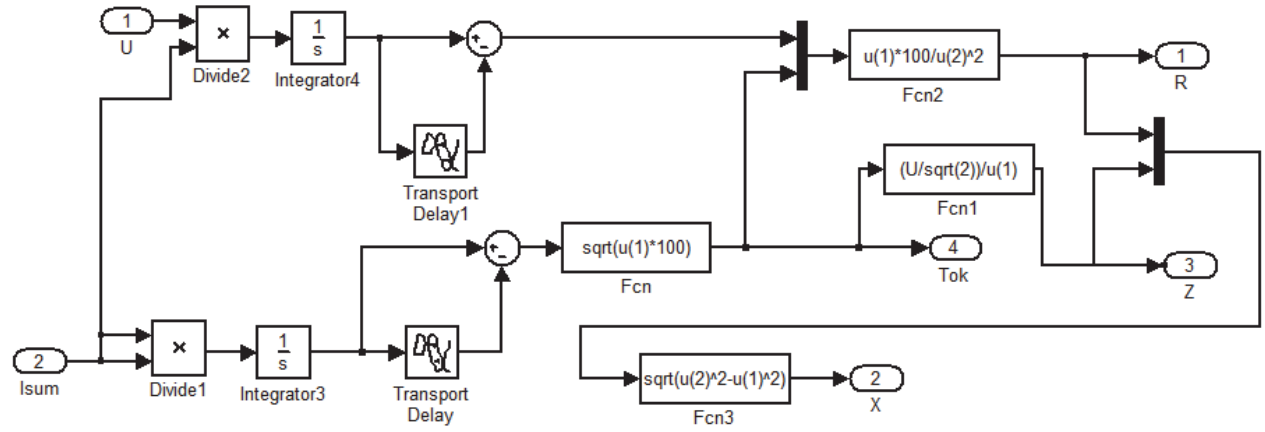



**Рис. 4. Схема подсистемы *Simulink* модели для расчета параметров**

Были проведены сравнительные испытания, результаты которых сведены в табл. 2 – табл. 4. В таблицах приняты следующие обозначения:

*U* – напряжение на стержне, В;

$\Delta_c$ – плотность тока по *Comsol*, А/м$^2$;

Δs – плотность тока по Simulink , А/м2;

Rc – активное сопротивление по Comsol, Ом;

$R_s$ – активное сопротивление по *Simulink* , Ом;

Oh – ошибка;

$X_c$ – индуктивное сопротивление по *Comsol,* Ом;

$X_s$ – индуктивное сопротивление по *Simulink*, Ом

**2. Результаты испытаний для стержня двигателя ЭДКОФВ315М4 на частоте 50 Гц**

| U | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta_c$ | 1,34E+06 | 3,41E+06 | 5,49E+06 | 7,78E+06 | 1,07E+07 |
| $\Delta_s$ | 1,54E+06 | 3,46E+06 | 5,57E+06 | 7,83E+06 | 1,00E+07 |
| $R_c$ | 1,046E-03 | 9,909E-04 | 9,910E-04 | 9,461E-04 | 8,293E-04 |
| $R_s$ | 9,136E-04 | 9,144E-04 | 9,134E-04 | 9,160E-04 | 9,133E-04 |
| Oh | 13,51 | 8,03 | 8,14 | 3,23 | -9,64 |
| $X_c$ | 2,147E-03 | 1,592E-03 | 1,439E-03 | 1,344E-03 | 1,235E-03 |
| $X_s$ | 1,857E-03 | 1,604E-03 | 1,457E-03 | 1,352E-03 | 1,301E-03 |
| Oh | 14,50 | -0,77 | -1,25 | -0,61 | -5,22 |

**3. Результаты испытаний для стержня двигателя ЭДКОФВ315М4 на частоте 25 Гц**

| U | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta_c$ | 1,09E+06 | 2,73E+06 | 4,40E+06 | 6,23E+06 | 8,67E+06 |
| $\Delta_s$ | 1,28E+06 | 2,76E+06 | 4,44E+06 | 6,17E+06 | 7,92E+06 |
| $R_c$ | 5,087E-04 | 5,116E-04 | 5,120E-04 | 4,934E-04 | 4,423E-04 |
| $R_s$ | 4,985E-04 | 4,995E-04 | 5,006E-04 | 5,004E-04 | 4,998E-04 |
| Oh | 2,02 | 2,39 | 2,25 | -1,42 | -12,19 |
| $X_c$ | 1,373E-03 | 1,052E-03 | 9,612E-04 | 8,995E-04 | 8,084E-04 |
| $X_s$ | 1,144E-03 | 1,044E-03 | 9,575E-04 | 9,071E-04 | 8,754E-04 |
| Oh | 18,20 | 0,77 | 0,38 | -0,84 | -7,96 |

**4 . Результаты испытаний для стержня двигателя ЭДКОФВ315М4 на частоте 5 Гц**

| U | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta_c$ | 1,20E+06 | 2,51E+06 | 3,83E+06 | 5,17E+06 | 6,55E+06 |
| $\Delta_s$ | 1,24E+06 | 2,51E+06 | 3,82E+06 | 5,14E+06 | 6,46E+06 |
| $R_c$ | 2,237E-04 | 2,239E-04 | 2,239E-04 | 2,236E-04 | 2,232E-04 |
| $R_s$ | 2,240E-04 | 2,240E-04 | 2,240E-04 | 2,240E-04 | 2,240E-04 |
| Oh | -0,12 | -0,05 | -0,06 | -0,18 | -0,38 |
| $X_c$ | 1,459E-04 | 1,204E-04 | 1,116E-04 | 1,056E-04 | 9,834E-05 |
| $X_s$ | 1,293E-04 | 1,209E-04 | 1,133E-04 | 1,083E-04 | 1,049E-04 |
| Oh | 12,05 | -0,44 | -1,53 | -2,52 | -6,47 |

Наибольшее расхождение наблюдается при частоте 50 Гц для активного сопротивления. Это связанно с тем что, разбив паз на три части и приняв плотность тока в слоях одинаковой по всей высоте слоя, мы недостаточно точно учитываем эффект вытеснения тока. Если необходимо повысить точность расчетов, рекомендуется увеличить число слоев, на которые разбивается паз ротора. Но при этом следует помнить, что при увеличении числа слоев значительно возрастает время расчета, поэтому при составлении модели был рассмотрен паз ротора как трехслойный.

Для модели используем блок *Asynchronous Machine* (Асинхронная машина), который входит в состав *SimPowerSystems* пакета расширения

*Simulink*. Для учета изменения параметров стержня настраиваем ее как для двигателя с фазным ротором: в цепь ротора включаем сопротивления, структурная схема модели которых показана на рис. 3.

Для оценки точности предлагаемой модели были определены механическая и токовая характеристики двигателя при его пуске (табл. 5)

**5. Механическая и токовая характеристики двигателя**

| $n_2$, об/мин. | 0 | 300 | 750 | 1200 | 1350 |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_2$, Н*м | 2548 | 2498 | 2647 | 3267 | 2906 |
| $I_1$, А. | 1056,0 | 1023,3 | 960,4 | 761,6 | 516,8 |

Оценка адекватности математической модели проводилась путем сравнения данных модели с данными пусковых характеристик, определенными экспериментально. С этой целью, в испытательной лаборатории ОДО "ПЭМЗ им. К. Маркса" были проведены стендовые испытания двигателя ЭДКОФВ315М4 заводской номер № 70134, результаты которых приведены в табл. 6.

**6. Данные экспериментальных испытаний двигателя**

| Название характеристики | Источник данных | | |
|---|---|---|---|
| | Каталог | Протокол стендовых испытаний | |
| | О. е. | Физические единицы | О. е. |
| Пусковой ток | 7 | 1194 А | 6,8 |
| Пусковой момент | 2,5 | 2882 Н·м | 2,8 |
| Максимальный момент | 3,0 | 2870 Н·м | 2,8 |

Примечание. Номинальный ток – 175 А, номинальный момент – 1030 Н·м

## Выводы

Анализ приведенных результатов показывает, что предложенная математическая модель на основе численно-полевых расчетов параметров ротора с учетом геометрии зубцовой зоны позволяет учесть эффект вытеснения тока, насыщение магнитной цепи и обеспечивает приемлемую точность расчетов, что позволяет использовать ее при исследовании динамических режимов асинхронного двигателя.

## Список литературы

1. Мельник А. А., Численное моделирование процесса частотного пуска асинхронного двигателя с учетом эффекта вытеснения тока в стержнях ротора в среде Matlab. / А. А.Мельник // Вестник КДПУ имени Михаила Остроградского. 4/2008 № 51, ч. 2. – С. 78–82.

2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин// учеб. пособие для вузов. / [И. П. Копылов и др. ; под ред. И. П. Копылова]. – М. : Энергия, 1980. – 496 с.

3. Худобин К. В. Определение параметров стержня короткозамкнутой обмотки ротора асинхронных машин с помощью полевых расчетов / К. В. Худобин, И. А. Цодик // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2012. – № 36. – С. 425–429.

# СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРІЇ ЗУБЦОВОЇ ЗОНИ РОТОРА

***М. М. Заблодський, К. В. Худобін***

**Анотація.** *Запропоновано математичну модель асинхронного двигуна, в основу якої закладено вдосконалений спосіб розбивання стрижня по висоті на шари, що дозволяє врахувати ефект витіснення струму та насиченість магнітного кола. Наведено результати реалізації моделі в структурних блоках пакета Matlab/Simulink та їх оцінка шляхом порівняння з результатами стендових випробувань двигуна.*

**Ключові слова:** ***асинхронный двигун, математична модель, ефект витискнення струму, насиченість магнітного кола, стендові випробування***

# SYNTHESIS OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE INDUCTION MOTOR BASED ON THE GEOMETRY OF THE TOOTH ROTOR ZONE

***N. Zablodskiy, K. Khudobin***

**Annotation.** *A mathematical model of the induction motor, based on numerical - field calculation, which is based on an improved method of partitioning the rod height into layers, what allow to count current displacement effect, the saturation of the magnetic circuit. This approach modeled in the programs Matlab / Simulink and results of the mathematics model has being compared with the results of bench tests EDKOFV315M4 engine.*

**Key words:** ***induction motor, mathematical model, the current displacement effect, the saturation of the magnetic circuit, bench tests***

УДК 663.14. 033, 663.143.2

# ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ З ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНИМ ВВЕДЕННЯМ ЕНЕРГІЇ ПРИ КУЛЬТИВУВАННІ КОРМОВИХ ДРІЖДЖІВ

***Б. Х. Драганов, доктор технічних наук***
***Національний університет біоресурсів***
***і природокористування України***
***О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, доктори технічних наук***
***В. В. Сидоренко, інженер***
***Інститут технічної теплофізики НАН України***
***e-mail:tdsittf@ukr.net***

**Анотація.** *Розглянуто роботу ферментаційної установки із застосуванням абсорбера як аеруючого пристрою в процесі культивування кормових дріжджів. Подано масообмінні характеристики з абсорбції кисню. Проведено порівняльний аналіз даної установки з ферментаційної установкою із використанням роторно-пульсаційного апарата.*

**Ключові слова:** ***кормові дріжджі, післяспиртова барда, метод дискретно-імпульсного введення енергії, абсорбер, роторно-імпульсний апарат, швидкість масопереносу кисню***

Метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) зарекомендував себе як один із найефективніших методів введення енергії в гетерогенні системи, основною фазою яких є рідка фаза [1].

Одним з напрямів застосування методу ДІВЕ є інтенсифікація процесу масообміну в системі газ-рідина. Так, в біотехнологіях, пов'язаних із розчиненням важкорозчинних газів в рідинах, метод ДІВЕ реалізувався шляхом різкого скидання тиску в Ферментер [2], шляхом застосування імпульсного пульсатора [3] і т. д. З метою аерації водойм було створено установку з ДІВЕ з використанням аератора-диспергатора, основним робочим органом якого є роторно-дисковий апарат [4].

**Мета досліджень** – порівняння ефективності абсорбера і роторно-пульсаційного апарата в технології виробництва кормових дріжджів.

**Матеріали та методика досліджень.** Для виробництва кормових дріжджів було створено ферментаційну установку із застосуванням методу ДІВЕ на базі роторно-пульсаційного апарата (РПА) [5]. Застосування РПА в даної технології дозволило поєднати в собі кілька процесів одночасно. РПА виступає як насос, що качає культуральну рідину по робочому контуру. За рахунок локального розрядження у всмоктуючому трубопроводі, в робочу зону апарату подається повітря на аерацію. У робочій зоні апарата культуральна рідина зазнає впливу

*© Б. Х. Драганов, О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, В. В. Сидоренко, 2016*

високочастотних пульсацій тиску, сильної турбулізації, розриву суцільності потоку, зсувних напруг і т. д., що призводить до інтенсифікації процесу розчинення кисню, а також до диспергування повітряних бульбашок до мікронних розмірів, за рахунок чого різко зростає площа контакту фаз. Обробка в РПА також запобігає аглютації дріжджів та сприяє інтенсивному перемішуванню середовища і сприяє розчиненню поживних речовин [6].

З апаратів, що реалізують метод ДІВЕ найбільш близьким до РПА по спектру виконуваних завдань є аератор-диспергатор [7]. Диспергатор складався з трьох перфорованих співвісних дисків (двох нерухомих і одного рухомого). Середній диск приводився в рух електродвигуном. Установка для аерації являла собою ємність, у днищі якої розташовувався диспергатор, з'єднаний з компресором. У результаті проведених експериментів виявилося, що при подачі повітря під тиском від компресора на виході диспергатора утворювалося поле розподілених в рідині дрібних повітряних бульбашок. Дане дроблення відбувалося за рахунок порціонної подачі газу за рахунок періодично співпадаючих отворів ротора-статора. Розміри бульбашок залежали як від витрат газу, так і від розміру отворів в дисках, однак, основний вплив даний параметр надавав частоті обертання рухомого диска (ротора). Таким чином, вирішувалася основна проблема барботажних апаратів – створення ізольованих один від одного бульбашок повітря субміліметрових розмірів. Подібний прийом дозволив створювати значну поверхню розділу фаз.

Подібна задача вирішувалася диспергатором в процесі насичення рідких середовищ вуглекислим газом (сатурації) у технології отримання газованих напоїв [8]. Технологію та установку синхронно-змішувального типу було розроблено на основі абсорбера СА-100, що діє за принципом, описаним вище. Основна відмінність даної установки від раніше описаної в тому, що стиснене повітря подавалося в потік газованої рідини через роторно-статорний вузол, розташований перпендикулярно руху потоку. Таке рішення дало змогу розширити діапазон регулювань. Зміна швидкості руху потоку рідини, зміна частоти обертання ротора, зміна об'ємної витрати повітря, а також зміна кількості та діаметра отворів ротора-статорів дали змогу створювати оптимальні умови для розчинення вуглекислого газу.

У результаті проведених досліджень авторами [9] встановлено, що при збігу частоти природних коливань обсягів газу в отворах ротора з частотою пульсацій тиску спостерігається явище резонансу, завдяки чому різко збільшується амплітуда коливань поверхні розділу фаз з втратою її стійкості і, як наслідок, дроблення газу на мікробульбашки. Коефіцієнт масопередачі при цьому збільшується на порядок.

На підставі проведеного літературного огляду ми дійшли висновку, що застосування диспергатора (абсорбера) роторно-дискового типу дозволяє вирішувати завдання того самого характеру, що й РПА а саме: аерування культуральних рідин у ферментаційній установці методом ДІВЕ в процесі культивування дріжджів.

**Результати досліджень**. Апаратурно-технологічну схему ферментаційної установки із застосуванням абсорбера подано на рис. 1. Установка включає в себе бункер 1, корисним об'ємом 60 л, забезпечений охолоджуючої сорочкою 6. Усередині бункера розташовується внутрішній циліндричний стакан. Нижня частина бункера за допомогою трубопроводу з'єднана зі всмоктуючим патрубком відцентрового насоса 4. Напірний трубопровід з'єднаний з вхідним патрубком корпусу абсорбера. Патрубок з протилежного боку абсорбера з'єднаний з трубопроводом, яким газорідинна суміш повертається в бункер. Сам абсорбер 2 являє собою циліндричну камеру, в донній частині якої розташовується пульсаційний вузол, що представляє собою три диски діаметром 210 мм і завтовшки 5 мм, двох нерухомих статорів і рухомого ротора. Кожен з дисків має по три ряди наскрізних отворів діаметром 3 мм, розташованих уздовж умовних концентричних кіл. Загальна кількість отворів – 160 шт.

Повітря на аерацію надходить у газову камеру, розташовану під пульсаційним вузлом. Ротор обертається електродвигуном. Частота обертів ротора регулюється зміною частоти обертання ведучого вала. Повітря подається а абсорбер від компресора. Установка забезпечена контрольно-вимірювальною апаратурою.

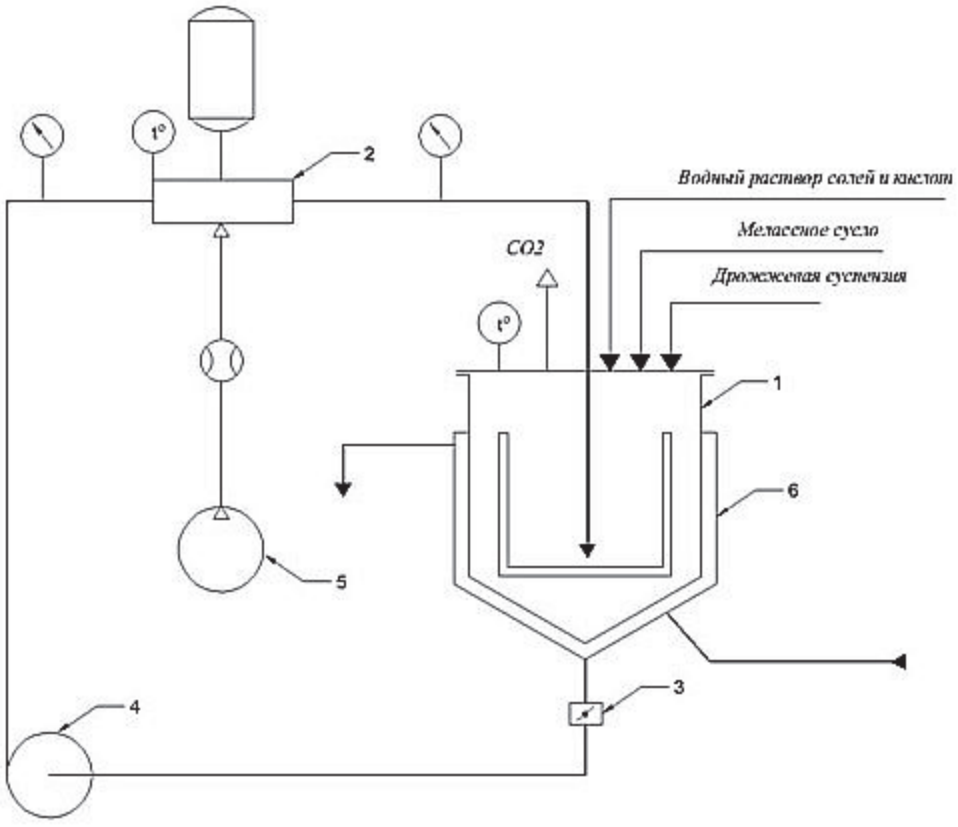



**Рис. 1. Апаратурно-технологічна схема ферментаційної установки для культивування мікроорганізмів з викристанням абсорбера:**
1 – бункер; 2 – абсорбер; 3 – заслінка; 4 – відцентровий насос;
5 – компресорна установка; 6 – сорочка охолодження

Порівняння ефективності установок з абсорбером і РПА в процесі аерації культуральних рідин базується на двох складових – кількості накопиченої біомаси за час культивування, а отже, швидкості масопереносу кисню, і спожитою при цьому потужністю. Параметри роботи обладнання підбиралися таким чином, щоб забезпечити рівність швидкості потоку рідини у вхідному патрубку РПА (абсорбера) і рівність обсягу подається в робочу зону повітря.

У ферментаційній установці з РПА роторно-пульсаційний апарат поєднує в собі функцію аератора і функцію насоса, що забезпечує рух культуральної рідини по контуру. В установці з абсорбером ці завдання виконуються різними пристроями. Для перекачування рідини був обраний насос КМ 50-32-125, який має подібні РПА технічні характеристики, наведені в табл. 1.

**1. Технічні характеристики перекачувальних пристроїв ферментаційних установок на базі абсорбера й на базі РПА**

| | КМ 50 – 32 - 125 | РПА |
|---|---|---|
| Об'ємна витрата, $м^3/с$ | 12,5 | 9 |
| Напір, м в. ст. | 20 | 10 |
| Споживана потужність, кВт | 2,2 | 3,0 |

Обертальний рух ротора абсорбера забезпечується електродвигуном потужністю 1,5 кВт.

Подача повітря в абсорбер здійснюється за допомогою компресорної установки УК-40-2М (компресор Безмасляний) із номінальним робочим тиском 2 кгс / $см^2$ (196 кПа), продуктивністю 34 л / хв (0,6 л / с) . Максимальний тиск 3,5 кгс / $см^2$ (343 кПа), Продуктивність 75 л / хв (1,25 л / с). Споживана потужність за номінальної напруги (220 В, 50 Гц) і номінального тиску 550 ВА (0,33 кВт).

Дослідження з визначення швидкості масопереносу кисню проводилися на дріжджах *Candida Tropicalis*. Живильним середовищем була післяспиртова зернова барда.

Залежність концентрації розчиненого кисню від кількості циклів обробки визначалася на післяспиртовій зерновій барді з концентрацією сухих речовин 4% і 8%. Обсяг рідини становив 60 л (10 л, 30 л). Час одного циклу обробки становив 22 с (10 л – 6 с, 30 л – 15 с). Частота обертання роторного вузла в РПА і ротора в абсорбері 47,75 об / с. Отримані результати наведено на рис. 2.

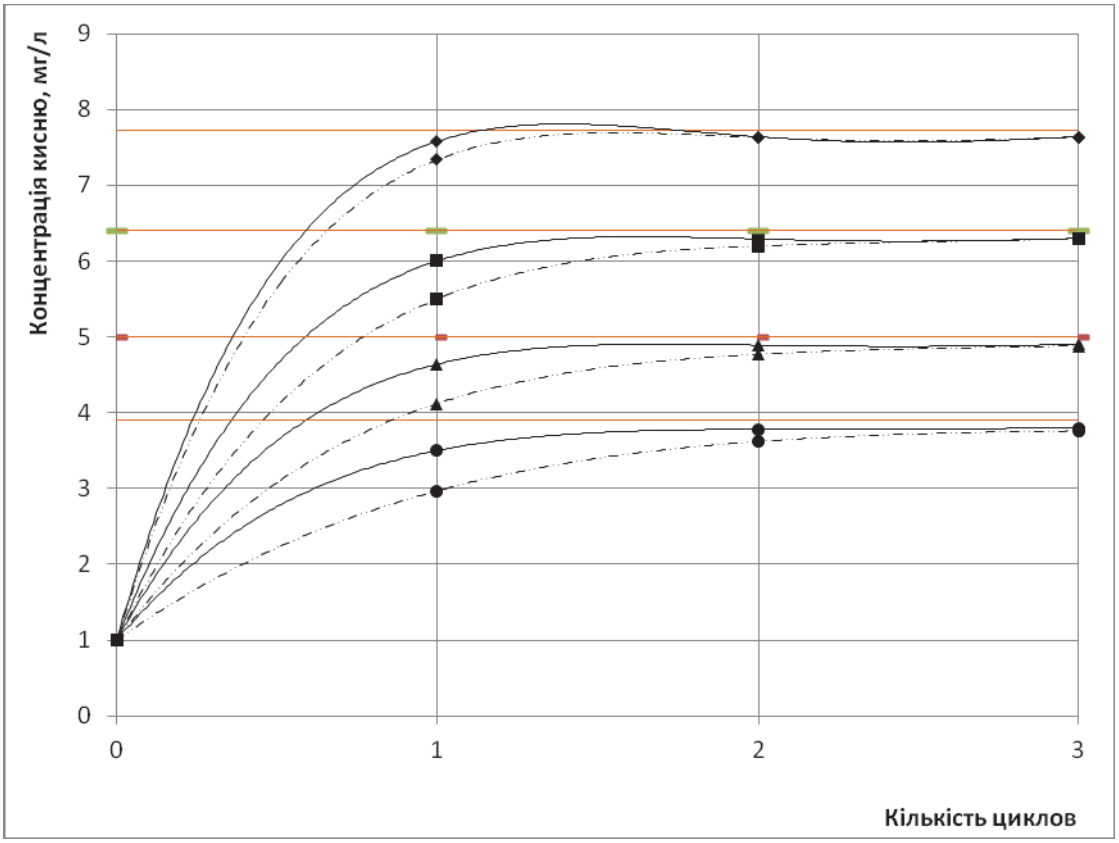



**Рис. 2. Залежність концентрації розчиненого кисню від кількості циклів обробки при концентрації СВ:** ♦ – вода; ■ – 3%; ▲ – 5%; ● – 10%; суцільна лінія – установка з РПА, пунктирна – з абсорбером

Отримані дані свідчать про те, що при використанні абсорбера, кисень розчиняється в середовищі на 20% повільніше, ніж у РПА. Таким чином, насичення середовища відбувається не за два, а за три цикли обробки, що стає особливо важливим при обробці більших обсягів рідини.

Важливим питанням при обробці культуральних середовищ є фізіологічний стан дріжджів і кількість загиблих в процесі обробки клітин. Результати порівняння числа мертвих клітин за час культивування в ферментаційних установках з абсорбером і РПА в якості аеруючих пристроїв, подано в табл. 2.

**2. Кількість мертвих клітин за час культивування у ферментаційних установках з абсорбером і РПА**

| Тип аеруючого пристрою ферментаційної установки | Час культивирования, год | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Абсорбер | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| РПА | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |

Отримані дані свідчать про те, що обробка в абсорбері в досліджуваному нами діапазоні кутових швидкостей обертання ротора не чинить негативного впливу на дріжджі, що є безумовною перевагою даного апарата, обробка ж в апараті з РПА призводить до появи мертвих клітин.

Подальші дослідження полягали у визначенні швидкості масопереносу кисню при культивуванні дріжджів *Candida Tropicalis*. Дослідження відбувалися при зміні частоти обертання ротора при різній концентрації сухих речовин в барді, витрата повітря на аерацію – 10 л / л годину. Результати досліджень наведено на рис. 3, як залежність максимальної швидкості масопереносу кисню, що досягається за проміжок від другої до четвертої години культивування. Швидкість масопереносу для розбавленої барди (4%) визначалася в перерахунку на концентровану барду.

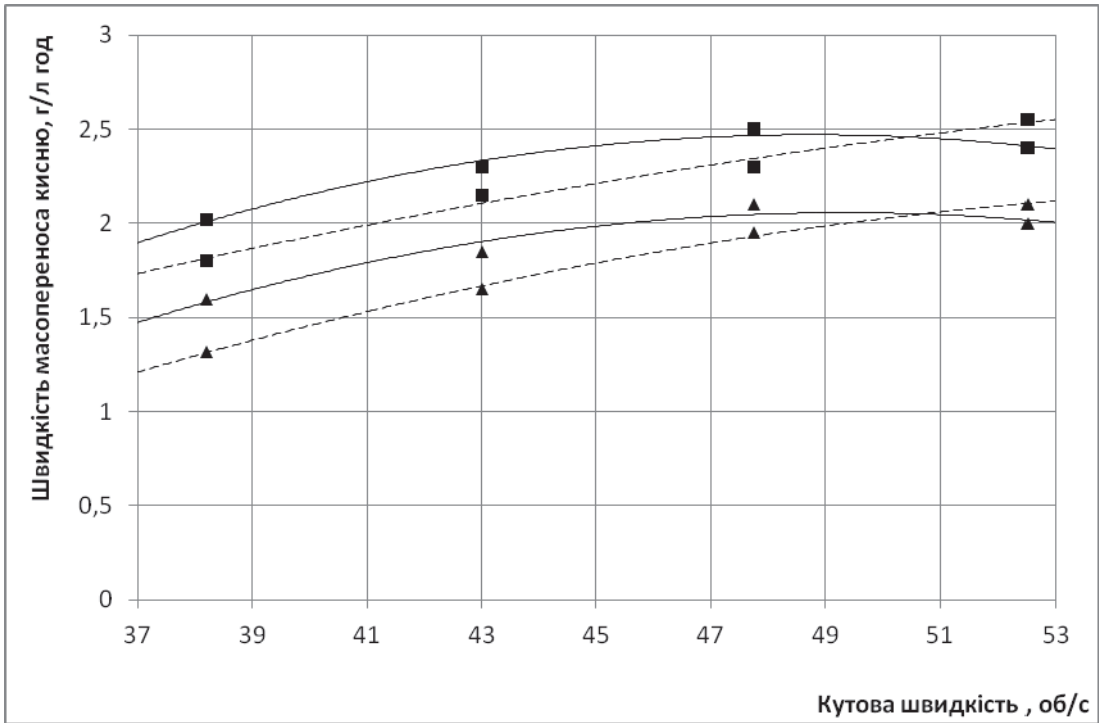



**Рис. 3. Залежність швидкості масопереносу кисню від кутової швидкості вала при концентрації СВ**: ■ – 4%; ▲ – 8%, суцільна лінія РПА, пунктирна – абсорбер

Отримані дані свідчать про те, що швидкість розчинення кисню в установці з абсорбером нижча, ніж в РПА. Однак, якщо в РПА при кутових швидкостях обертання валу, більших, ніж 47,75 об / с швидкість масопереносу умовно зменшується, що пояснюється збільшенням числа мертвих клітин, то в установці з абсорбером ріст клітин триває, а отже, триває споживання кисню.

Порівняння енергозатрат на проведення процесу культивування кормових дріжджів у ферментаційних установках з абсорбером та РПА свідчить, що установка з абсорбером споживає на 25% електроенергії більше, ніж установка з РПА.

## Висновки

- порівняно роботу ферментаційних установок з дискретно-імпульсним введенням енергії, що реалізується в абсорбері та роторно-пульсаційному апараті в процесі вирощування кормових дріжджів на післяспиртовій барді;
- визначено, що в установці з РПА кисень розчиняється на 20% швидше, ніж в установці з абсорбером;
- встановлено, що швидкість масопереносу кисню в установці з РПА при витраті повітря 10г/л год становить 2,1 г/л год, тоді як в установці з абсорбером – 1,95 г/л год, але при більш жорсткому режимі обробки в установці з РПА збільшується кількість мервих клітин;
- встановлено, що енергозатрати на аерацію культуральної рідини, при культивуванні кормових дріжджів в установці з абсорбером, на 25% вищі, ніж в установці з РПА.

## Список літератури


1. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ : тематический сборник статей / под общ. ред. А. А. Долинского – К. : Академпериодика, 2015. – 464 с.
2. А.с. 787457 (СССР). Способ аэрирования жидкости при выращивании микроорганизмов / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский и др. – Опубл. в Б. И., 1980, № 46.
3. А.с. 672155 (СССР). Способ насыщения жидкости газом / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский, Я. И. Коренберг. – Опубл. в Б. И., 1979, № 25.
4. А. с. 735290 (СССР). Устройство для импульсной аэрации жидкости / О. А. Кремнев, А. А. Долинский, А. А. Корчинский и др. – Опубл. в Б. И., 1980, № 19.
5. Ободович О. М. Аерація і масообмін при культивуванні кормових дріжджів / О. М. Ободович, Г. К. Іваницький, Ю. О. Борхаленко, В. В. Сидоренко // III Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК” : тези доповідей, 17–18.12.2015., м. Київ. – К. : НУБіП України, 2015. – С. 43–44.
6. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. : монография. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
7. Долинский А. А. Исследование влияния импульсно-дискетной подачи газа с частотой 1000–5000 Гц на процессы абсорбции / А. А. Долинский, А. А. Корчинский, В. В. Панчишин // Промышленная теплотехника. – 1983. – Т. 5. – № 3. – С. 30–33.
8. Долинский А. А. Энергосберегающие абсорбционные технологии в производстве газированных напитков / А. А. Долинский, Б. И. Басок, О. К. Шетанков, А. И. Чайка // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23. – № 4–5. – С. 137–140.

# СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОМАССООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ВВЕДЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

***Б. Х. Драганов., А. Н. Ободович, Г. К. Иваницкий, В. В. Сидоренко***

**Аннотация.** *Рассмотрена работа ферментационной установки с применением абсорбера в качестве аэрирующего устройства в процессе культивирования кормовых дрожжей. Представлены массообменные характеристики по абсорбции кислорода. Проведен сравнительный анализ данной установки с ферментационной установкой с использованием роторно-пульсационного аппарата.*

**Ключевые слова:** ***кормовые дрожжи, послеспиртовая барда, метод дискретно-импульсного ввода энергии, абсорбер, роторно-импульсный аппарат, скорость массопереноса кислорода***

# COMPARING THE EFFICIENCY OF HEAT AND MASS TRANSFER EQUIPMENT TO DISCRETE-PULSE ENERGY WITH THE INTRODUCTION OF THE CULTIVATION OF FODDER YEAST

***B. Draganov, O. Obodovich, G. Ivanitskiy, V. Sidorenko***

**Annotation.** *The article reviewed the fermentation installation work using the absorber as the aeration device during culturing fodder yeast. Mass transfer characteristics of the absorption of oxygen are presented. A comparative analysis of the fermentation plant with the installation using the rotary-pulsation apparatus is presented.*

**Key words:** ***fodder yeast, distillers grains, a method of discrete input pulse energy, absorber, the rotary-pulse machine, oxygen mass transfer speed***

УДК 662.61:621

# ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕЧІЇ В ПРЯМОКУТНИХ КІЛЬЦЕВИХ НІШАХ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТАБІЛІЗАТОРНИХ ПАЛЬНИКІВ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ

***Н. М. Фіалко, доктор технічних наук, чл.-кор. НАН України***
***М. В. Майсон[1] Інститут технічної теплофізики НАН України***
***М. З. Абдулін[2], кандидати технічних наук***
***М. В. Ганжа [1], К. В. Рокитько [1], А. А. Озеров, інженери [1]***
***Інститут технічної теплофізики НАН України***
***Д. П. Хміль [3], інженери***
***[1]Інститут технічної теплофізики НАН України***
***[2] Національний технічний університет України «КПІ»***
***[3]Національный авіаційний університет***
***e-mail: nmfialko@ukr.net***

**Анотація.** *Наведено результати розрахункових досліджень течії палива та окиснювача для типоряду циліндричних пальникових пристроїв стабілізаторного типу з нішевими порожнинами. Основну увагу приділено аналізу структури потоку власне в нішах. Наводяться дані щодо рекомендованих параметрів прямокутних кільцевих ніш для пальникових пристроїв різної потужності.*

**Ключові слова:** ***циліндричні стабілізаторні пальники, математичне моделювання, нішеві порожнини, течія палива та окиснювача***

Одним зі способів інтенсифікації спалювання газоподібного палива в стабілізаторних пальникових пристроях є застосування нішевих порожнин різної конфігурації. Дослідженню процесів теплообміну та течії в таких порожнинах присвячено значну кількість робіт (див. наприклад, [1–6]). Однак, вони далеко не повністю забезпечують потреби практики проектування нішевих пальників стабілізаторного типу. Значний інтерес, зокрема, становить поглиблене вивчення питань щодо вибору раціональних параметрів ніш із урахуванням особливостей форми та розмірів стабілізаторів полум'я.

Дана робота спрямована на дослідження закономірностей течії в циліндричних стабілізаторних пальникових пристроях із кільцевими прямокутними нішами. Такі пальники, як відомо, знаходять широке застосування в умовах малої потужності вогнетехнічних об'єктів та при необхідності реалізації в них теплопідводу з високим ступенем рівномірності.

Як метод дослідження закономірностей течії в пальникових пристроях вибрано метод математичного моделювання. Останній, як відомо, стає все більш достовірним та інформативним інструментом при

*© Н. М. Фіалко, М. В. Майсон, М. З. Абдулін, М. В. Ганжа, К. В. Рокитько, А. А. Озеров, Д. П. Хміль, 2016*

поглибленому аналізі процесів переносу в умовах спалювання палива (наприклад, [7–11]).

**Мета досліджень** – встановлення структури течії палива і окиснювача в прямокутних кільцевих нішевих порожнинах пальникових пристроїв із циліндричними стабілізаторами полум'я.

**Матеріали та методика досліджень.** У роботі проведено математичне моделювання процесів течії для типоряду нішевих циліндричних пальників стабілізаторного типу потужністю від 30 до 200 кВт. На рис. 1 наведено схему такого пальникового пристрою, в табл. 1 – основні характеристики вказаного типоряду. У пальникових пристроях, що досліджуються, реалізується принцип неповного попереднього змішування палива і окиснювача, коли в зону горіння надходить неоднорідна горюча суміш. Природний газ подається в потік повітря, що зносить полум'я через систему круглих отворів на бічній стінці циліндричного стабілізатора. Прямокутна кільцева ніша розміщується на деякому віддаленні від газоподавальних отворів униз по потоку.

Закономірності процесів турбулентного переносу в пальникових пристроях стабілізаторного типу, що розглядаються, досліджувалися в межах *RANS* моделювання турбулентних потоків. Розрахункові експерименти базувалися на розв’язанні такої системи рівнянь:

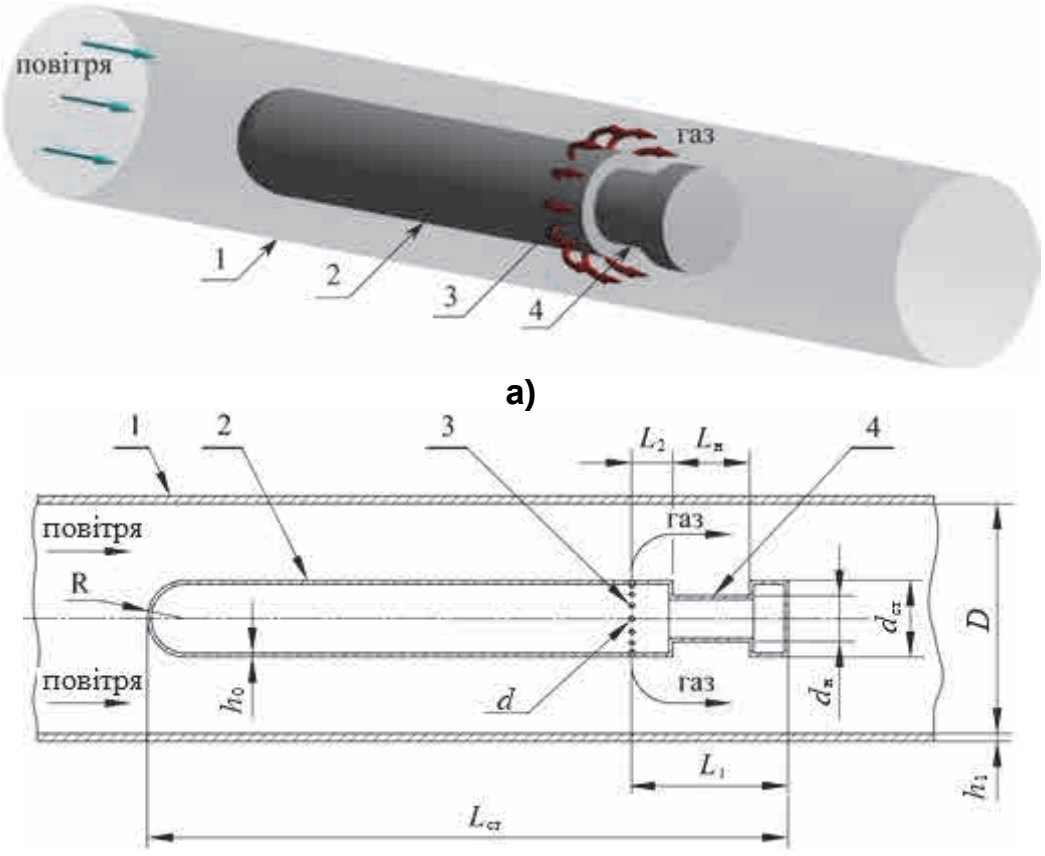



**Рис. 1. Схема стабілізаторного циліндричного пальника з кільцевою нішею (а) та його поздовжній переріз (б):** 1 – циліндричний канал; 2 – циліндричний стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – кільцева ніша

## 1. Основні конструктивні та режимні параметри типоряду циліндричних стабілізаторних пальникових пристроїв потужністю $N_п$ від 30 до 200 кВт

| $N_п$, кВт | $d_{ст}$, м | $D$, м | $d$, м | Кількість газопода вальних отворів | Витрата газу $G_г$, м$^3$/год | Коефіцієнт надлишку повітря |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 0,02 | 0,0365 | 0,002 | 9 | 3 | 1,1 |
| 110 | 0,04 | 0,073 | 0,003 | 13 | 11 | 1,1 |
| 155 | 0,05 | 0,091 | 0,0035 | 14 | 15,5 | 1,1 |
| 200 | 0,06 | 0,1095 | 0,004 | 15 | 20 | 1,1 |

$$\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_j Y_m}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right)\frac{\partial Y_m}{\partial x_j}, \quad m = 1,\ldots,N-1 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}, \quad i = 1,2,3 \qquad (3)$$

$$\rho = \frac{P}{RT\sum_p \frac{Y_p}{M_p}}, \quad p = 1,\ldots,N \qquad (4)$$

де

$$\tau_{ij} = (\mu + \mu_t)S_{ij} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\left(\rho k + (\mu + \mu_t)\frac{\partial u_n}{\partial x_n}\right),$$

$$S_{ij} = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right),$$

ρ – сумарна густина суміші компонентів;
$u_j$ – проекція осередненої швидкості на вісь $x_j$;
P – тиск;
μ, $\mu_t$ – коефіцієнти молекулярної й турбулентної в'язкості;
k – кінетична енергія турбулентності;
$\delta_{ij}$ – символ Кронекера;
$Y_m$ – масова частка m-го компонента суміші;
Sc та $Sc_t$ – молекулярне й турбулентне числа Шмідта;
N – кількість компонент суміші;
R – універсальна газова стала;
T – абсолютна температура;

$M_p$ – молярна маса p-го компонента.

Для замикання системи рівнянь (1) – (4) було застосовано *k*-ε модель турбулентності в модифікації *RNG*:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_k(\mu+\mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_k - \rho\varepsilon \quad , \qquad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_\varepsilon(\mu+\mu_t)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + G_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}G_k - \left(C_{\varepsilon 2} + C_\mu \frac{\eta^3(1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3}\right)\rho\frac{\varepsilon^2}{k}, \qquad (6)$$

де

$$G_k = \frac{\mu_t}{\rho}\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right),$$

$\varepsilon$ – швидкість дисипації кінетичної турбулентної енергії;

$\mu_t = C_\mu \rho k^2/\varepsilon$;

$\eta = |S_{ij}|k/\varepsilon$;

$\alpha_k$ та $\alpha_\varepsilon$ – зворотні числа Прандтля рівні 1,393;

$C_{\varepsilon 1} = 1{,}42$;

$C_{\varepsilon 2} = 1{,}68$;

$C_\mu = 0{,}0845$; $\eta_0 = 4{,}38$; $\beta = 0{,}012$.

Розглядалася розрахункова область у вигляді кутового фрагмента пальникового пристою, що відповідає половині кутового кроку розташування газоподавальних отворів. Щодо граничних умов, то у вхідному перерізі пальника та вихідних перерізах газоподавальних отворів задавалися значення середньої швидкості потоку, інтенсивності турбулентності, гідравлічного радіуса, температури та масових часток компонентів суміші; на вихідній границі значення перших похідних у напрямку до нормалі від залежних змінних приймалися рівними нулю; на границях розрахункової області, що відповідають поверхням гідродинамічної симетрії, задавалися рівними нулю нормальні до цих поверхонь компоненти швидкості та нормальні перші похідні від залежних змінних; на твердих поверхнях ставилися умови прилипання та непроникності. У пристінкових розрахункових вузлах шукані величини визначалися на основі методу пристінкових функцій.

**Результати досліджень.** На рис. 2 наведено результати комп'ютерного моделювання картини течії палива і окиснювача в пальникових пристроях потужністю $N_п$ = 30; 110; 155 і 200 кВт за наявності нішевої порожнини розміром *L*x*H* = 0,03x0,006 м. Тут, у першу чергу, звертає на себе увагу той факт, що в усіх розглянутих пальникових пристроях протяжність первинного вихору в ніші є помітно коротшою, ніж її довжина. При цьому, чим менша потужність $N_п$, тим менша зазначена протяжність. Щодо місця розташування первинного вихору в нішевій порожнині, то він для всіх значень $N_п$ зміщується у напрямку до передньої стінки ніші. Зона

вихрової течії біля задньої стінки ніші з ростом потужності $N_п$ є все більш яскраво вираженою і зсувається з дна ніші до її кромки.

Для ефективного сумішоутворення і стабілізації полум'я в ніші зона первинного вихору в ній, як відомо, повинна займати основну частину простору ніші, і відповідно його протяжність не повинна значно відрізнятися від довжини $L$ нішевої порожнини. Згідно з отриманими даними, ніша завдовжки $L$ = 0,03 м в умовах, що розглядаються, не відповідає зазначеним вимогам. Довжина нішевої порожнини, очевидно, повинна бути коротшою, дещо збільшуючись із підвищенням потужності $N_п$.

У табл. 2 наведено отримані в результаті обчислювальних досліджень рекомендовані значення абсолютної й відносної довжини кільцевої прямокутної ніші ($\bar{L} = L/H$). Відповідну картину течії палива та окиснювача подно на рис. 3. Як видно з таблиці, відносна довжина $\bar{L}$ для розглянутого типоряду пальників знаходиться в межах $3 \le \bar{L} \le 4$, що відповідає допустимому діапазону її зміни $2{,}5 \le \bar{L} \le 5{,}0$.

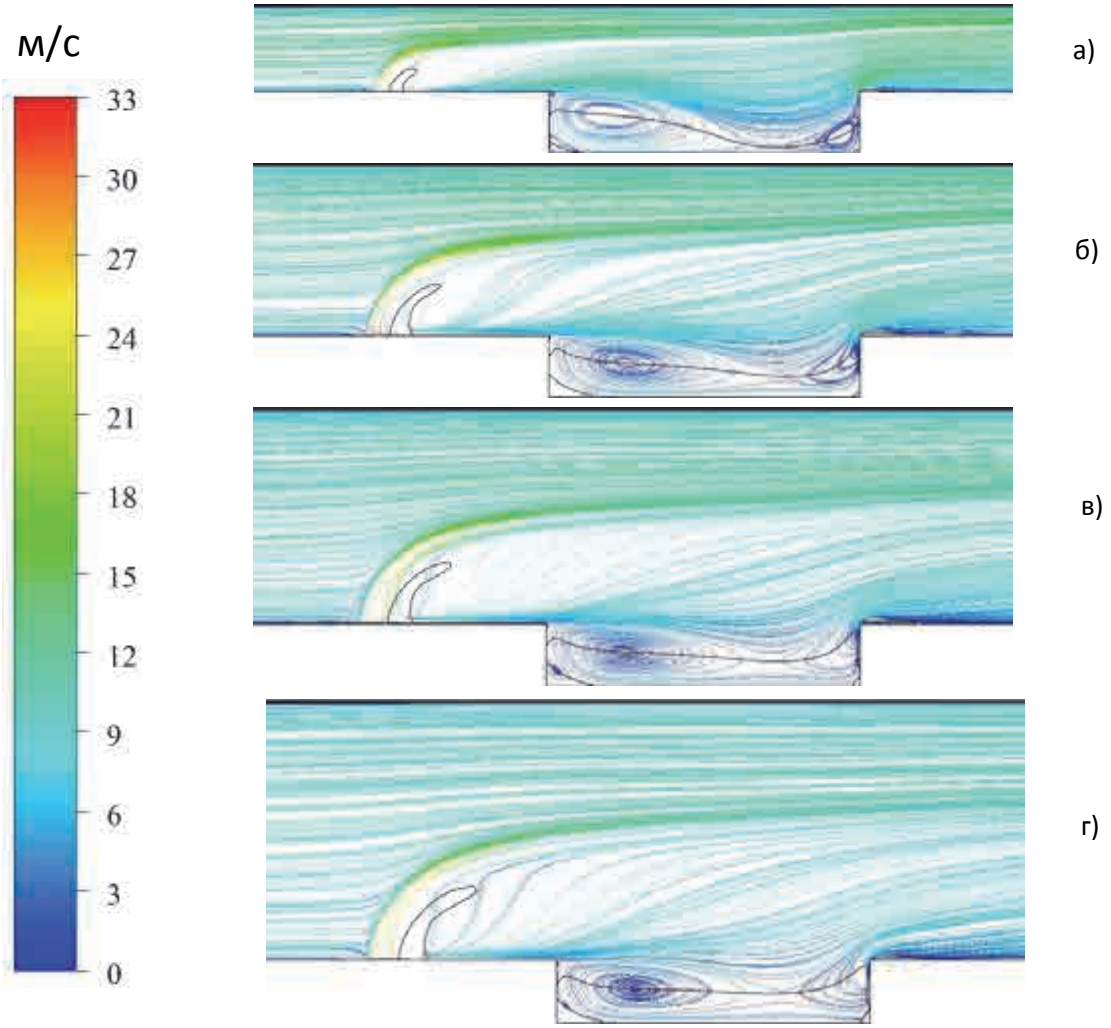



**Рис. 2. Фрагмент ліній току в поздовжньому перерізі нішового пальникового пристрою, що проходить через вісь газоподавального отвору, для ніш розміром $L$x$H$ = 0,03x0,006 м за різної потужності пальників:**

а) $N_п$ = 30 кВт; б) $N_п$ = 110 кВт; в) $N_п$ = 155 кВт; г) $N_п$ = 200 кВт

**2. Абсолютні та відносні величини рекомендованих значень довжин нішевої порожнини для типоряду циліндричних стабілізаторних пальникових пристроїв**

| $N_п$, кВт | 30 | 110 | 155 | 200 |
|---|---|---|---|---|
| $L$, м | 0,018 | 0,021 | 0,0225 | 0,024 |
| $\overline{L}$ | 3 | 3,5 | 3,75 | 4 |

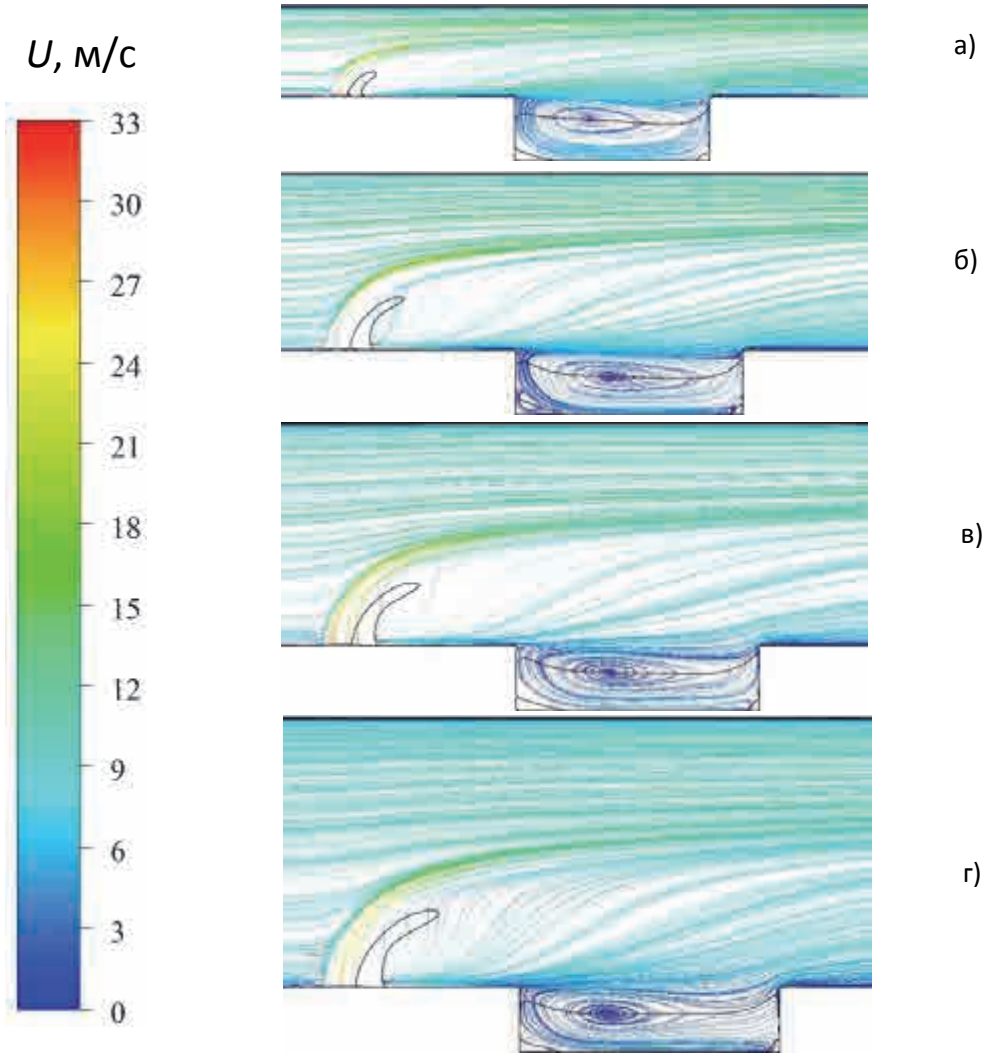



**Рис. 3. Фрагмент ліній току в поздовжньому перерізі пальникового пристрою, що проходить через вісь газоподавального отвору, за рекомендованих конструктивних параметрів нішевих порожнин для пальників різної потужності:**
а) $N_п$ =30 кВт; б) $N_п$ =110 кВт; в) $N_п$ =155 кВт; г) $N_п$ =200 кВт

Згідно з результатами математичного моделювання, для рекомендованих значень довжини ніші за всіх величин потужності $N_п$ протяжності первинного вихору в нішевій порожнині лише дещо менші за її довжину, так що вихор займає основну частину цього простору (рис. 3). Останнє, як було зазначено, є однією з важливих умов сприятливого сумішоутворення та стабілізації полум'я в ніші.

## Висновки

Для циліндричних пальників стабілізаторного типу потужністю від 30 до 200 кВт на основі одержаних даних щодо характеристик циркуляційної течії в нішевих порожнинах цих пристроїв розроблено рекомендації з вибору геометричних параметрів даних порожнин. Визначено, що для пальників потужністю $N_п$ = 30; 110; 155 і 200 кВт, рекомендовані значення довжини ніші, віднесені до їх висоти, становлять 3,0; 3,5; 3,75; 4,0 відповідно.

## Список літератури


1. Дьяченко А. Ю. Обтекание турбулентным потоком поперечной каверны с наклонными боковыми стенками. Ч. 1. Структура потока / А. Ю. Дьяченко, В. И. Терехов, Н. И. Ярыгина // Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Т. 47, № 5. – С. 68–76.
2. Дьяченко А. Ю. Обтекание турбулентным потоком поперечной каверны с наклонными боковыми стенками. 2. Теплообмен. / А. Ю. Дьяченко, В. И. Терехов, Н. И. Ярыгина // Прикладная механика и техническая физика. – 2007. – Т. 48, № 4. – С. 23–29.
3. Фиалко Н. М. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала / Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Алешко С. А. [и др.] // Промышленная теплотехника. – 2012 – Т. 34, № 1. – С. 72–76.
4. Фиалко Н. М. Математическое моделирование взаимодействия вихревых структур в прямоугольной нише / Н. М. Фиалко, Г. В. Иваненко, В. Г. Прокопов [и др.] // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики : материалы XXII межд. конференции, Ялта 8–12 июня 2012 г. – К., 2012. – С. 148–150.
5. Фиалко Н. М. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве / Фиалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В. [и др.] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 3, № 8 (69). – С. 40–44.
6. Фіалко Н. М. Підвищення інтенсивності процесів переносу в циліндричному стабілізаторному пальнику шляхом застосування прямокутних кільцевих ніш / Н. М. Фіалко, Ю. В. Шеренковський, М. В. Майсон [та ін.] // Сб. трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». – К., 2014. – С. 122–125.
7. Blanquart, G. Modeling autoignition in non-premixed turbulent combustion using a stochastic flamelet approach / G. Blanquart, H. Pitsch // Proc. Combust. Inst. – 2005. – Vol. 30. – P. 2745–2753.
8. Echekki Tarek, Mastorakos Epaminondas Turbulent Combustion Modeling: Advances, New Trends and Perspectives. Fluid mechanics and its applications, Volume 95, 2011, 513 p.
9. Subramanian, V. Large eddy simulation of forced ignition of an annular bluff-body burner [Text] / V. Subramanian, P. Domingo, L. Vervisch // Combustion and Flame. – 2010. – Vol. 157. – P. 579–601.
10. Triantafyllidis, A. Large Eddy Simulations of forced ignition of a non-premixed bluff-body methane flame with Conditional Moment Closure [Text] / A. Triantafyllidis, E. Mastorakos, R. L. G. M. Eggels // Combustion and Flame. – 2009. – Vol. 156. – P. 2328–2345.

11. Westbrook, C. K. Computational combustion / C. K. Westbrook, Y. Mizobuchi, T. J. Poinsot, P. J. Smith, J. Warantz // Proc. Combust. Inst. – 2005.– Vol. 30. – P. 125–157.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕЧЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ НИШАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРНЫХ ГОРЕЛОК РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

***Н. М. Фиалко, Н. В. Майсон, М. З. Абдулин, М. В. Ганжа, К. В. Рокитько, А. А. Озеров, Д. П. Хмиль***

**Аннотация.** *Представлены результаты расчетных исследований течения топлива и окислителя для типоряда цилиндрических горелочных устройств стабилизаторного типа с нишевыми полостями. Основное внимание в статье уделено анализу структуры потока в собственно нишах. Приводятся данные о рекомендованных параметрах прямоугольных кольцевых ниш для горелочных устройств различной мощности.*

**Ключевые слова:** ***цилиндрические стабилизаторные горелки, математическое моделирование, нишевые полости, течение топлива и окислителя***

## FLOW PATTERN IN RECTANGULAR ANNULAR CAVITIES OF CYLINDRICAL STABILIZER BURNERS OF VARIOUS CAPACITY

***N. Fialko, M. Maison, M. Abdulin, M. Ganzha, K. Rokitko, A. Ozerov, D. Khmil***

**Annotation.** *The numerical simulation results of oxidizer and fuel flow to type series of cylindrical burner devises of stabilizer type with cavities are presented. The main attention in paper is paid to the analysis of the flow pattern in the cavities. The data are given with respect to recommended parameters of the rectangular annular cavities for the burner devises of various capacity.*

**Key words:** ***cylindrical stabilizer burners, numerical simulation, cavities, oxidizer and fuel flow***

УДК 620.92

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С СОЛНЕЧНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ

***А. Т. Беленов, В. В. Чемеков, кандидаты технических наук***
***В. В. Харченко, доктор технических наук***
***ФБГНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: kharval@mail.ru***

**Аннотация.** *При совместном использовании тепловых насосов и солнечных коллекторов (СК) можно повысить общую эффективность систем теплоснабжения. Методом динамического моделирования на основе уравнений баланса потребления тепловой и электрической энергии и энергии, получаемой от возобновляемых источников, определены оптимальные параметры системы. Критерии оптимизации – максимум выработки тепловой энергии, получаемой от СК, и минимум электропотребления тепловым насосом. Приведены рекомендации по проектированию систем автономного теплоснабжения на основе оборудования возобновляемой энергетики.*

**Ключевые слова:** ***тепловой насос, солнечный коллектор, система автономного теплоснабжения***

Анализ возможных областей использования в Российской Федерации теплонасосных систем, использующих нетрадиционные источники энергии, в частности, теплоту природной среды, показывает, что сегодня одной из наиболее перспективных областей их применения являются системы теплоснабжения зданий. Эффективным направлением внедрения теплонасосных технологий в практику представляется использование систем на основе такого доступного повсеместно источника тепловой энергии, как низкопотенциальная теплота приповерхностного грунта [1,2]. Такие системы нашли широкое применение в ряде стран Европы, США, Канады. Широкое распространение получили также системы теплоснабжения на основе теплоты поверхностных и сточных вод [3] и открытых водотоков [4].

Большой интерес представляют работы по использованию воздушных тепловых насосов (ТН) в различных климатических условиях России [5]. Перспективным представляется применение теплонасосных систем и при решении задачи теплоснабжения объектов малоэтажной застройки, которые обычно рассредоточены территориально и не могут быть объединены единой централизованной теплосетью [6]. Особенно перспективным для теплоснабжения малоэтажных зданий и удаленных

*© А. Т. Беленов, В. В. Чемеков, В. В. Харченко, 2016*

от централизованного энергоснабжения объектов представляется применение теплонасосных систем с использованием возобновляемых источников энергии как для обеспечения низкопотенциальной тепловой энергии, так и для электроснабжения компрессионных насосов.

Ранее авторы рассмотрели эффективность использования ТН «воздух-вода» в климатических условиях Черноморского побережья Краснодарского края при условии их электроснабжения от ветроэлектрических установок [7]. В настоящей работе рассмотрена система теплоснабжения с ТН, дополненная СК и аккумулирующими емкостями с теплоэлектронагревателями (рис. 1), определены их оптимальные параметры и общая эффективность системы.

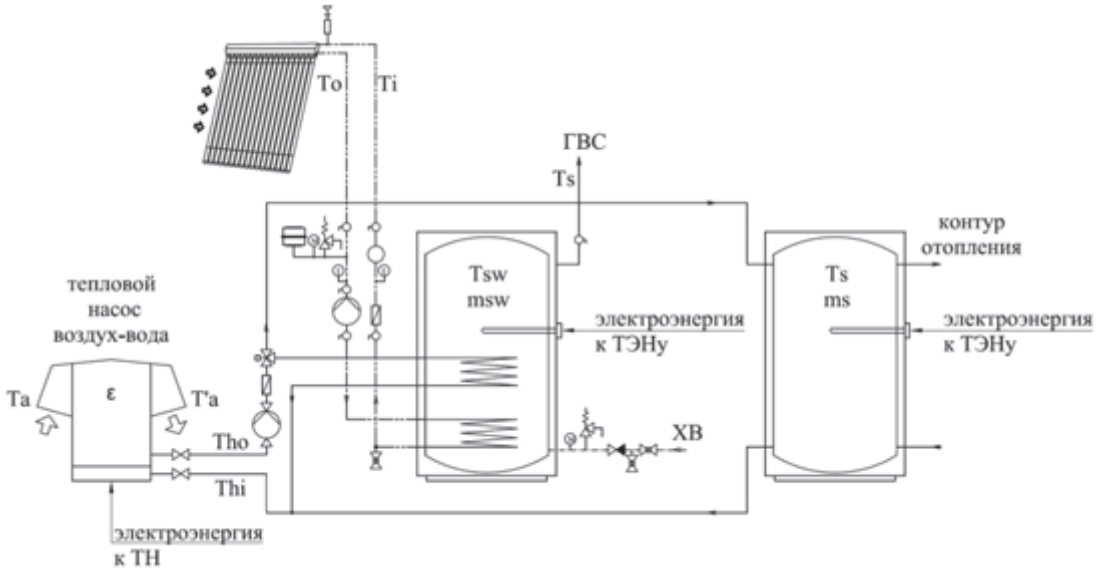



**Рис. 1. Теплотехническая схема системы теплоснабжения**

**Цель исследований** – оптимизация параметров теплонасосной системы автономного теплоснабжения с солнечными коллекторами.

**Материалы и методы исследований.** Технические характеристики используемых в исследовании СК представлены в документации по проектированию [8, 9]. Вакуумированные трубчатые солнечные коллекторы, несмотря на более высокую стоимость по сравнению с плоскими коллекторами, обладают лучшими характеристиками, показывают более высокую эффективность при круглогодичном использовании [10] и, вследствие этого, достаточно часто используются на практике. Технические преимущества таких коллекторов обеспечиваются, в первую очередь, особенностями конструкции тепловой трубки, благодаря которым коллектор способен собирать даже слабое рассеянное солнечное излучение, а вакуум между трубкой и поглотителем обеспечивает хорошую теплоизоляцию, практически полностью исключающую потери на конвекцию, особенно при низких температурах окружающего воздуха.

Требуемая площадь поглощающей поверхности достигается соединением нескольких модулей СК в группу по параллельной схеме,

благодаря чему обеспечивается максимальный расход теплоносителя, около 60…80 л/ч на 1 м$^2$ площади СК. Это дает меньший разброс температур для подающей и обратной магистрали контура СК, и позволяет снизить потери тепла в окружающую среду.

Выполнение точного теплового расчета солнечной системы теплоснабжения практически представляет большие трудности из-за необходимости учета влияния случайных колебаний климатических параметров и сложного характера взаимодействия между элементами системы. Поэтому обычно используются упрощенные методы, которые основаны на обобщении результатов подробного моделирования гелиосистем и дают возможность получить долгосрочные характеристики исследуемой системы. Для наглядности описания процессов можно изобразить теплотехническую схему, представленную на рис. 1, в виде структурной модели, показанной на рис. 2. Более подробно построение математической модели системы теплоснабжения изложено в публикации [11]. Здесь мы отметим лишь основные моменты, характеризующие работу СК совместно с баком-аккумулятором.

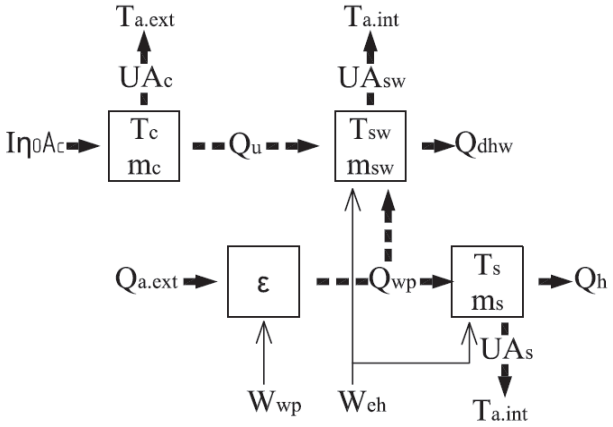



**Рис. 2. Структурная схема системы теплоснабжения**

Как известно, в стационарном режиме полезная тепловая энергия $Q_u$, вырабатываемая коллектором площадью $A_c$, определяется разностью между энергией абсорбированного солнечного излучения и тепловыми потерями в окружающую среду [12, 13]. СК вырабатывает максимальное количество полезной энергии, когда температура всего коллектора $T_c$, равна температуре воды на его входе, при этом потери тепла в окружающую среду минимальны. Если массовый расход $m_c$, через коллектор увеличивается, разница температур на входе и выходе коллектора уменьшается. Это вызывает снижение потерь, так как снижается средняя температура абсорбера и, соответственно, увеличивается прирост полезной энергии.

Основным параметром для аккумулирующей емкости является теплосодержание единицы объема. Тепловая емкость $Q_{sw}$ водяного аккумулятора, с однородной температурой аккумулирующей среды $T_{sw}$ и конечной разницей температур, определяется массой теплоносителя в баке, и его удельной теплоемкостью $(mC_p)_{sw}$. Годовое теплопотребление

в системе ГВС составляет $Q_{dhw}$ = 4261 кВт·ч [7] и является функцией величины расхода горячей воды за расчетный единичный интервал времени при заданных температурах холодной +15 °С, горячей расходной воды +45 °С, и при принятой температуре воды в баке-аккумуляторе +60 °С.

Интегрируя уравнение теплового баланса в баке-аккумуляторе с однородной температурой во всем объеме, во времени, можно моделировать долгосрочную работу аккумулирующей емкости. Используя способ Эйлера, получим уравнение для конечного интервала времени и решим его для температуры воды в баке в конце каждого часового интервала в течение года. Таким образом, определим температуру в конце каждого условного интервала времени $T'_{sw}$, при условии, что температура была неизменна в течение этого интервала.

**Результаты исследований.** Исходными данными для моделирования, как и в работе [7] приняты среднечасовые значения суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхность коллектора, определенные по результатам мониторинга метеопараметров. В результате моделирования работы солнечного коллектора *Vitosol 200-T* [9] получены величины его удельной среднечасовой теплопроизводительности, по которым построен годовой график (рис. 3).

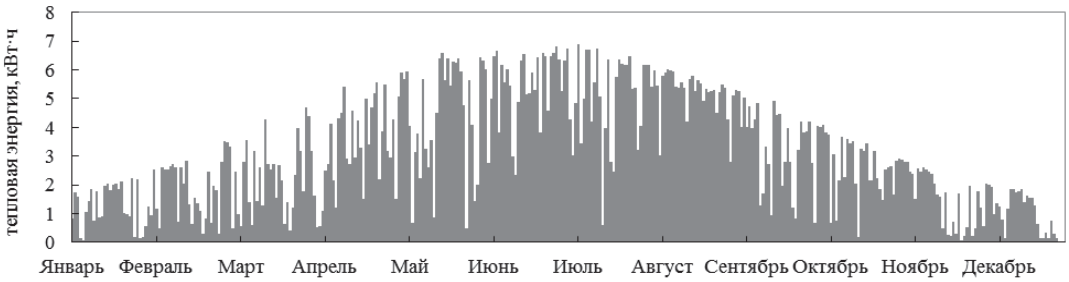



**Рис. 3. График теплопроизводительности вакуумированного СК S=1м$^2$**

Исходя из удельной теплопроизводительности СК ($Q_u$=1153 кВт·ч) и величины нагрузки ГВС $Q_{dhw}$, площадь СК должна составлять не менее 4 м$^2$. Однако из-за неравномерности прихода солнечной радиации фактически СК будет покрывать около 70% нагрузки ГВС, остальная часть должна быть выработана дополнительным электронагревателем. Составляющие тепловой энергии в нагрузке ГВС, получаемой от СК и ТЭН, определены в результате динамического моделирования с варьируемыми параметрами площади СК и емкости бака-аккумулятора (рис. 4). Использование тепла от дополнительного источника можно сократить путем увеличения площади солнечных коллекторов или увеличением объема бака-аккумулятора.

В первом случае, увеличение площади СК с 4 м$^2$ до 12 м$^2$ повысит долю солнечной энергии в нагрузке ГВС с 62 % до 77 %. Во втором случае, увеличение объема бака с 300 л до 750 л повысит долю солнечной энергии примерно на такую же величину с 62 % до 75%.

Однако, в первом случае, эффективность использования СК сократится с 65% до 28 %, т. е. большая часть потенциальной тепловой энергии не будет использована, тогда как во втором случае эффективность увеличится до 80%. Кроме того, с увеличением площади СК и емкости бака средняя температура в его объеме становится выше и это приводит к небольшому увеличению потерь тепла из бака-аккумулятора.

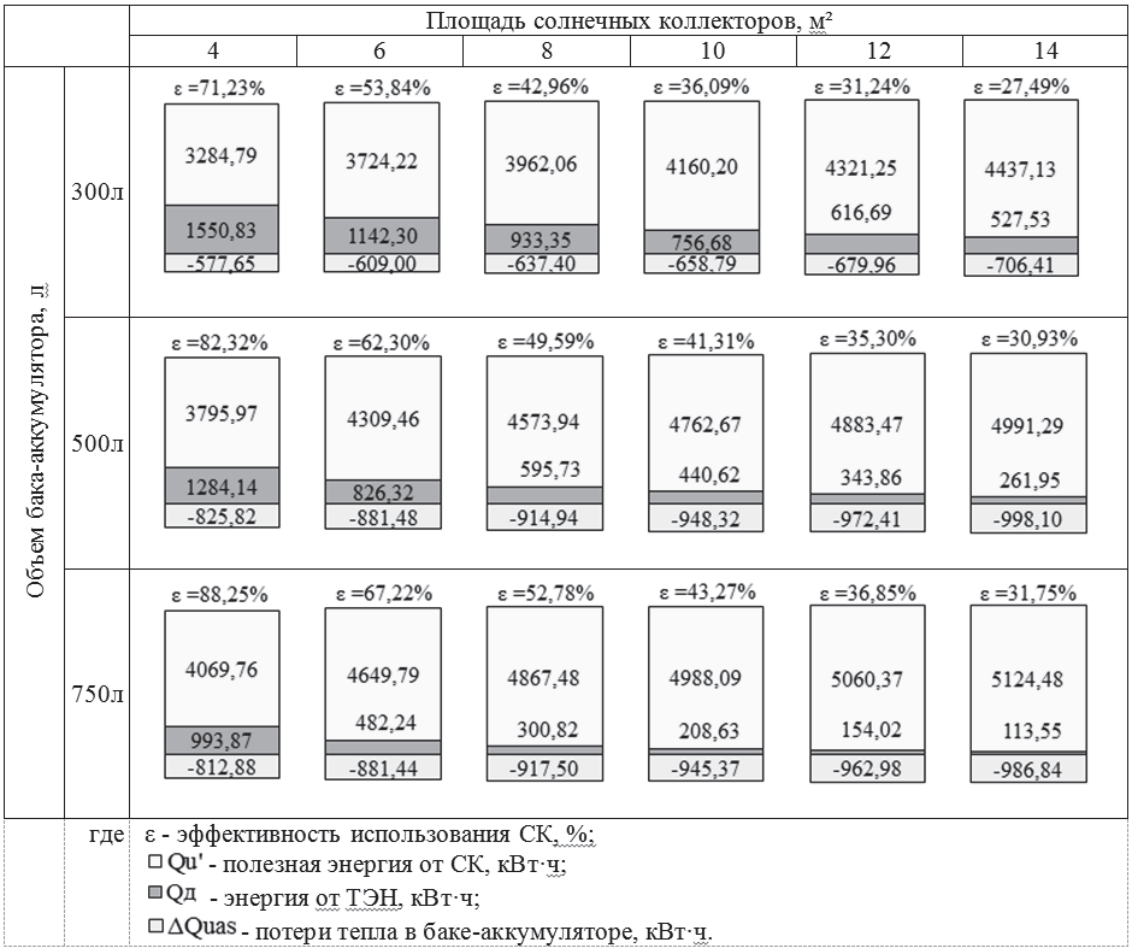



**Рис. 4. Результаты моделирования эффективности использования СК**

Таким образом, очевидно, что для полного покрытия нагрузки ГВС за счет энергии, вырабатываемой СК с оптимальной эффективностью, необходимо использовать коллекторы площадью не менее 6 м$^2$ с баком аккумулятором 500 л. Для системы с такими параметрами на рис. 5 представлен смоделированный график температуры воды в баке-водонагревателе ГВС. Как видно, температура расходной горячей воды в системе ГВС поддерживается на отметке не ниже +45°С большую часть времени, без подогрева от теплогенератора, который включается только в периоды низкой инсоляции, когда температура понижается ниже установленного порога.

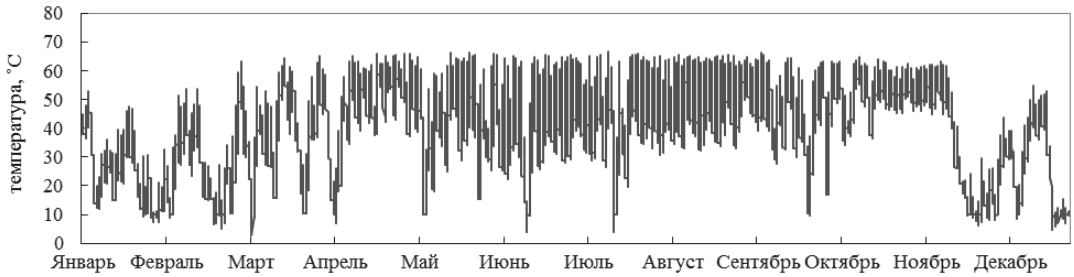



**Рис. 5. Температура в баке-водонагревателе ГВС при работе только от СК**

Для определения оптимальной площади СК, работающего в составе системы теплоснабжения с ТН, используются результаты, полученные ранее [7] для ТН марки AW110 мощностью 9,3 кВт. Система теплоснабжения моделируется таким образом, что ТН является основным теплогенератором для покрытия нагрузки отопления и резервным для ГВС, а СК преимущественно обеспечивает нагрузку ГВС. ТЭНы в баках-аккумуляторах используются как пиковые в случае недостаточной теплопроизводительности ТН и СК. На рис. 6 приведен пример результатов моделирования в виде среднечасовых величин вырабатываемой тепловой энергии от ТН, СК площадью 6 м$^2$ с аккумулятором емкостью 500 л и ТЭН. Аналогично путем подбора площади СК можно получить величины годовой теплопроизводительности для всех компонентов системы, а также эффективность использования СК и экономию электроэнергии на привод ТН и питание ТЭН.

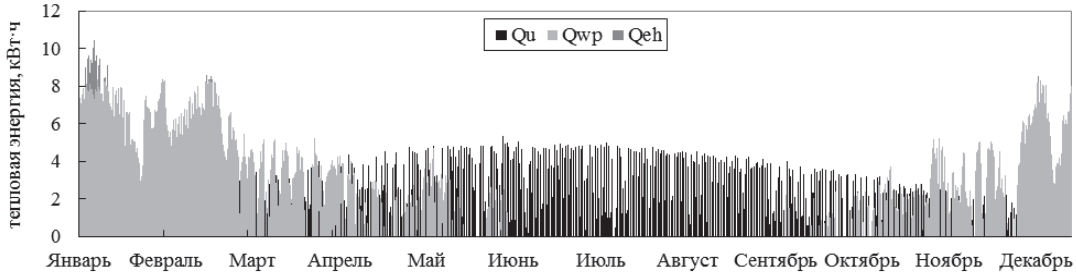



**Рис. 6. Годовой график теплопроизводительности теплового насоса (Qwp), солнечных коллекторов (Qu) и электронагревателя (Qeh)**

Результаты моделирования системы теплоснабжения с ТН и СК различной площади представлены в таблице.

Показателем эффективности использования СК является отношение величин теплопотребления на ГВС и полезной теплопроизводительности СК, а сравнительным показателем эффективности систем с СК различной площади является величина экономии электроэнергии. На рис. 7 представлены обобщенные результаты в виде зависимости, которые показывают, как с увеличением площади СК изменяется доля его теплопроизводительности в покрытии тепловой нагрузки ГВС, а также эффективность СК и общее электропотребление в системе с ТН и ТЭН. Также на графике представлена зависимость стоимости СК от площади.

**Результаты моделирования системы теплоснабжения с ТН и СК различной площади**

| Площадь солнечных коллекторов, м$^2$ | 4 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|
| Теплопотребление дома на отопление, кВт·ч | | 13 620 | |
| Тепловая энергия от ТН AW110 на отопление, кВт·ч | 15 024 | 14 645 | 14 428 |
| Потери тепла из бака отопительной воды, кВт·ч | 403 | 403 | 403 |
| Тепловая энергия от электронагревателя, кВт·ч | 175 | 160 | 146 |
| Электропотребление теплового насоса, кВт·ч | 5 150 | 5 047 | 4 990 |
| Средний коэффициент преобразования | 2,92 | 2,90 | 2,89 |
| Теплопотребление на ГВС, кВт·ч | | 4 261 | |
| Тепловая энергия от СК, кВт·ч | 3 453 | 3 902 | 4 168 |
| Потери тепла из бака-водонагревателя, кВт·ч | 770 | 826 | 862 |
| Тепловая энергия от теплового насоса на ГВС, кВт·ч | 1 578 | 1 184 | 954 |
| Эффективность использования СК, % | 75 | 56 | 45 |
| Общее потребление электроэнергии, кВт·ч | 5 324 | 5 207 | 5 137 |

Критерием оптимизации выбрана функция обеспечения максимума тепловой энергии, получаемой от СК, и минимума затрат электрической энергии для питания ТН и ТЭН системы теплоснабжения. Результаты моделирования показывают, что увеличение площади используемых солнечных коллекторов более 6 м$^2$ нецелесообразно, поскольку относительная величина их теплопроизводительности в нагрузке ГВС увеличивается не более чем на 4 % на каждые 2 м$^2$ площади. Та же зависимость характерна для показателя экономии электроэнергии, величина которого составляет 12 % при площади 6 м$^2$.

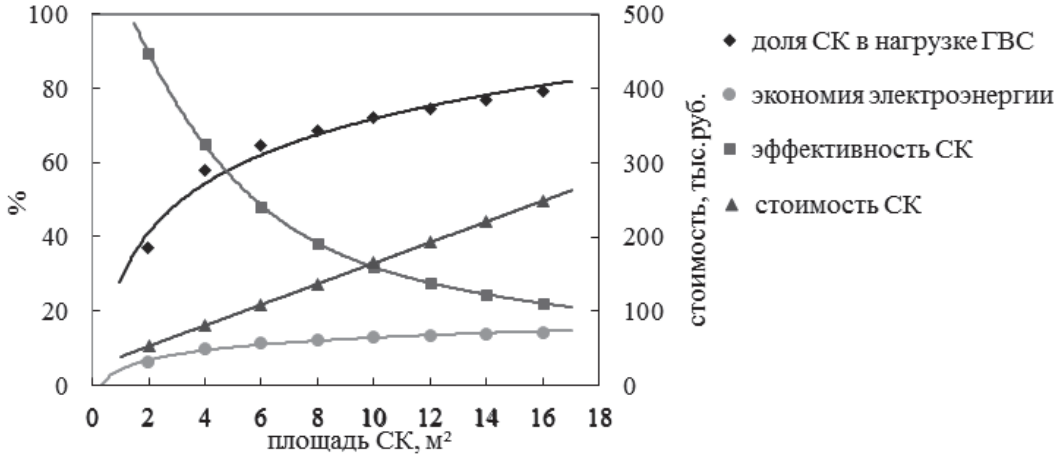



**Рис. 7. Соотношение параметров системы в зависимости от площади СК**

Также более чем на 50 % снижается и эффективность использования СК, при том, что стоимость СК растет практически линейно, что вызывает значительное удорожание всей системы теплоснабжения без получения какого-либо видимого эффекта. Окончательный выбор того или иного варианта конфигурации системы

автономного теплоснабжения рекомендуется проанализировать с точки зрения технико-экономических показателей, в частности по величине наименьших совокупных инвестиционных, эксплуатационных и энергетических затрат.

## Выводы

Вышеприведенные данные показывают, что применение моделирования при проектировании систем теплоснабжения для любого конкретного потребителя позволяет оптимизировать выбор ее конфигурации и состава оборудования, что обеспечивает повышение технико-экономических характеристик системы.

## Список литературы


1. Васильев Г. П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2003. – № 2. – С. 52–62.
2. Калинин М. И. Эффективное использование приповерхностных геотермальных ресурсов в геолого-климатических условиях центральных регионов России / М. И. Калинин, Б. Н. Хахаев, Е. П. Кудрявцев // Вестник Ярославского регионального отделения РАЕН. – 2007. – Т. 1, № 1. – С. 20–26.
3. Kavanaugh, M. C. Pezent. Water-to-air heat pump performance with lakewater // Proceedings of the sixth symposium on improving building systems in hot and humid climates (Dallas, TX, October 3–4, 1989).
4. Case Study – Restoration of an Old Watermill [Электронный ресурс]. URL: http://www.theconstructioncentre.co.uk/companies/kensa-heat-umps/11582.
5. Филиппов С. П. Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях / С. П. Филиппов, М. С. Ионов, М. Д. Дильман // Теплоэнергетика. – 2012. – № 11. – С. 11.
6. Филиппов С.П. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки / С. П. Филиппов, М. С. Ионов, М. Д. Дильман // Теплоэнергетика. – 2011. – № 11. – С. 12–19.
7. Чемеков В. В. Система теплоснабжения автономного жилого дома на основе теплового насоса и ветроэлектрической установки / В. В. Чемеков, В. В. Харченко // Теплоэнергетика. – 2013. – № 3. – С. 58–62.
8. Гелиотехника Logasol для горячего водоснабжения и поддержки отопления. Документация для планирования и проектирования // Будерус отопительная техника, 2005. – 118 с.
9. Солнечные коллекторы Vitosol. Инструкция по проектированию // Viessmann Werke GmbH&Co, 2003. – 88 с.
10. Сравнительная эффективность использования солнечных водонагревателей различных типов в климатических условиях Российской Федерации / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Ю. Г. Коломиец, Е. В. Сушникова // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 12. – С. 33–38.
11. Чемеков В. В. Построение математической модели системы автономного теплоснабжения на базе теплового насоса / В. В. Чемеков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2012. – № 2-2 (147). – С.167–172.

12. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Н. В. Харченко. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

13. Solar engineering of thermal processes / John A. Duffie, William A. Beckman. – 2nd ed. Wiley, John & Sons, Incorporated, 1991. – 918 p.

14. Чемеков В. В. Оценка эффективности применения тепловых насосов типа «воздух-вода» для теплоснабжения индивидуальных жилых домов в климатических условиях Краснодарского края / В. В. Чемеков // Труды 7-й Международной научно-технической конференции (18–19 мая 2010 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ). Часть 4. Возобновляемые источник энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – С. 293–298.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ СОНЯЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ

***О. Т. Бєлєнов, В. В. Чемеков, В. В. Харченко***

**Анотація.** *При спільному використанні теплових насосів і сонячних колекторів (СК) можна підвищити загальну ефективність систем теплопостачання. Методом динамічного моделювання на основі рівнянь балансу споживання теплової і електричної енергії та енергії, одержуваної від поновлюваних джерел, визначені оптимальні параметри системи. Критерії оптимізації – максимум вироблення теплової енергії, одержуваної від СК, і мінімум електроспоживання тепловим насосом. Наведено рекомендації з проектування систем автономного теплопостачання на основі обладнання відновлюваної енергетики.*

**Ключові слова:** ***тепловий насос, сонячний колектор, система автономного теплопостачання***

## OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE HEAT PUMP SYSTEM INDEPENDENT HEAT SUPPLY WITH SOLAR COLLECTORS

***A. Belenov, V. Chemekov, V. Kharchenko***

**Annotation.** *When sharing thermal pumps and solar collectors (SC) it is possible to increase overall effectiveness of systems of heat supply. The method of dynamic modeling on the basis of the equations of balance of consumption of the thermal and electric energy and energy received from renewable sources has determined optimum parameters of system. Criteria of optimization - a maximum of the heat energy produced by SC and a minimum the heat pump power consumption. Recommendations for design of systems of autonomous heat supply on the basis of the equipment of renewable energy are provided.*

**Key words:** ***heat pump, solar collector, system of autonomous heat supply***

УДК 004.896

# ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЗАДАЧ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБОБЩЁННОЙ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВННОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

***С. П. Вертай, кандидат экономических наук***
***В. Н. Штепа кандидат технических наук***
***Полесский государственный университет,***
***г. Пинск, Республика Беларусь***
***e-mail: shns1981@gmail.com***

**Аннотация.** *Качественно оценена структура экономики г. Пинск (Республика Беларусь) с точки зрения потенциала внедрения инновационных разработок; создана сводная таблица возможности интеграции таких решений в сферы деятельности существующих юридических лиц; сделан вывод о необходимости количественной оценки показателей эффективности инновационных проектов. Рассмотрены разные системы оценок экономической эффективности и сделан вывод о необходимости объединения таких оценок с помощью математического аппарата систем поддержки принятия решений; обоснованы и предложены задачи и структура такой системы, с возможностью включения как входных параметров мнений экспертов-аналитиков. Предложены последовательности функционирования и синтеза системы поддержки принятия решений на основе математического аппарата нейронных сетей.*

**Ключевые слова:** ***инновационный проект, критерий оценки эффективности, система поддержки принятия решений, нейронная сеть***

Эффективность практического внедрения во внешнюю высокотехнологичную рыночную среду инновационных разработок определяется наличием в компании инновационного менеджмента [2], представители которого могут быстро реагировать на непрерывные изменения рынка.

Однако при решении таких задач возникают трудности [1, 3]:

- определения экономико-инвестиционного потенциала конкретных разработок;
- возможность (перспективность) интегрированности инноваций в региональные условия.

Эффективное решение таких задач невозможно без синтеза адекватных информационно-аналитических систем поддержки принятия решений (СППР).

*© С. П. Вертай, В. Н. Штепа, 2016*

Задача построения соответствущей СППР является сложной, поскольку, как объект оценки эффективности, инновационные проекты отличаются [1–3]:

- многоэтапностью (например, они могут предусматривать проведение НИОКР, экспериментальное внедрение, доработку конструктивных и технологических решений, серийное производство и расширение объемов применения);
- необходимостью создания или приобретения объектов интеллектуальной собственности;
- повышенными затратами в период освоения новой техники в производстве и в сфере применения;
- необходимостью учета динамики производительности и эксплуатационных расходов технических средств на протяжении срока их службы, необходимостью оптимизации сроков службы новой техники;
- наличием специфических и достаточно существенных рисков (например, высоким риском неудачного завершения НИОКР и/или экспериментального внедрения);
- использованием специфических форм финансирования (бюджетное, венчурное и др.) [2].

Именно поэтому инновационный проект рассматривают, как комплексное понятие, включающее [4]:

а) форму целевого управления инновационной деятельностью;

б) процесс осуществления инноваций;

в) комплект определенных документов.

Практически все методики по оценке инновационных проектов, существующие в мире на сегодняшний день, основываются на методике, разработанной ЮНИДО (Организация по промышленному развитию при ООН) еще в 70-х годах. Эта методика обеспечивает сбор всей необходимой информации для осуществления прогноза движения денежных средств, и, соответственно, для оценки проекта с использованием количественных показателей.

Её ключевым недостатков является существенное влияние человеческого фактора в виде мнения профильных экспертов [3], устранение/уменьшение которого значительно повысит эффективность капиталовложений в инновации.

**Цель исследований –** обосновать создание СППР капиталовложений в инновационные разработки с возможностью обобщения экспертных мнений используя математический аппарат систем искусственного интеллекта.

**Материалы и методика исследований.** В промышленной отрасли г. Пинск работают более 100 юридических лиц, в розничной торговле – более 200, в бытовом обслуживании – более 30, в строительстве – около 100, в общественном питании – 31 (рис. 1, 2).

**Рис. 1. Структура промышленности г. Пинск**

В целом промышленный сектор экономики города объединяет трудоспособные коллективы, имеющие достаточный кадровый, производственный и экспортный потенциал.

**Рис. 2. Объёмы выпускаемой продукции г. Пинск**

При этом в регионе на базе “Полесского государственного университета” функционирует ООО “Технологический парк “Полесье”, который создаёт условия, благоприятные для организации и развития деятельности инновационных предприятий, включая ускорение производственного освоения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, изобретений и открытий, направленных на развитие конкурентоспособных, экспортоориентированных и импортозамещающих технологий, товаров, работ (услуг).

Позитивно характеризует перспективы разворачивания регионального инновационно-производственного кластера на базе ООО “Технопарка “Полесье” и отсутствие конкуренции (рис. 3), ближайший Технопарк находится в г. Брест (расстояние – 178 км).

**Рис. 3. Географическое расположение Технопарка**

Однако, для заполнения данного Технопарка резидентами из числа действующих юридических лиц необходима их заинтересованность в комплексном сопровождении действующего бизнеса и/или возможности использования технологий, которые могут предоставить резиденты технопарка.

**Результаты исследований.** Для оценки потенциала разработок Технопарка в региональных условиях и обоснования перед потенциальными заказчиками их практической привлекательности (с конечной целью преобразования существующих юридических резидентов Технопарка), на начальном этапе, создадим сводную таблицу для г. Пинск (табл. 1).

Анализ табл. 1 показывает пересечённость технологий, относительно потенциальных пользователей, при этом, например, очевидно, что степень эффективности внедрения программно-информационных комплексов на промпредприятиях и объектах общественного питания будут отличаться. Данный вывод требует не только качественной, но и количественной оценки привлекательности предлагаемых технологий, для предоставления её конечным потребителям.

Система оценок экономической эффективности технологий ООО “Технопарка “Полесье” (см. табл. 1) можно поделить на две группы методов анализа эффективности инвестиций, одна из которых основана на дисконтированных (временных) оценках, а другая – на простых (учетных) оценках.

**1. Сводная таблица потенциального интереса юридических лиц г. Пинск к предложениям ООО “Технопарка “Полесье”**

| Направление деятельности юридических лиц | Потенциальная заинтересованность в технологических предложениях ООО “Технопарка “Полесье” |
|---|---|
| Промышленность | Программное обеспечение, энергоконсалтинг, экоконсалтинг, водоочистка |
| Розничная торговля | Программное обеспечение |
| Бытовое обслуживание | Программное обеспечение |
| Строительство | Программное обеспечение, энергоконсалтинг, экоконсалтинг, водоочистка |
| Общественное питание | Программное обеспечение |

Первая группа включает расчеты:

– чистой приведенной стоимости проекта (*Net Present Value – NPV*);

– индекса рентабельности инвестиций (*Profitability Index – PI);*

– внутренней нормы доходности инвестиций (*Internal Rate of Return – IRR*);

– дисконтированного срока окупаемости инвестиций (*Discounted Payback Period – DPP*);

– минимума приведенных затрат.

Вторая группа включает расчеты:

– срока окупаемости инвестиций (*Payback Period – PP*);

– учетной нормы рентабельности (*Accounting Rate of Return – ARR*);

– коэффициента сравнительной экономической эффективности ($K_э$) [3].

Однако, с учётом разнонаправленности предлагаемых технопарком инновационных решений (см. табл. 1), на практике использование нескольких методов оценки эффективности вызвано тем, что результаты, получаемые с использованием различных методов, могут иметь противоречивый характер [3].

Только сравнивая результаты анализа эффективности инвестиций по различным методам, аналитик делает выводы о приемлемости того или иного проекта. Очевидно, что и такое сравнение будет носить субъективный характер – вывод делает эксперт. Ситуация усложняется тем, что в Полесском регионе сложно найти квалифицированных экспертов в разноплановых областях – что характерно для многих региональных Технопарков.

Поэтому научно-практический интерес представляет разработка информационно-аналитического метода принятия решений относительно перспективности инновационных технологий при условии, что решаются задачи (рис. 4):

- учёта и обработки результатов анализа на основе разных систем оценок эффективности инновационных проектов;

- региональной локализации разработок.

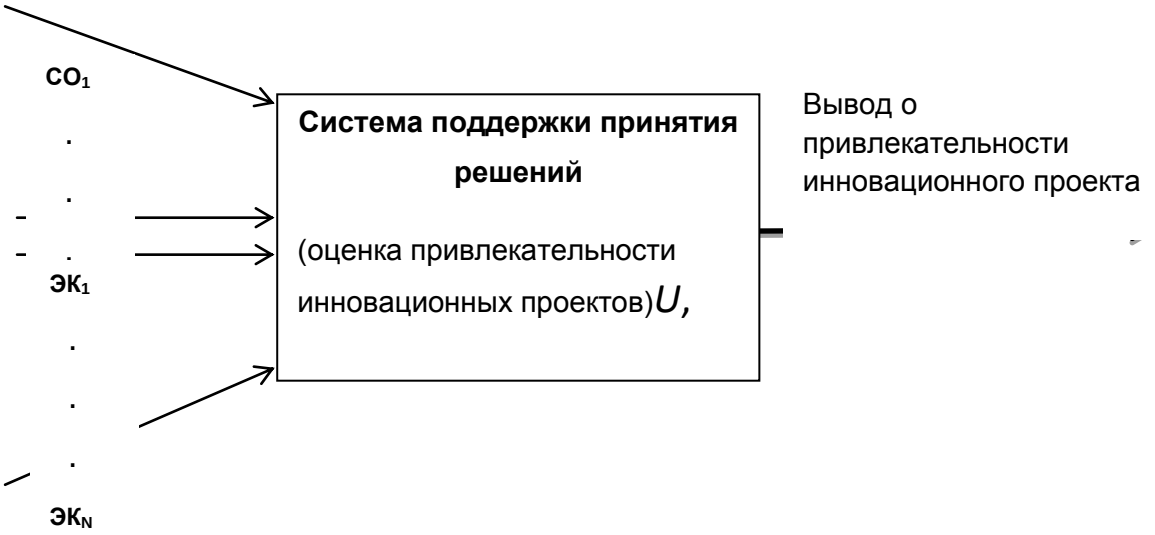



**Рис. 4. Структура системы поддержки принятия решений относительно привлекательности инновационных проектов:**
СО – система оценки (одна из известных методик), ЭК – экспертный критерий (региональная локализация)

Система поддержки принятия решений (см. рис. 4) концептуально работает следующим образом:

1. Производится расчёт экономической привлекательности согласно классических систем оценок. При этом, чем большее количество СО используется, тем лучше для адекватности конечного вывода.
2. В систему вводятся экспертные оценки возможности реализации конкретных проектов в регионе: административные трудности внедрения, востребованность и т. д.
3. Делается вывод о перспективности внедрения конкретного инновационного проекта (например, по шкале 1…100%).

Для практической реализации таких систем поддержки принятий решений планируется использовать математический аппарат искусственных нейронных сетей, которые характеризуются способностью эффективно функционировать в условиях размытости входной информации, нелинейности и нестационарности характеристик входных параметров [5].

В этом случае алгоритм синтеза системы будет следующим:

1. Выбор реальных инновационных проектов и формирования набора учебных данных (значения СО и ЭК).
2. Обучение соответствующей нейронной сети и проверка её на адекватность.
3. Конечная программная реализация нейросетевой системы поддержки принятия решений эффективности инновационных проектов.

## Выводы

1. В контексте повышения эффективности продвижения инновационных проектов, в том числе с целью привлечения потенциальных резидентов Технопарка, актуальной научно-прикладной проблематикой

является разработка метода принятия решений относительно перспективности инновационных технологий с учётом (обработкой) результатов классических систем оценок эффективности инновационных проектов при условии региональной локализации этих разработок.

2. Преимущество предложенной структуры системы поддержки принятия решений относительно привлекательности инновационных проектов над классическими аналогами заключается в переносе субъективностной составляющей (мнения эксперта-аналитика) с выхода системы (результирующее решение) на её вход (консалтинговое мнение) – генерацию вывода осуществляет блок на основе математического аппарата нейронных сетей.

## Список литературы


1. Попова В. Л. Управление инновационными проектами / В. Л. Попова. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 416 с.
2. Основы инновационного менеджмента. Теория и практика : учебник / под ред. А. К. Казанцева, Л. Э. Миндели. – М. : Экономика, 2006. – 518 с.
3. Котлер, Ф. Привлечение инвесторов: маркетинговый подход к поиску источников финансирования / Ф. Котлер. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2009. – 193 с.
4. Гершман, М. А. Инновационный менеджмент / М. А. Гершман. – М. : Маркет ДС Корпорейшн, 2010. – 482 с.
5. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм / В. П. Лисенко, В. М. Решетюк, В. М. Штепа [та ін.] – К. : НУБіП України, 2014. – 363 с.


## ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ І ЗАВДАНЬ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ОЦІНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ


***С. П. Вертай, В. М. Штепа***



**Анотація.** *Якісно оцінено структуру економіки м. Пінськ (Республіка Білорусь) з точки зору потенціалу впровадження інноваційних розробок; створено зведену таблицю можливості інтеграції таких рішень у сфери діяльності існуючих юридичних осіб; зроблено висновок про необхідність кількісної оцінки показників ефективності інноваційних проектів. Розглянуто різні системи оцінок економічної ефективності і зроблено висновок про необхідність об'єднання таких оцінок за допомогою математичного апарата систем підтримки прийняття рішень; обґрунтовано й запропоновано завдання та структуру такої системи, з можливістю включення як вхідних параметрів думок експертів-аналітиків. Запропоновано послідовності функціонування й синтезу системи підтримки прийняття рішень на основі математичного апарата нейронних мереж.*

**Ключові слова:** ***інноваційний проект, критерій оцінки ефективності, система підтримки прийняття рішень, нейронна мережа***

## JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE AND OBJECTIVES OF DECISION SUPPORT GENERALIZED EVALUATION OF PROMISING INNOVATIVE TECHNOLOGIES

***S. Vertay, V. Shtepa***

**Annotation.** *Qualitatively assess the structure of the economy Pinsk (Belarus) in terms of the potential introduction of innovations; it created a summary table of possible integration of such solutions in the scope of existing entities; it concluded on the need to quantify the performance of innovative projects. Considered different grading system cost effectiveness and concluded that the need to unite these assessments using the mathematical apparatus of decision support systems; justified and proposed tasks and the structure of such a system, with the ability to include both input parameters expert analysts opinions. Consistency of the proposed synthesis and decision support system based on the mathematical formalism of neural networks.*

**Key words:** ***innovative design, performance evaluation criteria, decision support system, neural network***

УДК 621.313.8: 631.53.027

## ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОЗИ ОБРОБКИ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

***В. В. Козирський, доктор технічних наук***
***В. В. Савченко, О. Ю. Синявський,***
***кандидати технічних наук***
***e-mail: vit1986@ua.fm***

**Анотація.** *Наведено результати досліджень впливу енергетичної дози обробки в магнітному полі на насіння зернових культур. Встановлено залежності енергії проростання й здатності проростання насіння пшениці та ячменю від енергетичної дози обробки. Визначено оптимальний режим обробки.*

**Ключові слова:** ***магнітна індукція, швидкість, доза обробки, енергія проростання, здатність проростання, пшениця, ячмінь***

*© В. В. Козирський, В. В. Савченко, О. Ю. Синявський, 2016*

**Ключові слова:** ***інноваційний проект, критерій оцінки ефективності, система підтримки прийняття рішень, нейронна мережа***

## JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE AND OBJECTIVES OF DECISION SUPPORT GENERALIZED EVALUATION OF PROMISING INNOVATIVE TECHNOLOGIES

***S. Vertay, V. Shtepa***

**Annotation.** *Qualitatively assess the structure of the economy Pinsk (Belarus) in terms of the potential introduction of innovations; it created a summary table of possible integration of such solutions in the scope of existing entities; it concluded on the need to quantify the performance of innovative projects. Considered different grading system cost effectiveness and concluded that the need to unite these assessments using the mathematical apparatus of decision support systems; justified and proposed tasks and the structure of such a system, with the ability to include both input parameters expert analysts opinions. Consistency of the proposed synthesis and decision support system based on the mathematical formalism of neural networks.*

**Key words:** ***innovative design, performance evaluation criteria, decision support system, neural network***

УДК 621.313.8: 631.53.027

## ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОЗИ ОБРОБКИ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

***В. В. Козирський, доктор технічних наук***
***В. В. Савченко, О. Ю. Синявський,***
***кандидати технічних наук***
***e-mail: vit1986@ua.fm***

**Анотація.** *Наведено результати досліджень впливу енергетичної дози обробки в магнітному полі на насіння зернових культур. Встановлено залежності енергії проростання й здатності проростання насіння пшениці та ячменю від енергетичної дози обробки. Визначено оптимальний режим обробки.*

**Ключові слова:** ***магнітна індукція, швидкість, доза обробки, енергія проростання, здатність проростання, пшениця, ячмінь***

*© В. В. Козирський, В. В. Савченко, О. Ю. Синявський, 2016*

Впровадження енерго- та ресурсозберігаючих електротехнологій уможливлює підвищення ефективності вирощування зернових культур. До таких технологій належить передпосівна обробка насіння в магнітному полі.

Відомі приклади успішного використання передпосівної обробки насіння зернових культур в магнітному полі за невеликих значень магнітної індукції, проте дослідження впливу на зерно магнітного поля з індукцією понад 0,03 Тл не проводилися [1].

Застосування передпосівної обробки насіння в магнітному полі потребує встановлення механізму дії магнітного поля на насіння та визначення оптимального режиму обробки, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур та якості товарної продукції.

**Мета досліджень** – встановлення впливу енергетичної дози обробки насіння зернових культур у магнітному полі на зміну його енергії проростання й здатності проростання.

**Матеріали та методика досліджень.** Експериментальні дослідження проводилися з пшеницею сорту «Наталка» та ячменем сорту «Солнцедар» на розробленій установці для передпосівної обробки насіння в магнітному полі.

Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, створюване чотирма парами постійних магнітів з інтерметалічного композиту NdFeB, встановленими паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю.

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0 – 0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху насіння через магнітне поле змінювали в межах 0,4–0,8 м/с за допомогою перетворювача частоти Delta VFD004EL43A.

Оброблене в магнітному полі насіння пророщували за ГОСТом 10968-88 [2].

Енергію проростання зерна в кожній аналітичній пробі у відсотках розраховували за формулою:

$$E = \frac{500 - n}{500} \cdot 100 \ \%, \qquad (1)$$

де $n$ – кількість зерен, непроростих за 72 год, шт.; 500 – кількість зерен в аналітичній пробі.

Здатність проростання зерна кожної аналітичної проби у відсотках розраховували за формулою:

$$З = \frac{500 - n_1}{500} \cdot 100 \ \%, \qquad (2)$$

де $n_1$ – кількість зерен, непроростих за 120 год, шт.

Досліди виконували в трикратній повторності, а їх відтворюваність визначали за критерієм Кохрена для 5% -го рівня значущості.

За результатами експерименту розраховували енергетичну дозу обробки насіння при відповідному значенні магнітної індукції та швидкості руху стрічки транспортера.

**Результати досліджень.** При обробці насіння в магнітному полі під дією сили Лоренца змінюється кінетична енергія відносного руху іонів уздовж лінії центрів:

$$E_{пм} = \frac{\mu(v_n + KB)^2}{2} - \frac{\mu v_n^{\,2}}{2} = \frac{\mu(K^2B^2 + 2KBv_n)}{2}, \qquad (3)$$

де $\mu$ – зведена маса іонів, кг; $v_n$ – нормальна складова швидкості руху іона, м/с;

$K$ – коефіцієнт, який залежить від концентрації та виду іонів, а також кількості перемагнічувань, м/(с·Тл);

$B$ – магнітна індукція, Тл.

Тому в хімічну реакцію вступатимуть іони зі швидкістю, меншою за критичне значення, що викликає збільшення швидкості хімічної реакції $\omega_м$ [3]:

$$\omega_м = \omega \exp \mu(K^2B^2 + 2KBv_n)N_a / 2RT, \qquad (4)$$

де $\omega$ – швидкість хімічної реакції без впливу магнітного поля, моль/л·с;

$v$ – швидкість руху іонів, м/с;

$N_a$ – число Авогадро, молекул/моль;

$R$ – універсальна газова стала, Дж/моль·К;

$T$– температура, К.

Магнітне поле сприяє підвищенню розчинності солей і кислот, які знаходяться в рослинній клітині [4], а також проникності клітинних мембран, що пришвидшує дифузію іонів і молекул через клітинну мембрану [5]. Унаслідок цього, збільшується концентрація мінеральних елементів і кисню в клітинах, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур та зменшенню захворюваності рослин. Крім того, підвищення проникності клітинних мембран викликає збільшення водопоглинання насіння [6].

Дія цих факторів зумовлює збільшення енергії проростання й здатності проростання насіння зернових культур.

На основі отриманих аналітичних залежностей встановлено, що основними діючими факторами під час магнітної обробки насіння є магнітна індукція, а також швидкість руху насіння. Обробку насіння необхідно здійснювати в градієнтному магнітному полі, а застосування періодичного магнітного поля підсилює ефект обробки.

Проведені експериментальні дослідження дали змогу встановити вплив енергетичної дози обробки на зміну енергії проростання й здатності проростання насіння зернових культур.

Енергетичну дозу обробки визначали за формулою [7]:

$$D = \frac{B_m^2 l}{6\mu\mu_0\rho v}, \qquad (5)$$

де $B_m$ – значення магнітної індукції в площині установки магнітів, Тл;

$l$ – шлях, який проходить насіння в магнітному полі при обробоці, м;
$\mu$ – відносна магнітна проникливість;
$\mu_0$ – магнітна стала, Гн/м;
$\rho$ – густина насіння, кг/м$^3$.

Встановлено взаємозв'язок між енергетичною дозою обробки та енергією проростання насіння. Найбільша енергія проростання ячменю має місце при енергетичній дозі обробки 2,22 Дж·с/кг, пшениці – 1,73 Дж·с/кг (рис.1), а при більших чи менших дозах вона зменшується.

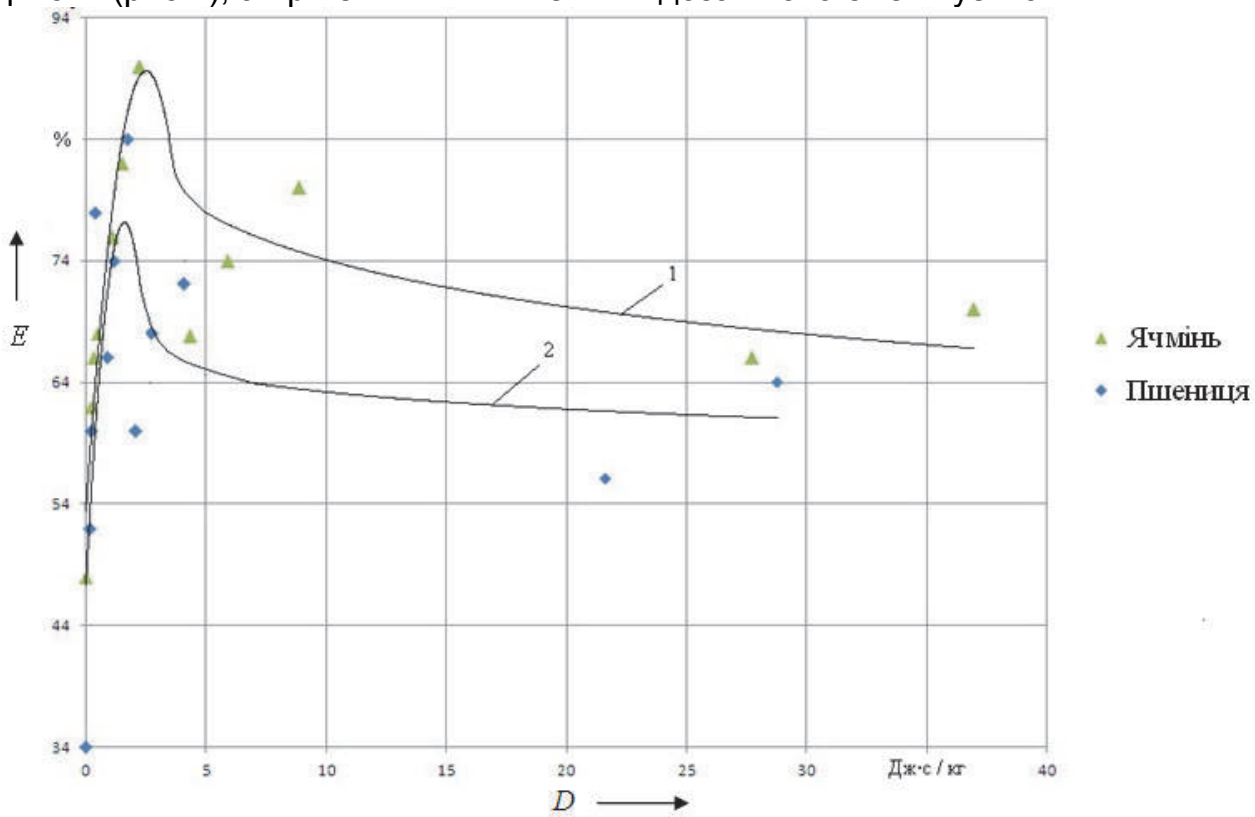



**Рис. 1. Залежність енергії проростання насіння ячменю (1) і пшениці (2) від енергетичної дози обробки в магнітному полі**

Здатність проростання насіння зернових культур залежить від величини енергетичної дози їх обробки в магнітному полі (рис. 2). Найбільша здатність проростання насіння пшениці мала місце при енергетичній дозі 1,73 Дж·с/кг, ячменю – 2,22 Дж·с/кг.

Якщо енергетична доза перевищує 5,0 Дж·с/кг, збільшення енергії проростання та здатності проростання насіння під час їх передпосівної обробки в магнітному полі є несуттєвим порівняно з необробленим насінням.

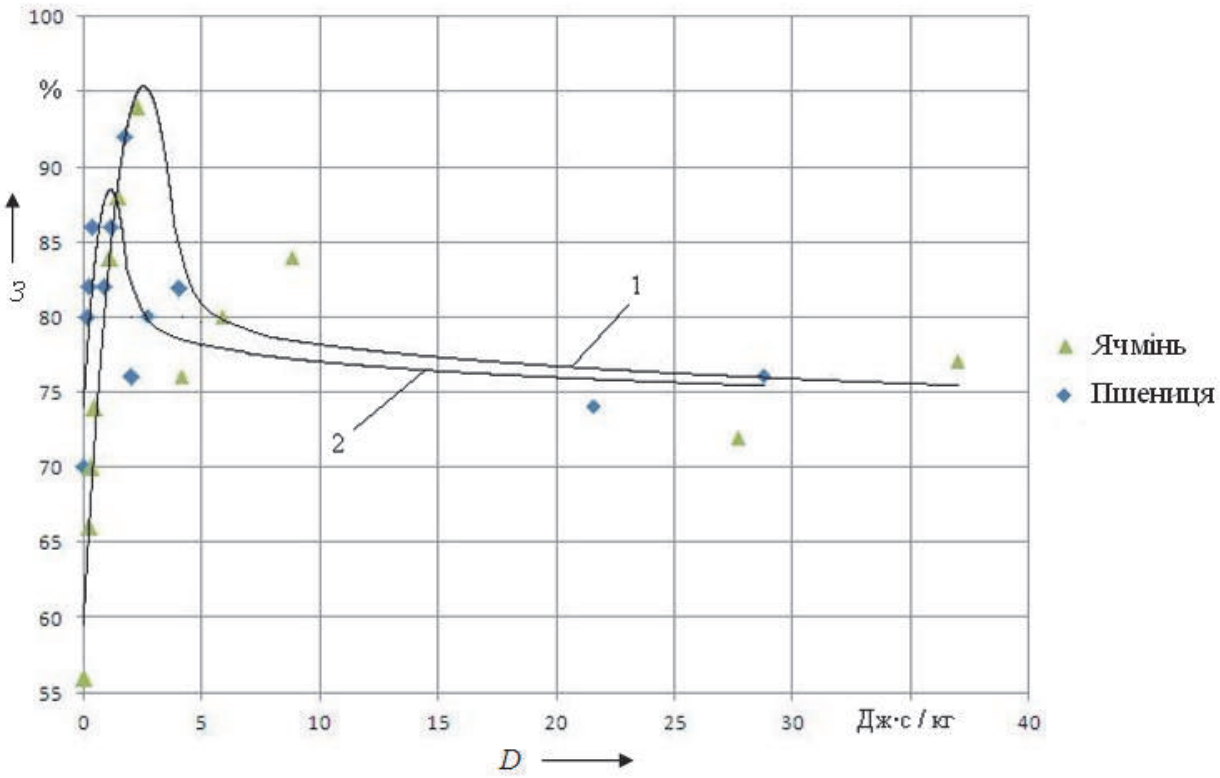



**Рис. 2. Залежність здатності проростання насіння ячменю (1) і пшениці (2) від енергетичної дози обробки в магнітному полі**

## Висновки

Зміна енергії проростання та здатності проростання насіння зернових культур залежить від енергетичної дози обробки насіння в магнітному полі. Оптимальний режим передпосівної обробки насіння в магнітному полі має місце в діапазоні енергетичної дози обробки 1,7–2,2 Дж·с/кг, при магнітній індукції 65 мТл, чотирикратному перемагнічуванні й швидкості руху стрічки транспортера 0,4 м/с.

## Список літератури

1. Кутис С. Д. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян / С. Д. Кутис, Т. Л. Кутис, Е. З. Гак // Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе. Ч. 2. – М., 1989. – С. 35–36.

2. Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания : ГОСТ 10968-88. – [Введен 1988-07-01]. – М. : Стандартинформ, 2009. – 4 с.

3. Савченко В. В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – № 2 (11). – С. 33–37.

4. Савченко В. В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В. В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 68–72.

5. Козырский В. В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В. В. Козырский, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 2 (15). – С. 16–19.

6. Козирський В. В. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння / В. В. Козирський, В. В. Савченко, О. Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.1. – С. 16–20.

7. Савченко В. В. Вплив енергетичної дози обробки картоплі у магнітному полі на біопотенціал і урожайність / В. В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – № 166, ч. 3. – С. 73–79.

## ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ ОБРАБОТКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

***В. В. Козырский, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский***

**Аннотация.** *Приведены результаты исследований влияния энергетической дозы обработки в магнитном поле на семена зерновых культур. Установлены зависимости энергии прорастания и способности прорастания семян пшеницы и ячменя от энергетической дозы обработки. Определен оптимальный режим обработки.*

**Ключевые слова:** ***магнитная индукция, скорость, доза обработки, энергия прорастания, способность прорастания, пшеница, ячмень***

## EFFECT OF ENERGY DOSE OF TREATMENT IN A MAGNETIC FIELD ON SOWING QUALITIES OF CEREAL SEEDS

***V. Kozyrsky, V. Savchenko, A. Sinyavsky***

**Annotation.** *The research results of the effect of energy dose treatment in a magnetic field on seeds of grain are shown. The dependences of germination energy and germination of wheat and barley seeds from the energy dose treatment are established. The optimal treatment regimen is set.*

**Key words:** ***magnetic induction, speed, treatment dose, germination energy, germination property, wheat, barley***

УДК 631.3

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО ХОЛОДА И ХЛАДОНОСИТЕЛЕЙ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЗАМЕРЗАНИЯ

***А. Б. Коршунов, кандидат технических наук***
***В. В. Иванов, аспирант****
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: koral314@yandex.ru***

**Аннотация.** *Показана актуальность вопроса автоматизации процесса охлаждения молока в установках с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания.*

*Представлено описание структуры системы электрооборудования для охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания, а также работа функциональной схемы.*

*Разработанные технологические решения возможно внедрить в систему электрооборудования существующих фермерских хозяйств, что повышает уровень автоматизации первичных линий обработки молока и надежность, значительно уменьшить потребление электроэнергии.*

**Ключевые слова:** ***оборудование для охлаждения молока, первичная обработка молока, энергосбережение, автоматизация, природный холод, хладоноситель, экосол***

Молоко сельскохозяйственных животных является ценным, но быстропортящимся пищевым продуктом. Поэтому для сохранения качества молока необходимо произвести его очистку и охлаждение [1]. При этом автоматизация процесса охлаждения молока имеет одно из ключевых значений при построении системы охлаждения молока [2…5].

**Цель исследования** – разработка функциональной схемы автоматизации и структуры системы электрооборудования для охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания.

**Материалы и методика исследований.** Проведенный анализ системы электрооборудования для охлаждения молока на фермах [6] и дальнейшее изучение данного направления привело к разработке функциональной схемы автоматизации охлаждения молока с

---

*Научный руководитель – кандидат технических наук А. Б. Коршунов

© *А. Б. Коршунов, В. В. Иванов, 2016*

использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания, представленной на рис. 1.

Функциональная схема автоматизации включает следующие элементы:

1. Элементы схемы в существующих в настоящее время на фермах системах охлаждения молока: парокомпрессионная холодильная машина – ПКХМ (источник искусственного холода) 1; насос хладоносителя (воды) 2; датчик температуры хладоносителя (воды) 3; пластинчатый теплообменник 4 (или вторая секция 4 двухсекционного теплообменника 16); канал для молока 5, канал для хладоносителя (воды) 6; датчики температуры молока 7, 12; вакуумный насос 8; датчики уровня 9, 13; канал свежевыдоенного молока 10; релизер 11; универсальный молочный насос 14 (НМУ-6); программируемый блок управления (ТРМ 138-Р) 15.

2. Дополнительные элементы схемы: двухсекционный теплообменник 16; первая секция 17 двухсекционного теплообменника 16; канал для молока 18; датчики температуры хладоносителя с низкой температурой замерзания (экосола) 19, 26; канал для хладоносителя с низкой температурой замерзания (экосола) 20; датчик температуры молока 21; электромагнитные вентили 22, 24; насос хладоносителя с низкой температурой замерзания (экосола) 23; приемник природного холода (источник природного холода) 25; вентилятор 27; датчик температуры наружного воздуха 28.

Вариант схемы с набором элементов 1–15 существует на фермерских хозяйствах в настоящее время, т. е. точки схемы Т′ и Т′′ соединены между собой напрямую. Предлагаемая схема охлаждения молока (дополнительные элементы схемы 16-28 – блок предварительного охлаждения молока) с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания является универсальной. Данный вариант схемы отличается простотой подключения к уже существующим системам охлаждения, так как не требует капитального изменения схемы, а достаточно лишь включить набор элементов 16–28 в рассечку точек Т′ и Т′′.

**Результаты исследований.** С учетом построенной функциональной схемы структура системы электрооборудования для охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания выглядит следующим образом (рис. 2).

Функциональная схема автоматизации работает следующим образом.

Релизер 11 по сигналу магнитного пускателя П3 вакуумируется вакуумным насосом 8 (Д3) и свежевыдоенное молоко по трубопроводам 10 попадает в него. Датчик уровня 13 релизера 11 отправляет сигнал на магнитный пускатель П4 для последовательного включения – отключения молочного насоса 14 (Д4) при достижении уровня молока датчика уровня 9, а при температуре экосола ниже 1°С на входе в первую секцию 17 теплообменника 16, в том числе отправляет сигнал на магнитный

пускатель П2 для последовательного включения, отключения насоса хладоносителя с низкой температурой замерзания 23 (Д2), т. е производится согласованная подача (описание см. ниже).

Молоко насосом 14 (Д4) подается «импульсами» в канал для молока 18 первой секции 17 теплообменника 16, а затем в канал для молока 5 второй секции 4 теплообменника 16. Первая секция 17 теплообменника 16 находится в замкнутом контуре с приемником природного холода 25, данный контур заполнен экологически безопасным хладоносителем с низкой температурой замерзания – экосолом.

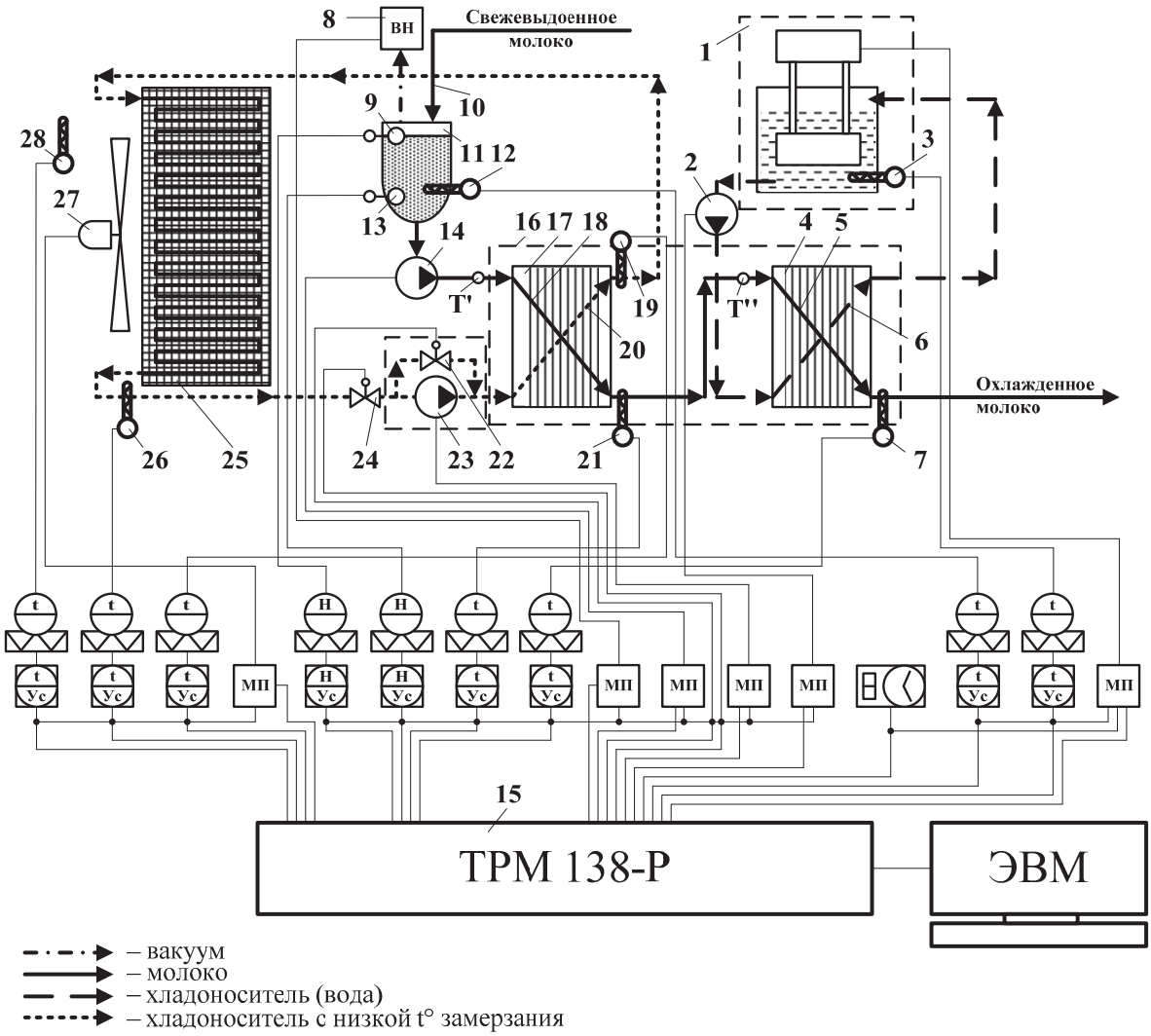



**Рис. 1. Функциональная схема автоматизации охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания**

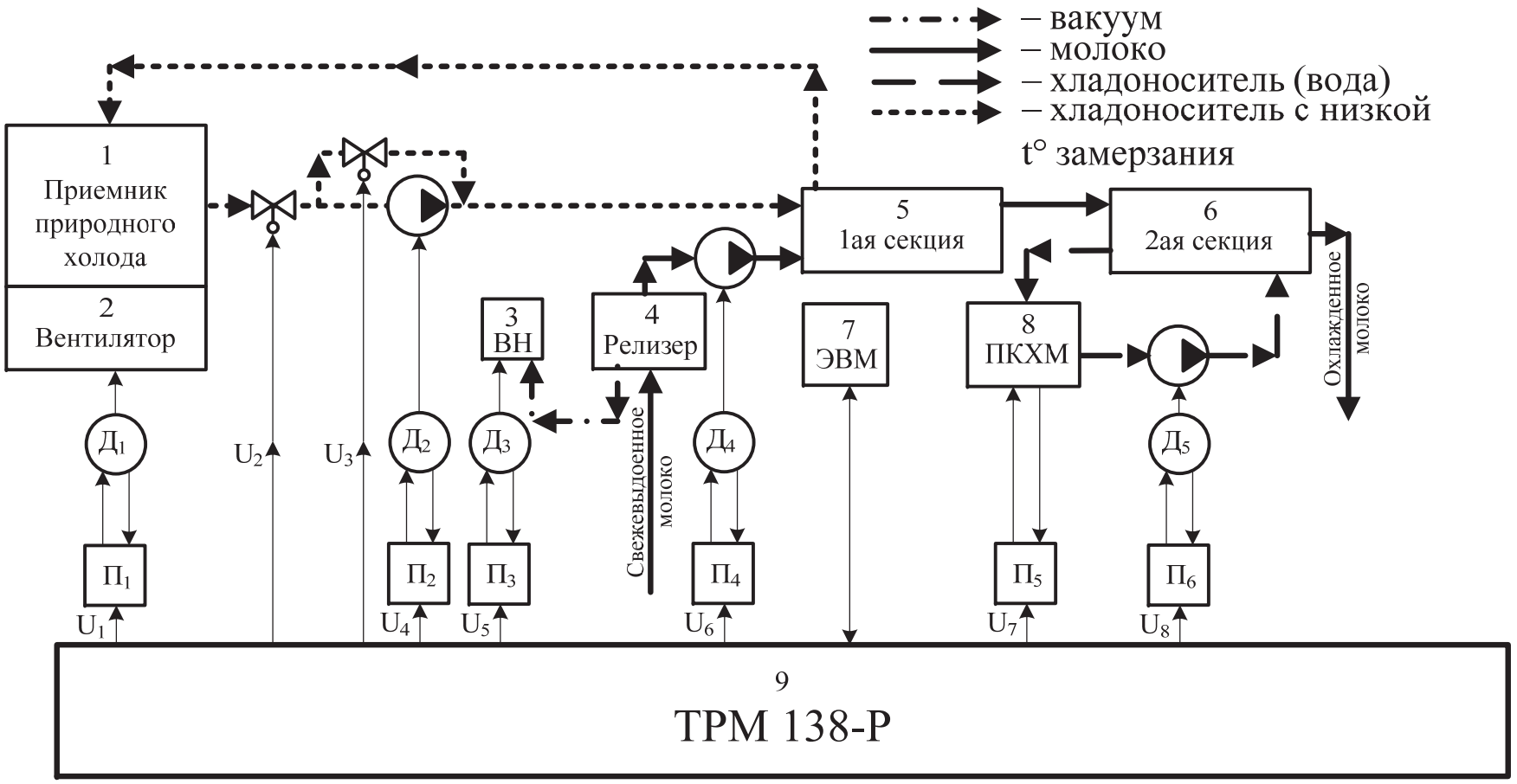



**Рис. 2. Структура системы электрооборудования для охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания**

В холодное время года экосол остывает в приемнике природного холода 25. Для активизации процесса охлаждения молока при низкой температуре наружного воздуха по сигналу датчика температуры наружного воздуха 28 с блока управления ТРМ 138-Р 15 синхронно с молочным насосом 14 (Д4) включается насос экосола 23 (Д2) и экосол попадает в канал для экологически безопасного хладоносителя с низкой температурой замерзания 20 первой секции 17 теплообменника 16.

При этом, в зависимости от температуры экосола, на входе в канал для экологически безопасного хладоносителя с низкой температурой замерзания 20 первой секции 17 теплообменника 16 по показаниям датчиков температуры экологически безопасного хладоносителя с низкой температурой замерзания 19 и 26 с ТРМ 138-Р 15 подается сигнал на магнитный пускатель П1 для включения вентилятора 27 (Д2) для интенсификации охлаждения экосола в приемнике природного холода 25. В то же время, для предотвращения примерзания молока к стенкам канала для экологически безопасного хладоносителя с низкой температурой замерзания 18 первой секции 17 теплообменника 16 при понижении температуры экосола ниже 1°С, по показаниям датчика температуры 26, регулируется поток охлажденного экосола с помощью электромагнитного вентиля 20 и электромагнитного вентиля байпаса 22, а также меняется и режим подачи экосола (импульсный) – производится согласованная подача.

По показаниям датчика температуры молока 21 на выходе из первой секции 17 теплообменника 16 ниже 4°С отключается насос хладоносителя (воды) 2, т. е. отключается источник искусственного холода – ПКХМ 1.

В теплое время года, когда использование природного холода неэф-фективно, охлаждение молока производится только во второй секции 4 теплообменника 16. Молоко, протекающее по каналу для молока 5 второй секции 4 теплообменника 16, охлаждается хладоносителем (водой), которая поступает из ПКХМ 1 по сигналам магнитного пускателя П6 на насос хладоносителя (воды) 2 (Д5) в канал для хладоносителя 6 второй секции 4 теплообменника 16.

«Наморозка льда» в ПКХМ 1 производится по сигналам таймер-часов в ночное время, когда действуют пониженные тарифы на электроэнергию, при этом время включения, отключения ПКХМ 1 контролируется с блока управления ТРМ 138-Р подачей сигнала на магнитный пускатель П5.

## Выводы

Разработанные функциональная схема автоматизации и структура системы электрооборудования для охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания позволяют внедрить данные технологические решения в систему электрооборудования существующих фермерских хозяйств, что

повышает уровень автоматизации первичных линий обработки молока и надежность, и значительно уменьшить потребление электроэнергии.

## Список литературы

1. Иванов Ю. А. Качество молока и эффективность его производства / Ю. А. Иванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 2. – С. 22–24.

2. Учеваткин А. И. Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на фермах : автореф. дисс. на соискание учён. степени д-ра техн. наук / А. И. Учеваткин. – М. : ВИЭСХ, 1998. – 43 с.

3. Стребков Д. С. Направление развития автоматизации стационарных технологических процессов и энергетики в сельском хозяйстве / Д. С. Стребков // Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве : тезисы докладов международной научно-технической конференции. – М. : Минсельхозпрод России, 1995. – С. 14.

4. Цой Ю. А. Особенности механизации и автоматизации молочных ферм в России на современном этапе / Ю. А. Цой // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России : материалы научно-практической конференции. – М. : ГОСНИТИ, 1997. – С. 133–135.

5. Учеваткин А. И. Некоторые аспекты автоматизации линий охлаждения и обработки молока / А. И. Учеваткин, Ф. Ф. Юлдашев // Средства и системы автоматизации управления процессами сельскохозяйственного производства : тезисы докладов Всесоюзной Научно-технической конференции. – Паланга, 1991. – С. 103.

6. Коршунов А. Б. Оборудование для охлаждения молока на фермах / А. Б. Коршунов, В. В. Иванов // Труды 9-й МНТК «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», Ч. 3. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 55–60.

# ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ ТА ХОЛОДОНОСІЇВ ІЗ НИЗЬКОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ЗАМЕРЗАННЯ

***О. Б. Коршунов, В. В. Іванов***

**Анотація.** *Показано актуальність питання автоматизації процесу охолодження молока в установках з використанням природного холоду і холодоносіїв з низькою температурою замерзання.*

*Подано опис структури системи електрообладнання для охолодження молока з використанням природного холоду і холодоносіїв з низькою температурою замерзання, а також робота функціональної схеми.*

*Розроблені технологічні рішення можна впровадити в систему електрообладнання існуючих фермерських господарств, що підвищує рівень автоматизації первинних ліній обробки молока і надійність, значно зменшити споживання електроенергії.*

**Ключові слова:** ***обладнання для охолодження молока, первинна обробка молока, енергозбереження, автоматизація, природний холод, холодоносій, екосол***

## AUTOMATION FUNCTIONAL SCHEME AND ELECTRICAL SYSTEM STRUCTURE FOR MILK COOLING ON FARMS USING FREE COOLING AND LOW FREEZING POINT REFRIGERANTS

***A. Korshunov, V. Ivanov***

**Annotation.** *In the article relevance of a question of milk cooling automation in systems using free cooling and low freezing point refrigerants is given.*

*Description of electrical system structure for milk cooling on farms using free cooling and low freezing point refrigerants and automation functional scheme are given.*

*The developed technological decisions allow to introduce these one in equipment system for milk cooling on farms that increases the automation level of primary milk processing lines and reliability and considerably reduces electricity consumption.*

**Key words:** ***equipment for milk cooling, primary milk processing, energy-saving, automation, free cooling, low freezing points refrigerants, ecosol***

УДК 621.3:636.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ КОМФОРТОМ И ОБОГРЕВОМ ПТИЧНИКА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

***А. В. Дубровин, доктор технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: dubrovin1953@mail.ru***

**Аннотация.** *Предложены основы метода управления тепловым комфортом поголовья птицы в помещении и обогревом птичника по экономическому критерию. Условия теплового комфорта птицы измеряются посредством датчика ощущаемой температуры. Расчёт экономических характеристик процесса обогрева птичника производится в зависимости от сигналов датчиков внутренних и наружных тепловых условий.*

**Ключевые слова:** ***автоматизация технологических процессов, экономически оптимальное управление, технико-экономический параметр***

---

© *А. В. Дубровин, 2016*

**Ключові слова:** ***обладнання для охолодження молока, первинна обробка молока, енергозбереження, автоматизація, природний холод, холодоносій, екосол***

## AUTOMATION FUNCTIONAL SCHEME AND ELECTRICAL SYSTEM STRUCTURE FOR MILK COOLING ON FARMS USING FREE COOLING AND LOW FREEZING POINT REFRIGERANTS

***A. Korshunov, V. Ivanov***

**Annotation.** *In the article relevance of a question of milk cooling automation in systems using free cooling and low freezing point refrigerants is given.*

*Description of electrical system structure for milk cooling on farms using free cooling and low freezing point refrigerants and automation functional scheme are given.*

*The developed technological decisions allow to introduce these one in equipment system for milk cooling on farms that increases the automation level of primary milk processing lines and reliability and considerably reduces electricity consumption.*

**Key words:** ***equipment for milk cooling, primary milk processing, energy-saving, automation, free cooling, low freezing points refrigerants, ecosol***

УДК 621.3:636.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ КОМФОРТОМ И ОБОГРЕВОМ ПТИЧНИКА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

***А. В. Дубровин, доктор технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: dubrovin1953@mail.ru***

**Аннотация.** *Предложены основы метода управления тепловым комфортом поголовья птицы в помещении и обогревом птичника по экономическому критерию. Условия теплового комфорта птицы измеряются посредством датчика ощущаемой температуры. Расчёт экономических характеристик процесса обогрева птичника производится в зависимости от сигналов датчиков внутренних и наружных тепловых условий.*

**Ключевые слова:** ***автоматизация технологических процессов, экономически оптимальное управление, технико-экономический параметр***

---

© *А. В. Дубровин, 2016*

Для осуществления экономически оптимального управления обогревательной технологией в птицеводстве нужны датчики температуры. При управлении общим обогревом помещения птичника достаточно иметь тривиальный датчик температуры внутреннего воздуха. При локальном обогреве инфракрасными облучателями цыплят надо иметь ещё и, как минимум, датчик облучённости, или датчик лучистого теплового потока. При их наличии всё равно необходимы математические модели, учитывающие вклад тепловых излучений в суммарный расчетный теплообмен птицы. Такие математические модели должны учитывать по возможности больше влияющих факторов среды, следовательно, быть либо чрезмерно сложными, либо оставаться недостаточно адекватными теплообмену живого организма.

Известен способ автоматического управления температурным режимом в теплице [1]. Для повышения эффективности весь период выращивания растений делится на равные промежутки времени и для каждого вычисляется оптимальная из условия равенства нулю производной от экономического критерия температура внутреннего воздуха теплицы. Этот критерий эффективности (признак результативности) есть принятая авторами частичная прибыль, равная разности стоимости продукции в ценах реализации и стоимости затрат на обогрев теплицы, причём почему-то без учёта температуры наружного воздуха, что чревато большими ошибками при расчёте теплообмена здания птичника-моноблока. В соответствии со значением этой экономически оптимальной температуры, автоматически устанавливается задание регулятора температуры внутреннего воздуха. Будущее сельскохозяйственной энергетики, электрификации, автоматизации и информатизации остается за экономически оптимально управляемым электрифицированным локальным и общим обогревом, процессами хозяйственно наилучшего управления кормлением, микроклиматом, и многими другими технологиями сельского хозяйства.

**Цель исследований –** управление экономически оптимальным обогревом птичника, в т. ч. с учетом вредного газа аммиака в воздушной среде помещения. Задачей являются непрерывные в реальном времени автоматизированный поиск положения экономического баланса между стоимостью эксплуатационных энергетических затрат на обогрев сельскохозяйственных животных или птицы и расчётной стоимостью продукции в ценах её реализации, достижение экономически оптимального и энергетически рационального режима обогрева животноводческого или птицеводческого помещения и сельскохозяйственных животных или птиц. Также задачей является получение наивысшего значения экономического критерия прироста прибыли при автоматизированном управлении обогревом. В результате устанавливается такое значение ощущаемой животным или птицей температуры помещения, при котором обеспечивается наивысший на данный момент времени прирост прибыли при обогреве животных или птицы и производственного помещения (рис. 1)**:** 1 – теплозащитные

ограждающие конструкции помещения (здания) птичника; 2 – утепленный пол (древесностружечная подстилка) птичника; 3 – приточная вентиляция; 4 – вытяжная вентиляция; 5 – поголовье птицы; 6 – обогреватели; 7 – энергетическая магистраль; 8 – регулятор температуры; 9 – датчик температуры внутреннего воздуха птичника; 10 – датчик относительной влажности внутреннего воздуха птичника; 11 – датчик ощущаемой температуры помещения в зоне обитания животных или птицы; 12 – датчик концентрации аммиака.

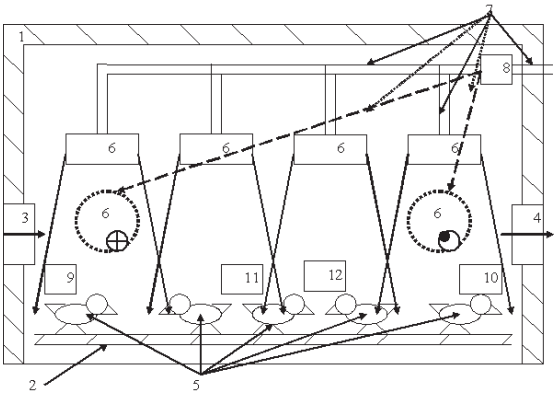



**Рис. 1. Общая схема технологии лучистого обогрева цыплят и птичника** *(пояснения в тексте)*

**Материалы и методика исследований.** От качества (точности) и количества (мощности) локального обогрева в птичнике существенно зависят технико-экономические показатели всей птицефабрики, связанные с сохранностью и темпами развития молодняка. Используются общеизвестные количественные отношения (математические модели) между энергетическими характеристиками внутренней и внешней среды (температурами внутреннего и наружного воздуха), потребляемыми мощностью и энергией для нагрева помещения, стоимостями биологической продукции птицеводства и израсходованной энергией.

На рис. 2 дана иллюстрация взаимного действия физических и экономических характеристик процесса управления обогревом: $T_{вн}$ – температура внутреннего воздуха в птичнике, °С; $T_{нар}$ – температура наружного воздуха, °С; *Пр* – продуктивность птицы, кг/ед. времени; $Ц_р$ – стоимость произведённой продукции птицеводства в ценах её реализации, руб/ед. времени; $P_{обогр}$ – мощность обогрева помещения, кВт; $З_{эн}$ – затраты энергии на обогрев птичника, кВт×ч; *С* – стоимость затрат энергии на обогрев птичника, руб/ед. времени; $П = Ц_р - С$ – расчётная прибыль с учётом стоимости затрат только энергии на обогрев теплицы, руб./ед. времени; $T_{вн}^{техн}{}_{опт}$ – технологически наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в помещении (температурный режим наивысшей продуктивности птицы), °С; $T_{вн}^{экон}{}_{опт1}\big|_{Тнар1}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в птичнике (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания поголовья) при более низкой

температуре наружного воздуха $T_{нар1}$, °С; $T_{вн}^{\ экон}{}_{опт2}\big|_{Тнар2}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания птицы) при менее низкой (при более высокой) температуре наружного воздуха $T_{нар2}$, °С;$T_{нар1}$< $T_{нар2}$, °С.

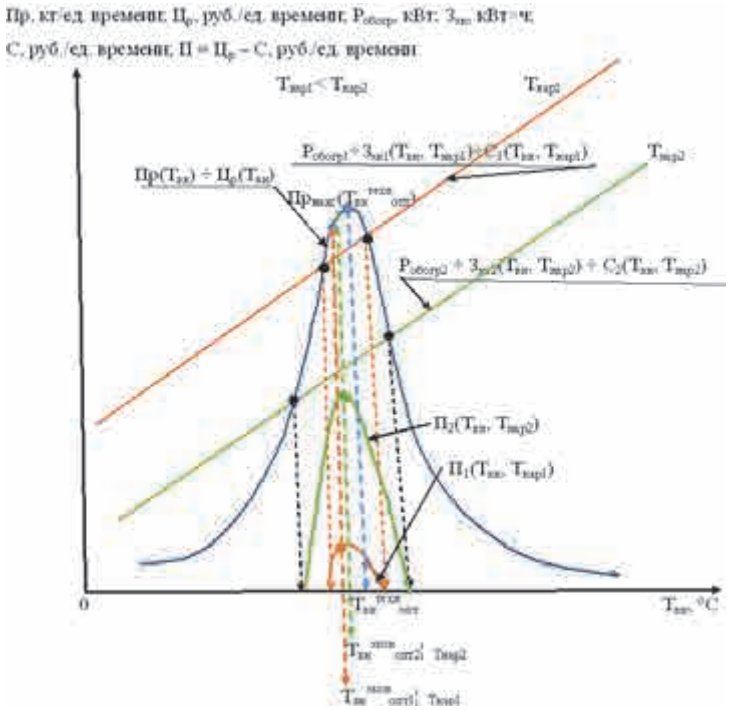



**Рис. 2. Вид взаимосвязи физических и хозяйственных характеристик процесса обогрева птицеводческого помещения**
*(пояснения в тексте)*

На рис. 3 приведена общая схема устройства: 1 – датчик ощущаемой температуры помещения [2]; 2 – датчик температуры наружного воздуха; 3 – датчик температуры внутреннего воздуха помещения; 4 – датчик относительной влажности наружного воздуха; 5 – датчик относительной влажности внутреннего воздуха; 6 – вычислительный блок; 7 – блок управления; 8 – регулятор температуры; 9 – обогреватели (электрические, газовые и т. п.); 10 – датчик концентрации аммиака; 11 – блок задатчиков возраста поголовья, технологически допустимых наименьшего и наибольшего заданных значений ощущаемой температуры, времени опроса, сигнала сформированной величины ощущаемой температуры, констант; 12 – блок индикации стоимости потерь теплоты помещением с обогреваемыми животными или птицей Эо(твизм) [3].

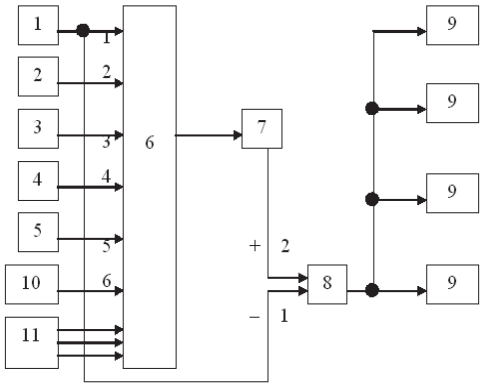



**Рис. 3. Функциональная схема устройства управления обогревом** *(пояснения в тексте)*

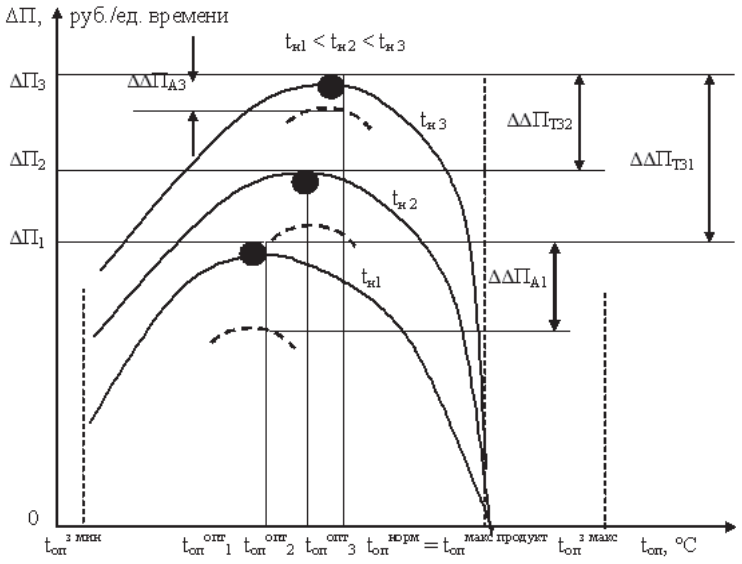



**Рис. 4. Иллюстрация технико-экономической эффективности обогревательной технологии по критерию прироста прибыли в результате суммирования стоимостей затрат энергоносителя и прогнозируемых потерь продукции в искусственно формируемом диапазоне изменения теплового режима** (*пояснения в тексте*)

На рис. 4 дана дополнительная иллюстрация оценки технико-экономической эффективности обогревательной технологии по критерию прироста прибыли в результате суммирования стоимостей затрат на энергоноситель и прогнозируемых потерь продукции (с отрицательным знаком) в искусственно формируемом диапазоне изменения теплового режима по величине ощущаемой температуры помещения: *ΔП* – прогнозируемый расчетный прирост прибыли в результате управления обогревом данной партии цыплят и данного птичника; $t_{оп}$ – ощущаемая температура помещения в зоне обитания поголовья в результате действия обогревателей; $t_{оп}^{опт}$ – экономически оптимальное значение $t_{оп}$ при

соответствующих наружных метеоусловиях, теплозащите помещения здания птичника и данной концентрации аммиака; $t_{оп}^{макс\ продукт}$ – биологически наилучшее значение для получения режима наивысшей продуктивности поголовья птицы данных породы, кросса и возраста; $\Delta\Delta П_Т$ – изменение величины наивысшего прироста прибыли при изменении температуры наружного воздуха $t_н$; $\Delta\Delta П_А$ – изменение величины наивысшего прироста прибыли при изменении (при увеличении) концентрации аммиака; $t_{оп}^{з}$ – искусственно сформированный сигнал величины ощущаемой температуры помещения в выбранном диапазоне между технологически допустимыми наименьшим $t_{оп}^{з\ мин}$ и наибольшим $t_{оп}^{з\ макс}$ её заданными значениями.

**Результаты исследований.** По результатам измерения и задания параметров климата, помещения, микроклимата, оборудования, поголовья вычислительный блок 6 формирует значение $\Delta П(t_{оп}^{з}, t_{оп}^{норм})$ в диапазоне изменения $t_{оп}^{з}$ за цикл опроса $T_{опр}$ системой автоматизации рассматриваемой биотехнической системы. Вычислительный блок 6 по данным формирования искусственной величины $t_{оп}^{з}$ управляемого параметра теплоощущений поголовья $t_{оп}$ рассчитывает целевую функцию оптимизации $\Delta П(t_{оп}^{з}, t_{оп}^{норм})$ в выбранном диапазоне $(t_{оп}^{з\ мин}, t_{оп}^{з\ макс})$. Блок управления 7 находит экстремальное (максимальное) её значение, то есть экономически оптимальное значение расчетного прироста прибыли $\Delta П(t_{оп}^{з\ опт}, t_{оп}^{норм})$, и соответствующее ему значение аргумента функции $t_{оп}^{з\ опт}$ и подает его в качестве задающего сигнала на задающий вход регулятора температуры 8. Одновременно вычислительный блок 6 рассчитывает ежесуточные затраты на обогрев производственного помещения и со своего второго выхода подает соответствующий им сигнал на блок индикации 12 для информирования персонала и для дополнительного контроля издержек.

## Выводы

Технология обогрева идет по экономически наилучшей траектории. Обеспечивается экономически наилучшее для обогревательной технологии и для предприятия в целом соотношение между получаемой продукцией птицеводства (например, бройлеров) и животноводства и расходуемым на обогрев поголовья энергоносителем любого вида [4].

## Список литературы

1. А. с. № 1438657 СССР, МПК 4 A01G 9/26. Способ автоматического управления температурным режимом в теплице / Ф. Я. Изаков, С. А. Попова, Е. В. Стрельникова, Л. В. Гребенкина. – № 3738938/30-15 ; заявл. 20.01.1984 ; опубл. 23.11.1988, Бюл. № 43.

2. А.с. СССР № 1783567. Имитационная модель животного / Дубровин А. В., Слободской А. П., Ходов В. Н. – № 4903461/15 ; заявл. 18.01.91 ; опубл. 23.12.92, Бюл. № 47.

3. Патент № 2297761 РФ. Способ экономичного обогрева сельскохозяйственных животных или птицы и устройство для его

осуществления / Дубровин А. В., Краусп В. Р., Борисов В.В. – № 2005136406/12 ; заявл. 24.11.2005 ; опубл. 27.04.2007, Бюл. № 12.

4. Дубровин А. В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ КОМФОРТОМ І ОБІГРІВАННЯМ ПТАШНИКА ЗА ЕКОНОМІЧНИМ КРИТЕРІЄМ

***О. В. Дубровін***

**Анотація.** *Запропоновано основи методу керування тепловим комфортом поголів'я птиці в приміщенні та обігріванням пташника за економічним критерієм. Умови теплового комфорту птиці вимірюються за допомогою датчика відчуття температури. Розрахунок економічних характеристик процесу обігрівання пташника проводиться залежно від сигналів датчиків внутрішніх і зовнішніх теплових умов.*

**Ключові слова:** ***автоматизація технологічних процесів, економічно оптимальне керування, техніко-економічний параметр***

## AUTOMATION OF MANAGEMENT BY THERMAL COMFORT AND HEATING OF POULTRY HOUSE ON ECONOMIC CRITERION

***A. Dubrovin***

**Annotation.** *Bases of management method are offered by the thermal comfort of population of bird in an apartment and heating of poultry house on an economic criterion. The terms of thermal comfort of bird are measured by means of sensor of the felt temperature. The calculation of economic descriptions of process of heating of poultry house is produced depending on the signals of sensors of internal and outward thermal terms.*

**Key words:** ***automation of technological processes, economically optimal management, feasibility parameter***

UDC 65.011.46:621

# PRODUCTION OF BIOGAS FROM WASTE ANIMAL FATS

***J. Bohdziewicz, Ph.D., D.Sc. (Eng.)***
***Silesian University of Technology in Gliwice, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Institute of Water and Wastewater Engineering, Unit of Environmental Chemistry and Membrane Processes (Gliwice, Poland);***
***K. Piotrowski, Ph.D., D.Sc. (Eng.)***
***Silesian University of Technology in Gliwice, Faculty of Chemistry, Department of Chemical Engineering and Process Design (Gliwice, Poland);***
***P. Sakiewicz, Ph.D. (Eng.)***
***Silesian University of Technology in Gliwice, Institute of Engineering Materials and Biomaterials (Gliwice, Poland);***
***J. Cebula, Ph.D., D.Sc. (Eng.)***
***The University of Bielsko-Biała, Faculty of Materials and Environmental Sciences, Institute of Environmental Protection and Engineering, Unit of Environmental Processes and Technologies (Bielsko-Biała, Poland).***
***e-mail: Jan.Cebula@polsl.pl***

**Annotation.** *The research results concerning biogas production from waste animal lard are presented. During preparation of various fried dishes with the use of lard or vegetable fats, modification of fats composition is observed. These undergo essential chemical transformations into more or less harmful products. Synthesized toxic substances dissolved in fats make, that these fats are no longer suitable for consumption or further use, thus should be safely finally utilized. Waste fats after the production of fried potatoes, doughnuts, fried meat, etc. are, however, regarded as attractive raw materials for biogas production. Laboratory analysis of anaerobic fermentation process of waste animal lard suggests, that its energetic utilization can be promising source of renewable energy. From 1 Mg of waste lard it is possible to produce in anaerobic fermentation ca. 620–720 m3 of good quality biogas, with maximum production rate varying from 1.067 to 1.082 dm3/kg d.m./h.*

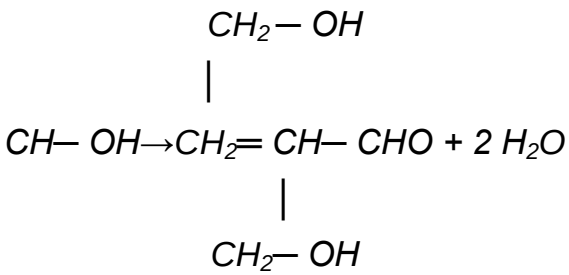
**Key words:** ***wastelard, animal fat, biogas, biowaste utilization, batch anaerobic fermentation kinetics, modified Gompertz model***

**General Outline of the Problem Discussed.** During frying of lard or vegetable fat essential changes in its chemical composition are observed. Vegetable fats containing non-saturated fatty acids are subject of specific transformations. Decomposition of fats into fatty acids and glycerin was confirmed analytically. Heating in higher temperature favors production of toxic aldehydes and ketones. Dehydration of glycerin in high temperature conditions

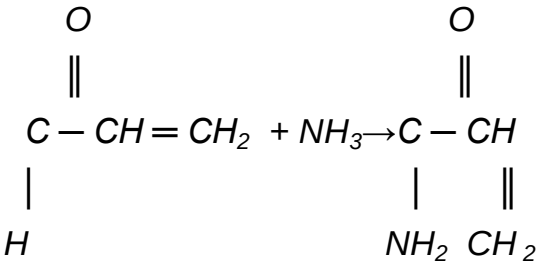
*© J. Bohdziewicz, K. Piotrowski, P. Sakiewicz, J. Cebula, 2016*

leads to formation of acrolein. Heating of fats with large fraction of protein and carbohydrates favors formation of acrylamide.

These chemical transformations can be presented with the following stoichiometric reaction schemes:

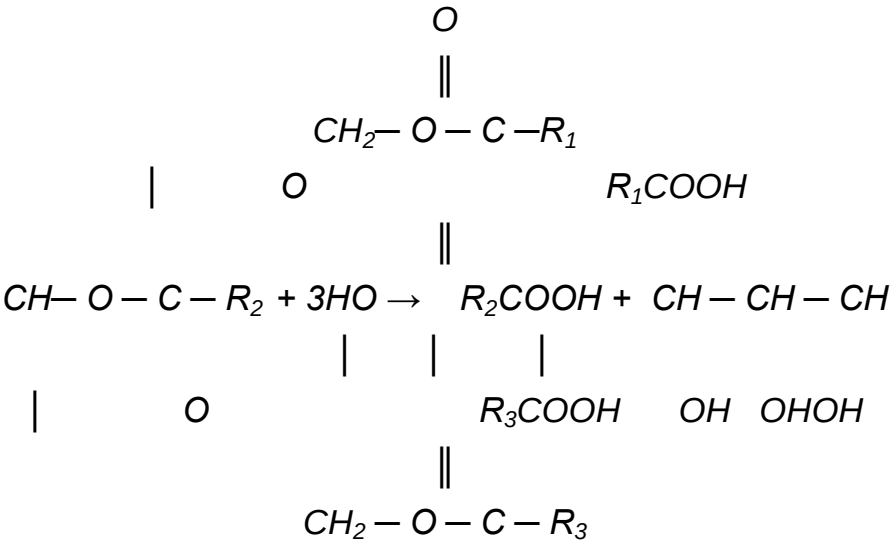


Acrolein in presence of ammonia can also transform into toxic acrylamide:



*AcroleinAcrylamide*

The fats are subject of hydrolysis according to the following stoichiometric reaction scheme:



Melting point of the lard, commonly used animal-derived solid fat, is between 38–42 °C. The frying process takes place in temperature above 100 °C, usually 150–200 °C. In the fats and oils the following toxic compounds are formed:

- oxidation products: peroxides and hydroperoxides, epoxides;
- cyclisation products: cyclic monomers.

During frying process also multiring aromatic hydrocarbons are formed, which demonstrate genetoxic, mutagenic and carcinogen properties. The higher temperature and time of the fat's thermal processing, the larger content of polycyclic aromatic hydrocarbons is detected.

Moreover, in animal fats being the subject of thermal processing one can confirm presence of:

- monomers and cyclic polymers;
- hydroxyacids;
- polycyclic aromatic hydrocarbons;
- oleinianacid;
- heterocyclic aromatic amines, trimethylamine;
- nitrosoamines;
- acetaldehyde;
- formaldehyde;
- naphtalene;
- mercaptanes.

During smoking the lard gains additional toxic compounds, including:

- alcohols: methanol;
- aldehydes: acetaldehyde, formaldehyde;
- ketones: acetone;
- phenols;
- carboxylic acids: formic acid, acetic acid.

Main source of waste animal fats in Poland are: calves, pigs, sheep, horses, rabbits, game meat, etc.

**Analysis of Recent Studies and Publications.** In the present day main technological trend in utilization of waste animal fats is biodiesel production. Biodiesel is usually produced as a substitution of conventional fuel based, however, on non-renewable resources. It is made of edible fats and vegetable oils. For biodiesel production the cheap and easily accessible raw materials are still required [1]. Waste animal fats (chicken fat, lard, tallow) derived from meat processing industry can be considered as one of the options. Methanol and ethanol are used in transesterification reactions involving waste animal fats [2]. Main possibilities of waste animal fats utilization as the cheap substrates in biodiesel production are presented in [3].

Main components of animal fats are, depending on their origin:

- chicken fat: oleic, palmitic, linoleic;
- duck tallow: oleic, palmitic, linoleic;
- mutton fat: oleic, palmitic, stearic;
- lard: oleic, palmitic, linoleic;
- yellow grease: oleic, palmitic, stearic;
- brown grease: oleic, palmitic, stearic, linoleic.

Interesting technological option can be application of waste vegetable biomass for the production of fats via *Hermetiaillunces* larva breeding on waste fruits and cakes produced from the grains. The natural larva fats are then subject of esterification in presence of sulfuric acid as catalyst. Produced this way methyl esters of fatty acids are used as the engine fuels [4].

In the world-scale significant amount of animal fats is produced, which can not be used any more, thus generating wastes. These can be potentially converted into biodiesel fuel. Most of these methods involve catalytic decomposition in basic environment. It turned out that very effective catalyst for transesterification reaction can be tetramethylammonium hydroxide. Conversion of fat into ester runs with the yield reaching even 98% [5].

In result of fats hydrolysis process their decomposition into the products soluble in water phase is observed. Efficiency of extraction from aqueous phase depends on polarity of these acids. The extracted fatty acids are then subject of esterification with methanol [6]. Also some method of biodiesel production based on swine manure substrate via housefly larvae (*Musca domestica* L.) [7] or from waste fish oil [8, 9] are presented in literature.

One of the options may be also thermal degradation (thermal cracking, fast pyrolysis) of fats like waste cooking oil. It was considered and experimentally tested in 475–525 °C [10]. Other study used moving bed pilot scale plant operated in 410–450 °C [11]. The cost effective, medium temperature conversion processes of, among other, animal fats are also considered [12].

Renewable substrates rich in fat can be also considered for sustainable biohydrogen production in dark fermentation process [13,14]. However, further implementation of these technologies in industrial scale is strictly connected with transformation of global energetics towards compatibility with hydrogen fuel, what is planned for nearest future.

Waste fat derived from wastewater treatment plant can be also used for biomethane production. Dehydrated waste fat from the fat catcher resulted in 606 $cm^3$ $CH_4$/g whereas sediment from municipal wastewater treatment plant was able to produce 223 $cm^3$ $CH_4$/g only [15]. Production technology of high quality fuel for jet engines from animal fats is known. The conversion process involves hydrooxygenation and hydrodecarboxylation, as well as consecutive hydroisomerisation reaction. The catalysts in a form of nickel and molybdenum oxides are used in this process. These are regarded to be very active in hydrotreating process, while platinum and palladium catalysts immobilized on zeolites are used as the hydroisomerisation catalysts [16].

During these processes also the following transformations run:

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$$

$$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$$

It was concluded, that the best raw material for biofuel production is poultry fat. The poultry slaughterhouses are potential producers of large amount of lard. In Poland waste animal fats from slaughterhouses and after utilization are produced in amount of ca. 63 000 Mg/year. Biogas potential of various fats is discussed in respect to biorefinery [17], co-digestion [18,19], pre-treatment, optimal digester design [20], potential socio-econo-environmental impacts [21], as well as the possibilities of recovery and utilization of environmentally harmful effluents and wastewaters from various

meat processing industries [22,23,24]. The authors own studies and observations (Fig. 1–4) suggest, that methane fermentation process can be optimal route for utilization of large amount of waste animal fats, producing ecological energy carrier in low temperature conditions and partially solving the odour problems resulting from these animal fats storage and their eventual spontaneous chemical decomposition reactions.

**Fig. 1. Industrial broiler hens breeding (photo: Jan Cebula)**

**Fig. 2. Storehouse for hens excrements with waste fat (photo: Jan Cebula)**

**Fig. 3. Proportioner of fat-containing biomass into anaerobic fermentation chamber (photo: Jan Cebula)**

**Fig. 4. Preliminary storehouse for liquid fats used for feeding the anaerobic fermentation chamber (photo: Jan Cebula)**

**Objective of the Paper.** The work focuses on identification in laboratory conditions the possibility of waste lard utilization in a process of methane fermentation. Process data are interpreted with modified 3-parameters Gompertz kinetic model, providing valuable information concerning maximal process yield, maximal process rate, as well as bacteria adaptation period (lag phase duration). The data presented can be used in design, redesign or/and economic evaluation of the existing biogas bioreactor performance.

**Presentation of the Research.** Substrate preparation. For the methane fermentation tests the obsolete lard derived from the commercial store was used. The research was done in Silesian University of Technology in Gliwice (scientific laboratory in Faculty of Energy and Environmental Engineering, Institute of Water

and Wastewater Engineering, Unit of Environmental Chemistry and Membrane Processes). Specially designed and constructed laboratory stand was used (Fig. 5–7), with external water bath providing constant and adjustable process temperature (here 38ºC). Three glass laboratory-size (working volumes 1 $dm^3$) thermostated bioreactors from the stand were applied – two filled with wastelard (10.0 g) together with starving bacteria strains (inoculum) and one for determination of intrinsic inoculum contribution in the overall biogas production (only inoculum – without lard load). Model substrate (lard) representing commonly used animal fat was initially disintegrated and premixed with inoculum to obtain possibly homogeneous suspension.

**Fig. 5. The laboratory-scale system for measurement of biogas generation potential of fat wastes and appropriate process kinetics (photo: Jan Cebula)**

**Fig. 6. The reactors for the research of anaerobic fermentation course during fat wastes processing (photo: Jan Cebula)**

**Fig. 7. Laboratory bioeactor for the measurement of methane fermentation process course(photo: Jan Cebula)**

Anaerobic fermentation course. The raw experimental data presenting directly batch methane fermentation of waste lard were acquisited manually by periodical observation of current total volume of produced biogas in each fermentor in strictly defined time intervals. The intrinsic inoculum contribution to overall biogas production in each bioreactor (comparative tests in separated bioreactor – in the same process conditions) turned out to be so small, that it could be neglected in proper data trends interpretation. The raw data collected, recalculated per 1 kg of dry mass, were then fitted with modified 3-parameter kinetic Gompertz model (1) [25]:

$$H = H_{\max} \exp\left\{-\exp\left[\frac{R_{\max} e}{H_{\max}}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (1)$$

matching to the characteristic time-course of batch anaerobic fermentation (Fig. 8), which three adjustable parameters: $H_{max}$, $R_{max}$ and $\lambda$, of the precisely defined physical sense:

H – cumulative volume of biogas generated from the process beginning up to defined time t, $dm^3$/kg of dry mass ($dm^3$/kg d.m.);

$H_{max}$ – maximally attainable H (theoretical asymptote of Eq. (1)), $dm^3$/kg d.m.;

$R_{max}$ – maximum biogas production rate, $dm^3$/kg d.m./h;

$\lambda$ – duration of lag phase period (bacterial strains adaptation to a given substrate in a given environment), h;

t – batch process time, h.

The parameter values resulting from nonlinear regression procedures are presented in Table.

**Kinetic characterization of the batch anaerobic fermentation process of waste lardin laboratory conditions (38 °C) – experimental data elaborated with modified 3-parameter Gompertz model**

| No | Parameter | Run 1 | Run 2 | Mean |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Maximally attainable cumulative biogas volume, Hmax , dm3/kg d.m. | 622.19 | 720.13 | 668.84 |
| 2 | Maximum biogas production rate, Rmax , dm3/kg d.m./h | 1.067 | 1.082 | 1.074 |
| 3 | Lag phase period, $\lambda$, h | 246.71 | 234.81 | 240.71 |
| Correlation coefficient R2 | | 0.999 | 0.999 | 0.999 |

Based on the kinetic data presented in Table one is able to make short characteristics of anaerobic fermentation of the waste lard. Process will start after relatively long incubation time (ca. 235–247 h, mean 241 h). It is about 10 days, thus from technological point of view some systems of several bioreactors should be considered. In such a system, to avoid decrease in productivity, the reactors should work alternately. For comparison, incubation period for potato wastes varies from 2.88 h (mean for fried chips) up to 47.67 h (mean for potato flour) [26]. However, batch methane fermentation of waste lard is clearly one-stage process (see Fig. 8), contrary to various potato wastes where two or even three distinctly visible stages are observed.

It is important in process technology since fermentation progress can be easily controlled and unequivocally interpreted. The maximum biogas production rate varies from 1.067 to 1.082 $dm^3$/kg d.m./h, with mean value 1.074 $dm^3$/kg d.m./h. This value stabilizes within the 350–550 h time window. Methane content in such produced biogas varied from 68,8 to 72,4 with mean level of 70,6 thus from 1 Mg of dry mass (directly mass of waste lard) one is able to obtain 0,758 $m^3$ of pure methane per hour (assuming, however, operation with possible maximal production rate, usually only in the middle of the batch cycle). Its energetic value is 27,06 MJ/$m^3$ The maximally attainable cumulative biogas volume varies from ca. 622 to ca. 720 $dm^3$/kg d.m, with mean level 669 $dm^3$/kg d.m.

From 1 Mg of waste lard after utilization via fermentation process it is thus possible to produce 622–720 $m^3$ of good quality biogas instead of troublesome biowaste deposit. Considering the fact, that such relatively large maximal unit production is obtained after one stage, waste lard representing animal fat can be considered as promising raw material for energetic utilization. In case of potatoes corresponding indicator value (after first process stage – for direct comparison) varied from 127.54 $dm^3$/kg d.m (mean for potato chips) up to 629.58 $dm^3$/kg d.m (mean for potato peelings) [26]. However, comprehensive economic analysis should consider further possibilities of upgrading this value during second or even third stage. Nevertheless, the overall batch fermentation process time, several lag periods and disadvantageous modification of the process rate in consecutive stages (later significant devaluation of $R_{max}$) can be important factors in decision about eventual process termination after first, the most effective stage.

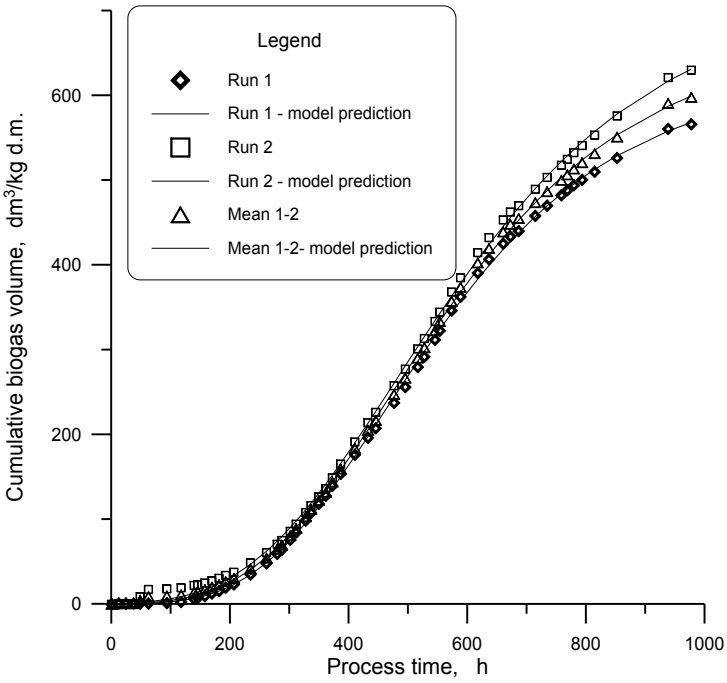



**Fig. 8. Graphical representation of the waste lardmethane fermentaton process progress**

## Conclusions

Based on the research done one can draw the following conclusions and generalizations:

1. Methane fermentation of the waste fat and biomass rich in fats is possible and economical both in fermentation chambers and using the aerobic-anaerobic-aerobic system.
2. Methane fermentation of the biomass containing wastes with various fats seems to be promising technological method of waste lard utilization, since relatively large amount of high methane content biogas with very low hydrogen sulfide concentration is produced.
3. From 1 Mg of waste lard after utilization via anaerobic fermentation process it is possible to produce 622–720 $m^3$ of good quality biogas instead of troublesome biowaste deposit.
4. Additional research is needed to make more thorough insight into process conditions (including different bacteria strains bioefficiency), identify internal process feedbacks and check their applicability towards optimal process control.

## References

1. Olkiewicz M., Fortuny A., Stüber F., Fabregat A., Font J., Bengoa a Ch., Evaluation of different sludges from WWTP as a potential source for biodiesel production, Procedia Engineering, 42 (2012) 634–643

2. Banković-Ilić I.B., Stojković I.J., Stahmenković O.S., Veljkovic V.B., Hung Y.-T., Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32 (2014) 238–254

3. Adewale P., Dumont M.-J., Ngadi M., Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45 (2015) 574–588
4. Leong S.Y., KuttyS.R.M., Malakahmad A., Tan C.K., Feasibility study of biodiesel production using lipids of Hermetiaillucens larva fed with organic waste, Waste Management, 47 (2016) 84–90
5. Šánek L., Pecha J., Kolomazník K., Barˇinová M., Pilot-scale production of biodiesel from waste fats and oils using tetramethyl ammonium hydroxide, Waste Management, 48 (2016) 630–637
6. Kannengiesser J., Sakaguchi-Söder K., Mrukwia T., Jager J., Schabek L., Extraction of medium chain fatty acids from organic municipal waste and subsequent production of bio-based fuels. Waste Management, 47 (2016) 78–83
7. Yang S., Li Q., Gao Y., Zheng L., Liu Z., Biodiesel production from swine manure via housefly larvae (Musca domestica L.), Renewable Energy, 66 (2014) 222–227
8. Yahyaee R., Ghobadian B., Najafi G., Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17 (2013) 312–319
9. Jayasinghe P., Hawboldt K., A review of bio-oils from waste biomass: Focus on fish processing waste, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (2012) 798–821
10. Meier H.F., Wiggers V.R., Zonta G.R., Scharf D.R., Simionatto E.L., Ender L., A kinetic model for thermal cracking of waste cooking oil based on chemical lumps, Fuel, 144 (2015) 50–59
11. Weber B., Stadlbauer E.A., Stengl S., Hossain M., Frank A., Steffens D., Schlich E., Schilling G., Production of hydrocarbons from fatty acids and animal fat in the presence of water and sodium carbonate: Reactor performance and fuel properties, Fuel, 94 (2012) 262–269
12. Sannita E., Aliakbarian B., Casazza A.A., Perego P., Busca G., Medium-temperature conversion of biomass and wastes into liquid products, a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (2012) 6455–6475
13. Yasin N.H.M., Mumtaz T., Hassan M.A., Rahman N.A.A., Food waste and food processing waste for biohydrogen production: A review, Journal of Environmental Management, 130 (2013) 375 – 385
14. Kim H., Moon S., Abug A., Choi S.-C., Zhang R., Oh Y.-S., Effect of fermentation conditions on biohydrogen production from lipid-rich food material, International Journal of Hydrogen Energy, 37 (2012) 15062–15069
15. Yalcinkaya S., Malina Jr. J.F., Model development and evaluation of methane potential from anaerobic co-digestion of municipal wastewater sludge and un-dewatered grease trap waste. Waste Management, 40 (2015) 53–62
16. Galadima A., Muraza O., Catalytic upgrading of vegetable oils into jet fuels range hydrocarbons using heterogeneous catalysts: A review, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 29 (2015) 12–23
17. Fava F., Totaro G., Diels L., Reis M., Duarte J., Carioca O.B., Poggi-Varaldo H.M., Ferreira B.S., Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs, New Biotechnology, 32(1) (2015) 100–108
18. Bayr S., Rantanen M., Kaparaju P., Rintala J., Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes, Bioresource Technology, 104 (2012) 28–36

19. Fernández A., Sánchez A., Font X., Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin, Biochemical Engineering Journal, 26 (2005) 22–28
20. Hamawand I., Anaerobic digestion process and bio-energy in meat industry: A review and a potential, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44 (2015) 37–51
21. Guo M., Song W., Buhain J., Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42 (2015) 712–725
22. ur Rahman U., Sahar A., Khan M.A., Recovery and utilization of effluents from meat processing industries, Food Research International, 65 (2014) 322–328
23. Masse L., Massé D.I., Kennedy K.J., Effect of hydrolysis pretreatment on fat degradation during anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater, Process Biochemistry, 38 (2003) 1365–1372
24. Saddoud A., Sayadi S., Application of acidogenic fixed-bed reactor prior to anaerobic membrane bioreactor for sustainable slaughterhouse wastewater treatment, Journal of Hazardous Materials, 149 (2007) 700–706
25. Wang J., Wan W., Kinetic models for fermentative hydrogen production: A review, International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009) 3313–3323
26. Cebula J., Bohdziewicz J., Kowalczyk-Juśko A., Piotrowski K., Dudek A., Ziemniaki i ich odpady w wytwarzaniu biogazu, Wydawnictwa Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2015

## ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИХ ЖИРІВ

***Я. Бохджієвіч, К. Піотровський, П. Сакієвіч, Я. Цебуля***

**Анотація.** *Подано результати дослідження, що стосуються виробництва біогазу з відходів свинячого сала. Під час приготування різних смажених страв з використанням свинячого сала або рослинних жирів спостерігається зміна складу жирів. Вони зазнають суттєвих хімічних перетворень у більш чи менш шкідливі продукти. Синтезовані токсичні речовини, розчинені в жирах, стають більше не придатними для вживання в їжу або подальшого використання, тому необхідно зробити безпечним їх використання. Відходи жиру після виробництва смаженої картоплі, пончиків, смаженого м'яса тощо, однак, розглядається як привабливa сировина для виробництва біогазу. Лабораторний аналіз анаеробного процесу ферментації стічного тваринного сала передбачає, що його енергетичне використання може бути перспективним джерелом поновлюваної енергії. З 1 Мг відходів свинячого сала можна виробляти за анаеробної ферментації СА 620 720 м3 біогазу високої якості з максимальною швидкістю в межах від 1,067 до 1.082 дм3/ кг/год.*

**Ключові слова:** ***відходи, свинячий жир, тваринний жир, біогаз, утилізація біовідходів, анаеробна кінетика бродіння, модифікована модель Гомпертца***

# ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНЫХ ЖИРОВ

***Я. Бохджиевич, К. Пиотровский, П. Сакиевич, Я. Цебуля***

**Аннотация.** *Представлены результаты исследования, касающиеся производства биогаза из отходов свиного сала. Во время приготовления различных жареных блюд с использованием свиного сала или растительных жиров, наблюдается изменение состава жиров. Они претерпевают существенные химические превращения в более или менее вредные продукты. Синтезированные токсичные вещества, растворенные в жирах, становятся больше не пригодными для употребления в пищу или дальнейшего использования, поэтому необходимо сделать безопасным их использование. Отходы жира после производства жареного картофеля, пончиков, жареного мяса и т.д., однако, рассматриваются в качестве привлекательного сырья для производства биогаза. Лабораторный анализ анаэробного процесса ферментации сточного животного сала предполагает, что его энергетическое использование может быть перспективным источником возобновляемой энергии. С 1 Мг отходов свиного сала можно производить в анаэробной ферментации СА 620-720 м3 биогаза хорошего качества с максимальной скоростью в пределах от 1,067 до 1.082 дм3/кг/час.*

**Ключевые слова:** ***отходы, свиной жир, животный жир, биогаз, утилизация биоотходов, анаэробная кинетика брожения, модифицированная модель Гомпертца.***

УДК:632:51

# ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНЯКОВ

***В. А. Королев, В. Н. Топорков, И. К. Жмакин,***
***кандидаты технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: gnuvieshinfo@yandex.ru***

**Аннотация.** *Принципы функционирования и построения электроимпульсных устройств (ЭИУ) для уничтожения сорняков предусматривает интеграцию инновационных электроимпульсных технологий и технических средств их реализации с перспективными индустриальными технологиями производства продукции (точное, дифференцированное земледелие и т. п.). Определен состав электроимпульсных культиваторов для борьбы с сорняками. Модульные компоненты в структуре ЭИУ выбираются в зависимости от требований конкретной технологии, условий применения. Параметры компонентов подстраиваются под реальные условия реализации выполняемых процессов, характеристики объекта воздействий. Алгоритм функционирования ЭИУ предусматривает корректировку параметров выполняемых технологических процессов, а также прогнозирование изменений их характеристик.*

**Ключевые слова:** ***сорные растения, электрокультиватор, электрический импульс, высокое напряжение***

Уничтожение сорняков – один из важнейших необходимых процессов в комплексе технологий производства продукции растениеводства. В аспекте экологичности, снижения стоимости и затрат энергии принципиальными преимуществами, по сравнению с другими, обладает технология уничтожения сорняков импульсами высокого напряжения (ТИВН) с применением электроимпульсных устройств (ЭИУ) [1].

Кроме ТИВН, существуют технологии и технические устройства уничтожения сорняков с воздействиями синусоидальным током высокого напряжения промышленной частоты (ЧИМЭСХ, ф. Lasko, США и др.) [2]. Однако эти технологии более энергоемкие, по сравнению с ТИВН, т.к. синусоидальные воздействия оказывают на клетки растительных тканей сорняков исключительно тепловые воздействия.

**Цель исследований** – обоснование принципов построения и функционирования электроимпульсных устройств для уничтожения сорняков.

*© В. А. Королев, В. Н. Топорков, И. К. Жмакин, 2016*

**Материалы и методика исследований.** К настоящему времени накоплен большой научно-практический задел в части создания и применения ЭИУ для борьбы с сорняками на базе ТИВН. Выполненные исследования были завершены ОКР с разработкой специальных источников электроснабжения, рабочих органов, систем управления процессами, адаптации транспортных баз существующих образцов тягово-транспортных рабочих агрегатов для применения с ЭИУ. Хотя результаты хозяйственных испытаний образцов были положительные и ЭИУ показали высокие технико-экономические характеристики, в связи с изменившимися экономическими условиями, до промышленного внедрения результаты исследований по ТИВН не дошли.

Инновационные разработки агропроизводства (технологии и технические средства их реализации), эффективность которых подтверждена практически, в частности ТИВН, должны быть совместимы с перспективными индустриальными технологиями производства продукции (точное дифференцированное земледелие и т.п.) [3], а также технологиями, используемыми в небольших фермерских хозяйствах. Для возможности ускорения широкого внедрения ЭИУ в производство и практику целесообразно адаптировать полученные результаты к современным требованиям агропроизводства, выполнить анализ, структурировать и классифицировать полученные знания, выделить, доработать и унифицировать имеющиеся технические решения в соответствии с современным состоянием развития техники и технологий.

Один из основополагающих положений современных подходов к исследованию агротехнологических систем рассматривает технические устройства обеспечения и поддержки агротехнологических процессов, как элементы техноценозов (ТЦ) – техногенной части открытых природно-техногенных метасистем – АТЦ. Природные структуры агротехноценозов (АТЦ) – биоценозы (БЦ), включающие живые, способные к саморазвитию, саморегуляции и сохранению генетической информации, неограниченное время растительные структуры, первичные по отношению к ТЦ, а природные процессы изменения растительных структур и внешней среды для процессов в ТЦ – ведущие. Фактор зависимости режимов функционирования элементов ТЦ от состояния природной составляющей АТЦ при выполнении технологических процессов производства агропродукции – один из важнейших в настоящее время [3, 4].

Максимальную продуктивность объекта аграрного производства, низкие затраты материально-технических ресурсов в реализациях агропроцессов обеспечивает осознанно организованная адаптация параметров функционирования техногенных устройств под реальные и прогнозные изменения природной составляющейся АТЦ. Прогнозирование хода процессов, выделение (выбор) управлений, стимулирующих и оказывающих наибольшее положительное влияние на выполняемые процессы, наряду с перечисленными факторами, являются приоритетными в реализациях агротехнологий.

**Результаты исследований.** Для формализации структуры ЭИУ рассмотрим его место в АТЦ. Из рис. 1 можно определить важнейшие факторы, влияющие на технико-экономические характеристики процессов уничтожения сорняков. В пределах агроугодья на его разных участках развитие сорняков неравномерно, а состояние неодинаково. Отдельные участки агроугодья требуют усиленной обработки, а на других выполнение технологических операций уничтожения сорняков может быть смещено на более поздний период времени.

Таким образом, в ходе реализации агропроцессов нужна динамичная (обновляемая в режиме реального времени) информация об изменении объекта воздействия (сорняков). Получение этой и другой подобной информации осуществляют с помощью современных устройств технического зрения, размещаемых на стационарных конструкциях либо мобильных подвижных объектах наземных или летающих). Подобные устройства должны использоваться (единолично или кооперативно с другими системами агротехнологий) в составе ЭИУ. Причем, поскольку на больших агроугодьях может использоваться не один, а группа ИЭУ, система управления ими должна по технологиям «взаимодействия роя» осуществлять оперативное управление выполняемыми процессами.

Длительный опыт исследований ТИВН и анализ практических результатов применения ЭИУ позволили однозначно определить необходимый минимум элементов в составе технических устройств для уничтожения сорняков электрическими импульсами высокого напряжения:

– первичный источник электроэнергии (ПИЭ); блок высоковольтных импульсов (БВИ); рабочие органы (РО); транспортная база для размещения и доставки на поле компонентов ЭИУ;

– первичный источник электроэнергии (ПИЭ); блок высоковольтных импульсов ЭИУ.

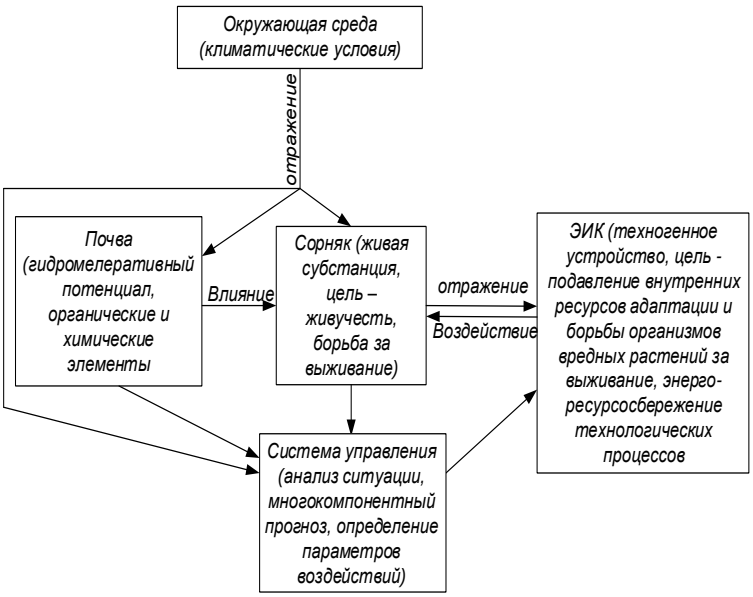



**Рис. 1. Взаимодействие техногенной и природной составляющих АТЦ в реализациях процессов уничтожения сорняков на агроугодьях**

Формирование структуры ЭИУ выполнено исходя из следующих положений:

– необходимость наличия элементов, обеспечивающих полное и эффективное выполнение технологических процессов на разных фазах их реализации;

– максимальное подавление внутренних ресурсов адаптации и борьбы организмов вредных растений за выживание;

– учёт превалирования природной составляющей АТЦ над техногенной;

– осознанно организованная адаптация параметров функционирования техногенных устройств под реальные и прогнозные изменения природной составляющейся АТЦ;

– обеспечение и реализация превентивного опережающего управления энерго- и ресурсосберегающими режимами работы технологического оборудования.

Дальнейшие рассуждения приведены применительно к использованию ЭИУ в новейших экологически чистых энергоэффективных технологиях и системах растениеводства (ГИС, ТЗ и т. п.) [3]. В концепции этих технологий присутствует требование применения модульных структур, многофункциональность в реализациях рабочих технологических машин.

Состав элементов ЭИУ и связи между ними, с учётом изложенных положений и имеющегося научно-практического задела, приведены на рис. 2.

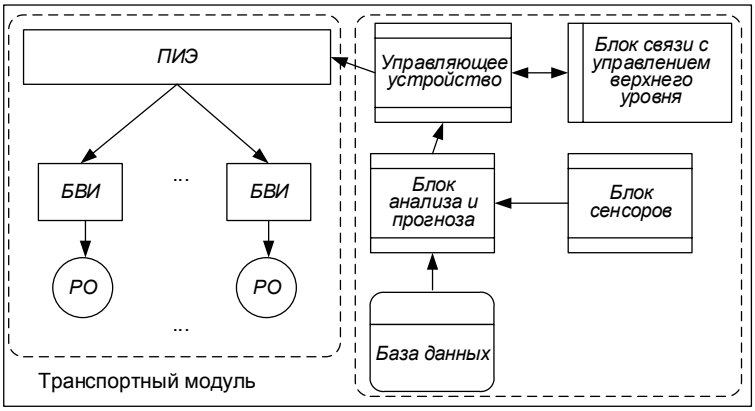



**Рис. 2. Структурная схема ЭИУ**

В качестве ПИЭ возможно применение различных устройств автономного (генератор, как правило, синхронный повышенной частоты с приводом от вала отбора мощности транспортного модуля либо от специального двигатель внутреннего сгорания) или централизованного электроснабжения (промышленный стандарт, однопроводниковая резонансная система). По условиям упрощения и удешевления конструкции, трансмиссии, снижения затрат при эксплуатации,

рационален вариант использования автономного генератора с приводом от вала отбора мощности. Последние исследования выявили перспективность использования резонансной системы.

Функцией БВИ является преобразование энергии (синусоидального напряжения) первичного источника электроэнергии в энергию высоковольтных импульсов с необходимыми параметрами: амплитуда, форма (крутизна фронта и спада), энергия, – мощности ЭИУ. Прямоугольный импульс с бесконечно большой крутизной фронта – наиболее подходит для рассматриваемых процессов. Гарантировано необходимые параметры импульсов обеспечивают классические схемы высоковольтных импульсных источников различных технологических процессов на базе емкостных накопителей энергии с разрядом конденсатора на рабочий промежуток и далее на сорняк – через коммутирующие (разрядные) устройства. В источниках с индуктивными накопителями на крутизну фронта импульсов тока существенно влияет индуктивность цепи «источник – РО – сорняк – земля».

В настоящее время разрабатываются схемы ЭИУ с использованием *IGBT*-транзисторов с возможностью формирования импульса заданной формы, регулируемой энергией импульса, в частности, на базе однопроводниковой резонансной системы. Новое решение существенно увеличивает производительность ЭИУ и сокращает энергоёмкость процессов.

Конструкции РО и параметры воздействий на сорняки для различных этапов технологических процессов неодинаковы.

При выборе конструкции РО для уничтожения всходов и взрослых сорняков анализировались способы подачи на растения высоковольтных электроимпульсов напряжения, особенности и условия применения, виды и стадии развития сорняков. Как основная принята схема с подведением к сорнякам электроэнергии через цепь “навесной электрод – стебель растения – корневая система – почва – заглубленный электрод”, используя в качестве заглубленного в почву электрода вращающийся дисковый нож, а в качестве навесных электродов – изолированные от транспортной базы металлические прутки. Навесные электроды регулируются по высоте и по ширине. Для исключения эффектов шунтирования, РО выполняются в виде секций (модулей). Для сокращения энергоемкости процесса электропрополки (уменьшение влияния эффекта шунтирования значительной части сорняков сорняками, электрическая проводимость которых минимальна по цепи «РО – почва из-за существенного разброса значений электрических сопротивлений сорняков: десятки кОм – несколько мОм) при повышении производительности ЭИУ БВИ и РО реализуются в виде нескольких независимых по электроснабжению модулей.

В ходе реализации процессов уничтожения сорняков необходима интер-активная динамичная (обновляемая в режиме реального времени) информация об изменении сорняков (объекта воздействия). Получение этой и другой необходимой информации осуществляют с помощью

сенсорных устройств, средств технического зрения, размещаемых на стационарных конструкциях либо мобильных подвижных объектах наземных или летающих). Подобные устройства должны использоваться (единолично или кооперативно с другими системами агротехнологий) в составе ЭИУ.

В составе ЭИУ функции обеспечения информацией в ходе выполнения технологических процессов на конкретных участках агроугодий выполняет блок сенсоров, элементы которого смонтированы на ЭИУ либо распределены по полю. Эта информация включает сведения о значениях параметров технологического процесса (виды, количество, размеры, электрическая проводимость растений на разных участках угодья, метеоданные и др.), тенденциях изменения этих параметров.

Для текущего планирования и выполнения технологических операций информация от блока сенсоров поступает в блок анализа и прогноза (рис. 2, 3). Необходимость текущего планирования возникает в ситуациях, когда характеристики процессов не соответствуют параметрам и режимам технологических карт технологических операций, и предполагает оперативную корректировку параметров выполняемых процессов с изменением режимов работы оборудования. По результатам обработки имеющейся информации, блок анализа и прогноза вырабатывает команды для задания режимов работы БВИ, пространственному расположению РО, скорости движения транспортной базы и т. п.

**Рис. 3. Схема алгоритма работы ЭИУ**

Другой функцией блока анализа и прогноза является планирование технологических операций на перспективу, выявление предикторов выполняемых процессов и их прогнозирование. В последнем случае, блок анализа и прогноза использует информацию о реализациях подобных процессов ранее (база данных), а также данные, получаемые от системы вышестоящего уровня через блок связи с управлением верхнего уровня. В ходе анализа информации выявляются депрессивные участки земельного угодья, где число сорняков наибольшее, и на эти участки перебазируют ЭИУ в первую очередь. Причём, поскольку на агроугодьях с большими площадями может использоваться не один, а группа ЭИУ, система управления ими должна по технологиям «взаимодействия роя» осуществлять оперативное управление выполняемыми процессами.

Генерирование команд для задания режимов работы БВИ осуществляется непосредственно в зависимости от реального состояния сорняков на земельном угодье с учетом операций, включённых в технологическую карту процессов. При этом весь цикл функционирования ЭИУ представляют в виде агрегатной модели [7], структура которой в зависимости от реальных условий может корректироваться. Элементарный технологический процесс уничтожения сорных растений разделяют на два этапа.

На первом этапе уравнивают значения электрических проводимостей сорных растений. Для этого сорные растения подвергают воздействиям электрических импульсов высокого напряжения малой энергии (амплитуда – 30–35 кВ, энергия – 0,05–0,1 Дж). При этом мембраны клеток сорных растений оказываются под воздействием электрического поля высокой напряжённости. Из-за более высокого тургорного давления, больших размеров и малой суммарной толщины мембран в центральных частях стеблей и корней сорных растений, по сравнению с клетками на периферии стеблей и корней, пробиваются мембраны клеток в центре стебля и корня сорного растения. В результате этого, клеточное вещество выходит в межклеточник, сопротивления стеблей и корней различных сорных растений, контактирующих с рабочим органом устройства, уменьшаются и становятся приблизительно одинаковыми, соответствуют проводимости протоплазмы разрушенных клеток сорных растений.

Однако разрушения всех структур сорного растения на первом этапе технологической операции не происходит, так как энергия импульса незначительна, и в результате воздействия высокой напряжённости разрушаются только мембраны растительных клеток в средней части стебля или корня растения, и если процесс уничтожения сорного растения прекратить, то через небольшое время после снятия воздействий процессы регенерации живых тканей в сорных растениях могут полностью восстановить свои функции. Далее по величине сопротивления оценивают характеристики сорняков непосредственно после воздействия. Если растения не полностью уничтожены ($R_{растений}$ >

$R_{доп}$), на них повторно подают импульсы высокого напряжения. Отличием вторичного воздействия является задание высокоплотных импульсов заданных (необходимых для полного уничтожения растений) энергии, частоты и напряжения [5, 6].

Кроме непосредственного контроля параметров процесса в ходе его выполнения, осуществляют оценку характеристик сорняков на всем земельном угодье и, используя результаты этой оценки, информацию об изменении параметров внешней среды, базу данных о реализациях аналогичных процессов, выполняют прогноз изменения параметров выполняемых процессов и объекта воздействия на ближайшую перспективу либо на другой заданный период времени (рис. 4). Для определения прогнозных зависимостей используются методы «нечеткого» моделирования, а также реальные зависимости изменения параметров процесса во времени описываются нормализованными математическими зависимостями и экстраполируются на перспективу [3, 7].

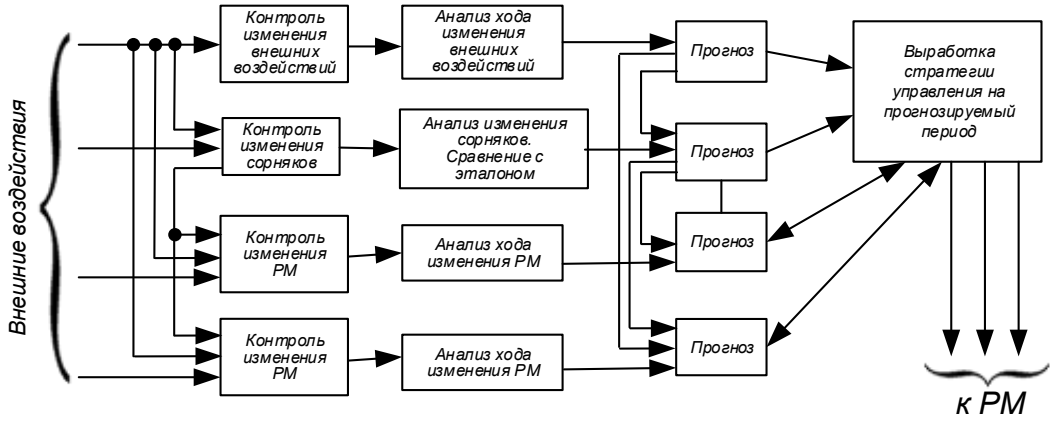



**Рис. 4. К прогнозированию хода процессов**

## Выводы

Определен состав ЭИУ, как технического средства поддержки экологически-чистых технологических процессов, интегрированного в техногенные структуры инновационных технологий точного земледелия. Состав ЭИУ, структурированный модульными компонентами, определяется в зависимости от требований конкретной технологии, условий применения. Кроме этого, параметры ЭИУ подстраиваются под реальные условия реализации выполняемых процессов, характеристики объекта воздействий.

## Список литературы

1. Топорков В. Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук / В. Н. Топорков. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. – 174 с.

2. Электрифицированные системы в растениеводстве / В. М. Усаковский, Н. Ф. Молоснов, В. А. Королев, В. Н. Топорков // «Электротехника 2010 года». Доклады 3-го симпозиума. ВЭИ, Международная ассоциация ТРАВЭК,

Звенигород, 23–26 мая 1995 г. – М. : ВЭИ, Международная ассоциация ТРАВЭК, 1995. – Т. 1. – С. 315–319.

3. Роботизированные системы в сельскохозяйственном производстве : научно-аналит. обзор. – М. : Росинформагротех, 2009. – 136 с.

4. Свентицкий И. И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И. И. Свентицкий. – М. : ВИЭСХ, 2007. – 466 с.

5. Патент № 2081581 РФ, МПК 6А 01М 21/04. Устройство для уничтожения сорной растительности с помощью электрического тока / Королёв В. А., Топорков В. Н., Чижиков Н. И., Чеботарёв М. И., Фортуна В. В. – № 93032539/13 ; заявл. 22.06.1993 ; опубл. 20.06.1997, Бюл. № 17.

6. Патент № 2490888 РФ, МПК 6А 01М 21/04. Способ и устройство уничтожения сорных растений / Топорков В. Н., Королев В. А., Лавренева Т. В., Харченко Н. В. ; заявл. 22.12.2011; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.

7. Королев В. А. Управление дискретными системами в агротехнологиях / В. А. Королев // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 1 (187). – С. 22–24.

## ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ Й ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ

***В. О. Корольов, В. Н. Топорков, І. К. Жмакін***

**Анотація.** *Принципи функціонування та побудови електроімпульсних пристроїв (ЕІП) для знищення бур'янів передбачає інтеграцію інноваційних електроімпульсних технологій і технічних засобів їх реалізації з перспективними індустріальними технологіями виробництва продукції (точне, диференційоване землеробство тощо). Визначено склад електроімпульсних культиваторів для боротьби з бур'янами. Модульні компоненти в структурі ЕІП вибираються залежно від вимог конкретної технології, умов застосування. Параметри компонентів підлаштовуються під реальні умови реалізації виконуваних процесів, характеристики об'єкта впливу. Алгоритм функціонування ЕІП передбачає коригування параметрів виконуваних технологічних процесів, а також прогнозування зміни їх характеристик.*

**Ключові слова:** ***бур'яни, електрокультиватор, електричний імпульс, висока напруга***

## PRINCIPLES OF FUNCTIONING AND BUILD EFFECTIVE DEVICES FOR WEEDING

***V. Korolev, V. Toporkov, I. Zhmakin***

**Annotation.** *The principles of operation and construction of electroimpulse devices (EID) for weed control involves the integration of innovative electroimpulse technologies and means of their realization with advanced industrial technology production (exact, differentiated agriculture, etc.). The composition electroimpulse cultivators for weed control. Modular*

*components in the EID structure chosen depending on the specific technology requirements of the application. Component settings adjusted to the real conditions for the realization of running processes, the characteristics of an object impacts. EID operation algorithm provides for an adjustment of parameters of technological processes carried out, as well as the prediction of changes in their characteristics.*

**Key words:** ***weeds, electrocultivator, electrical impulse, a high voltage***

УДК:631.1.004.18:636.22/28

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

***А. А. Ковалёв, В. А. Панченко, кандидаты технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: pancheska@mail.ru***

**Аннотация.** *Приведена технологическая схема использования солнечных теплофотоэлектрических модулей в системе энергоснабжения биогазовой установки блочно-модульной конструкции. Показано, что наряду с различными видами источников альтернативной энергии применительно к теплоэлектроснабжению биогазовой установки возможно использование солнечных теплофотоэлектрических модулей, что приведёт к увеличению эффективности биогазовой установки и снижению или исключению расхода биогаза на собственные энергонужды. Приведено описание солнечных теплофотоэлектрических модулей, предлагаемых для энергоснабжения биогазовых установок. Показано, что использование блочно-модульной конструкции биогазовых установок с энергоснабжением от солнечных теплофотоэлектрических модулей способно значительно повысить энергетическую эффективность использования биогазовых установок в сельском хозяйстве.*

**Ключевые слова:** ***биогазовые установки, блочно-модульный принцип, солнечные теплофотоэлектрические модули***

В последние годы внимание общества всё больше привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от загрязнения. Быстрое расходование запасов природного топлива, ограничение строительства гидро- и атомных электростанций вызвали

*© А. А. Ковалёв, В. А. Панченко,2016*

*components in the EID structure chosen depending on the specific technology requirements of the application. Component settings adjusted to the real conditions for the realization of running processes, the characteristics of an object impacts. EID operation algorithm provides for an adjustment of parameters of technological processes carried out, as well as the prediction of changes in their characteristics.*

**Key words:** ***weeds, electrocultivator, electrical impulse, a high voltage***

УДК:631.1.004.18:636.22/28

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

***А. А. Ковалёв, В. А. Панченко, кандидаты технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: pancheska@mail.ru***

**Аннотация.** *Приведена технологическая схема использования солнечных теплофотоэлектрических модулей в системе энергоснабжения биогазовой установки блочно-модульной конструкции. Показано, что наряду с различными видами источников альтернативной энергии применительно к теплоэлектроснабжению биогазовой установки возможно использование солнечных теплофотоэлектрических модулей, что приведёт к увеличению эффективности биогазовой установки и снижению или исключению расхода биогаза на собственные энергонужды. Приведено описание солнечных теплофотоэлектрических модулей, предлагаемых для энергоснабжения биогазовых установок. Показано, что использование блочно-модульной конструкции биогазовых установок с энергоснабжением от солнечных теплофотоэлектрических модулей способно значительно повысить энергетическую эффективность использования биогазовых установок в сельском хозяйстве.*

**Ключевые слова:** ***биогазовые установки, блочно-модульный принцип, солнечные теплофотоэлектрические модули***

В последние годы внимание общества всё больше привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от загрязнения. Быстрое расходование запасов природного топлива, ограничение строительства гидро- и атомных электростанций вызвали

*© А. А. Ковалёв, В. А. Панченко,2016*

интерес к применению возобновляемых источников энергии, в том числе огромных масс органических отходов, образующихся в сельском хозяйстве, промышленности, городском коммунальном хозяйстве. В связи с этим, использование методов биологической конверсии органических отходов с получением биогаза и высококачественных органических удобрений, при одновременном решении ряда вопросов охраны окружающей среды от загрязнения, является весьма перспективным [1].

Интенсификация животноводства также создает проблему обработки и использования отходов, поскольку они имеют высокую биологическую активность и содержат значительное количество микроорганизмов и семян сорняков. Для переработки и обеззараживания отходов животноводства наибольшее распространение получили биогазовые установки (БГУ), которые обеспечивают переработку отходов с получением удобрений и биогаза.

Технология анаэробной переработки органических отходов позволяет наиболее рационально и эффективно конвертировать энергию химических связей органических отходов в энергию газообразного топлива (биогаза) собственного производства с получением высокоэффективных органических удобрений. Производство биогаза позволяет предотвратить выброс метана в атмосферу, который оказывает влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем $CO_2$, и находится в атмосфере 12 лет. Захват метана – лучший краткосрочный способ предотвращения глобального потепления. Произведённый биогаз может быть направлен в энергетические установки для выработки электроэнергии и тепла.

Кроме того, БГУ решает проблему утилизации органических отходов и очистки сточных вод. Переработанные органические отходы применяются в качестве удобрения в сельском хозяйстве, что позволяет снизить применение химических удобрений. За счёт этого сокращается нагрузка на грунтовые воды. Однако, несмотря на положительные стороны анаэробной обработки органических отходов, она имеет существенный недостаток – большие энергетические затраты на технологические нужды оборудования (для обеспечения температурного режима в БГУ требуется значительное количество выработанного биогаза (до 50 %)) [2]. Наиболее энергоёмким является процесс нагрева суточной дозы загрузки метантенка, на который идет около 95 % энергии, расходуемой на собственные нужды установки. Опыт применения систем подогрева субстрата в системах теплоснабжения БГУ незначителен, а имеющиеся сведения в научно-технической литературе не позволяют создать эффективные энергосберегающие установки [3].

**Цель иссдедований** – анализ возможности использования солнечных теплофотоэлектрических модулей для энергоснабжения биогазовой установки.

**Материалы и методика исследований.** Одним из способов повышения энергетической эффективности БГУ является использование альтернативных источников энергии для компенсации энергетических

потребностей БГУ. Наряду с различными видами источников альтернативной энергии применительно к теплоэлектроснабжению БГУ, возможно использование солнечных теплофотоэлектрических модулей, что приведёт к увеличению эффективности БГУ и снижению или исключению расхода биогаза на собственные энергонужды БГУ. На рис. 1 представлена технологическая схема системы теплоснабжения БГУ с использованием солнечных теплофотоэлектрических модулей.

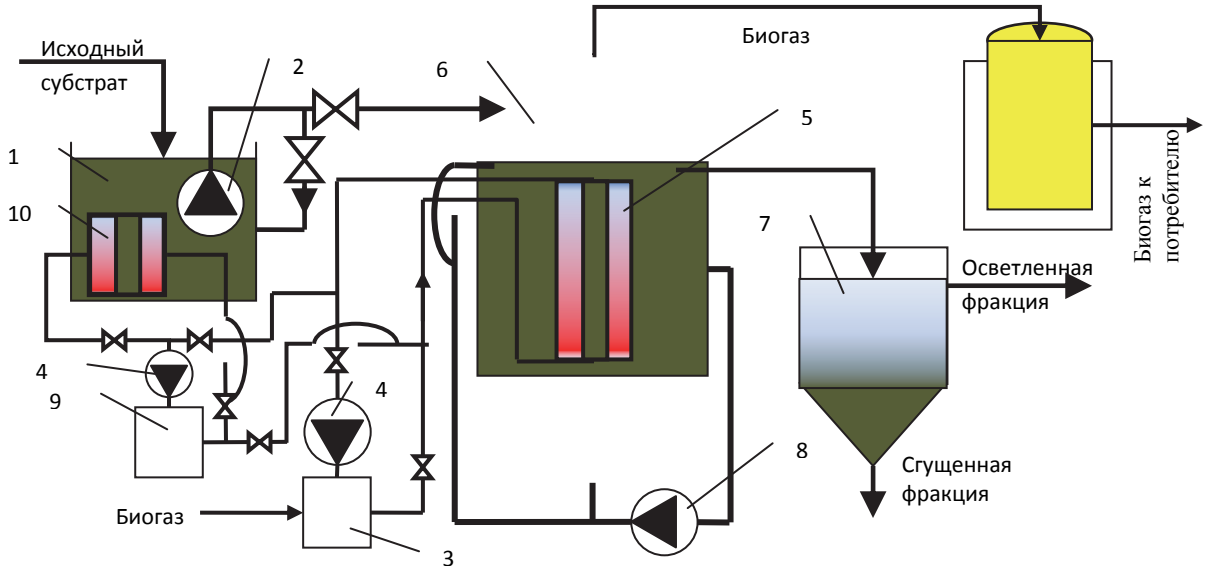



**Рис. 1. Технологическая схема системы теплоснабжения биогазовой установки:** 1 – ёмкость предварительного нагрева; 2 – насос загрузки; 3 – водогрейный котел; 4 – насос циркуляции теплоносителя; 5 – теплообменник блока-модуля; 6 – анаэробный биореактор (4 блока-модуля); 7 – отстойник эффлюента; 8 – насос перемешивания субстрата; 9 – солнечная теплофотоэлектрическая установка; 10 – теплообменник-нагреватель

Солнечные теплофотоэлектрические установки подразделяются на два класса: с использованием концентратора в конструкции (концентраторный) и в планарном исполнении без концентрирующих систем, работающие при естественном освещении Солнца (бесконцентраторный). Концентраторные же системы также подразделяются на два класса: со слежением за Солнцем (одно- и двухосевые системы слежения) и без слежения за Солнцем (стационарные). Также в класс концентраторных теплофотоэлектрических установок входят установки с фотоэлектрическими преобразователями (солнечные элементы) и термодинамическими преобразователями (двигатель Стирлинга). На рис. 2 изображена концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с двигателем Стирлинга, разработанная в ВИЭСХ [4–7].

**Рис. 2. Концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с двигателем Стирлинга**

Наряду с применением термодинамических преобразователей на примере двигателя Стирлинга для теплоэлектроснабжения БГУ возможно применение концентраторного солнечного теплофотоэлектрического модуля, в котором в качестве преобразователей используются планарные и высоковольтные матричные солнечные модули [8–11]. Охлаждение алюминиевого жидкостного радиатора, на котором закреплены солнечные элементы, происходит теплоносителем (вода), температура которого на выходе составляет +45 °С и более, а расход и, соответственно, температура, могут изменяться в зависимости от нагрева солнечных элементов и самого теплоносителя [12–17]. На рис. 3 изображена концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка, разработанная в ВИЭСХ, с планарными и высоковольтными матричными солнечными элементами, установленными на водяном жидкостном радиаторе в качестве фотоприёмника.

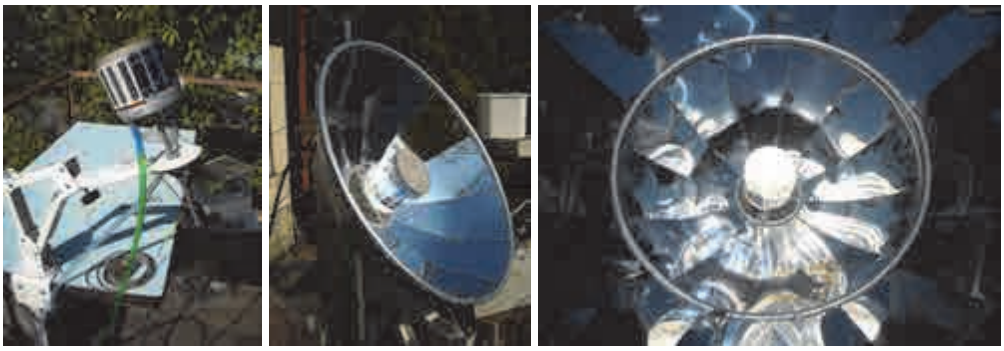


**Рис. 3. Концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с планарными и высоковольтными матричными солнечными элементами**

**Результаты исследований**. На базе разработанных концентраторных теплофотоэлектрических солнечных установок с двигателем Стирлинга и солнечными элементами в качестве фотоприёмников предложено создание полей таких установок с постоянным слежением за Солнцем по двум осям, выработкой электроэнергии порядка 40–50 Вт с единичной установки и тёплой воды

на выходе с температурой +45 °С и более. Выработанная электроэнергия и тепловая энергия используется на энергоснабжение БГУ.

Наряду со следящими концентраторными теплофотоэлектрическими солнечными установками в ВИЭСХ разрабатываются тепло фото-электрические солнечные установки стационарного расположения (без слежения за Солнцем) двух типов: с концентраторами солнечного излучения и без их использования в конструкции солнечных модулей (планарное исполнение). На рис. 4 представлены теплофотоэлектрические кровельные солнечные панели с концентраторами (слева) и в планарном исполнении (посередине и справа), основа которых изготавливается из композитного материала, в состав которого входит вторичное сырьё, а солнечные элементы загерметизированы с помощью двухкомпонентного полисилоксанового компаунда, который увеличивает срок службы солнечных элементов [18, 19]. Применение же таких панелей [20–23] решает ряд проблем: объединение функции солнечного теплофотоэлектрического модуля (электрогенерация, теплогенерация) и крыши здания, что снижает их общую стоимость; солнечные модули не занимают площадь на земле и не требуют платы за землю; владельцы здания с солнечной черепицей в будущем смогут продавать дорогую электроэнергию в часы дневного пикового энергопотребления в сеть, а покупать из сети дешевую внепиковую электроэнергию.

**Рис. 4. Теплофотоэлектрические кровельные солнечные панели с концентраторами (слева) и в планарном исполнении (посередине и справа)**

В солнечной черепице используются встроенные стационарные солнечные концентраторы, что снижает площадь кремниевых солнечных элементов в 4 раза и позволяет получать электрическую энергию и горячий теплоноситель. Рабочее напряжение каждой черепицы 1–1,2 В, пиковая электрическая мощность 5–8 Вт в зависимости от КПД солнечных элементов. На 1 м$^2$ крыши располагаются черепицы пиковой электрической мощностью 70–110 Вт. Солнечная черепица пиковой мощностью 3,5 кВт занимает всего 30–40 % от площади крыши стандартного коттеджа. При оптимальном угле наклона солнечной черепицы годовая выработка электроэнергии в г. Анапа составит около 1,7 МВт·ч/кВт пиковой мощности, а для широты г. Москвы – 1,1 МВт·ч/кВт.

За счёт когенерации электричества и тепловой энергии общая выработка энергии будет больше, а общее КПД установки увеличится.

Наряду с инновационными теплофотоэлектрическими кровельными солнечными панелями теплоэлектроснабжение БГУ можно осуществлять стандартными теплофотоэлектрическими солнечными модулями в планарном исполнении [24], конструкции которых имеют ряд сходств (рис. 5) [25, 26].

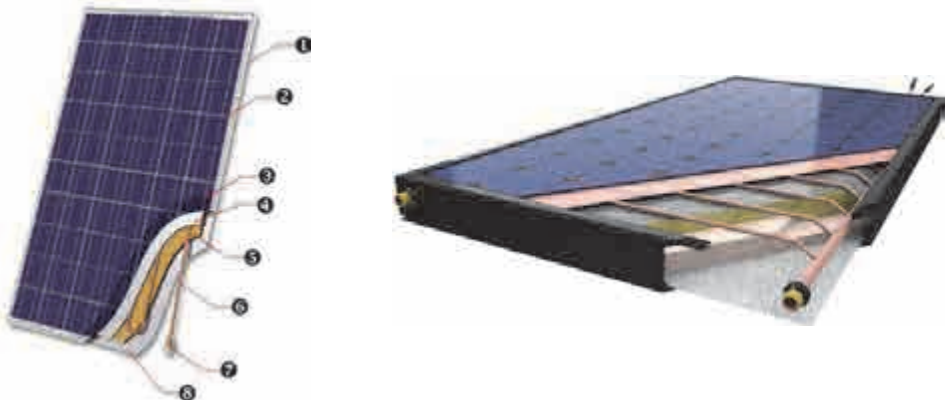


**Рис. 5. Теплофотоэлектрические планарные солнечные модули *SUNSYSTEM* (слева) [25] и *SOLIMPEKS* (справа) [26]:**
1 – алюминиевая рама, 2 – защитное закалённое стекло, 3 – солнечные элементы, 4 – подложка солнечных элементов, промежуточная перегородка, 5 – изоляция, 6 – абсорбирующие трубы, 7 – входное отверстие для теплоносителя, 8 – задняя крышка модуля

В состав таких модулей входят 60 или 72 солнечных элемента, общей мощностью 150–250 Вт, а гарантия номинальной мощности электрической части модуля составляет 90 % после 10 лет работы и 80 % – после 20 лет работы от номинала (стандартные показатели для технологии ламинирования солнечных модулей), максимальная температура теплоносителя 100–140 °С в зависимости от модели. Однако даже серийно изготавливаемые модули такой конструкции отличаются большой материалоёмкостью, массой и, соответственно, стоимостью. К тому же модули выполняются в двух вариантах для различного назначения – максимальной электрической эффективности и максимальной тепловой эффективности, что позволяет усомниться в универсальности данной разработки, так как в любом случае происходит уменьшение одной из составляющих энергоснабжения. Также стоит вопрос срока службы электрической части модуля на уровне номинальной мощности, уровень которой с годами падает. Технология капсулирования солнечных элементов двухкомпонентным полисилоксановым компаундом позволит увеличить срок службы теплофотоэлектрических солнечных модулей [18, 19].

## Выводы

Все вышерассмотренные солнечные теплофотоэлектрические модули могут с успехом применяться для энергоснабжения блочно-модульных БГУ. Применение же блочно-модульной конструкции БГУ позволит:

- интенсифицировать тепло- и массообмен в реакторах-модулях, что, в свою очередь, приведёт к повышению производительности по сравнению с традиционными метантенками.
- оперативно управлять важнейшими показателями оптимальных условий жизнедеятельности микробного сообщества в реакторном пространстве, что приведет к повышению устойчивости системы к внешним воздействиям.
- сократить капитальные затраты на строительство и обеспечить высокое качество изготовления и монтажа оборудования.

Использование солнечных теплофотоэлектрических модулей различных рассмотренных конструкций для компенсации энергетических потребностей БГУ позволит:

- сократить расход биогаза на поддержание температурного режима в биореакторе.
- сократить расход электроэнергии на привод вспомогательного оборудования БГУ.
- повысить энергетическую эффективность системы переработки органических отходов животноводства.
- повысить энергонезависимость и автономность работы БГУ.

## Список литературы

1. Л. И. Гюнтер. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991.

2. Ковалев А. А. Система теплоснабжения биогазовой установки блочно-модульной конструкции с использованием рекуперации теплоты эффлюента для фермы на 400 голов КРС / А. А. Ковалев, Д. А. Ковалев, В. В. Харченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 5. – С. 61–67.

3. Арбузова Е. В. К проблеме энергетической эффективности биогазовых технологий в климатических условиях России / Е. В. Арбузова, С. Е. Щеклеин // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 7. – С. 129–134.

4. Майоров В. А. Исследование тепловых режимов работы двигателя Стирлинга с параболоидным концентратором солнечного излучения / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 28–29.

5. Майоров В. А. Солнечная установка с параболоторическим концентратором и двигателем Стирлинга / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1. – С. 14–16.

6. Майоров В. А. Исследование характеристик солнечного концентратора в установке с двигателем Стирлинга / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Энергетик. – 2013. – № 2. – С. 40–42.

7. Пат. № 2522376 РФ. Солнечный модуль с параболоторическим концентратором в составе с двигателем Стирлинга / Майоров В. А., Панченко В. А., Стребков Д. С. – № 2012117481/06 ; заявл. 28.04.2012 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19.

8. Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко [и др.] // Электро. – 2013. – № 2. – С. 50–52.

9. Стребков Д. С. Исследование высоковольтных солнечных кремниевых модулей / Д. С. Стребков, В. И. Поляков, В. А. Панченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 6/2. – С. 36–42 .

10. Высоковольтные солнечные модули третьего поколения / Д. С. Стребков, В. И. Поляков, Ю. Д. Арбузов, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. Инновации в возобновляемой энергетике. – 2014. – № 3 (8). – С. 159–165.

11. Панченко В. А. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, В. И. Поляков, Ю. Д. Арбузов // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 76–80.

12. Майоров В. А. Исследование параболоторического концентратора в установке с солнечными элементами / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Материалы восьмой всероссийской научной молодёжной школы с международным участием (20–23.11.2012, Москва, МГУ). Возобновляемые источники энергии. – 2012. – С. 284–289.

13. Стребков Д. С. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 1/2. – С. 35–39.

14. Стребков Д. С. Солнечный модуль с параболоторическим концентратором и фотоэлектрическим приёмником / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко // Энергетик. – 2013. – № 5. – С. 42–44.

15. Пат. № 132258 РФ. Теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратом солнечного излучения / Майоров В. А., Панченко В. А., Трушевский С. Н., Трубников В. З. – № 2012154821/06 ; заявл. 18.12.2012 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25.

16. Пат. № 128398 РФ. Теплофотоэлектрический модуль с концентратором солнечного излучения / Майоров В. А., Панченко В. А. – № 2012145498/06 ; заявл. 26.10.2012 ; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.

17. Пат. № 2543256 РФ. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором / Майоров В. А., Панченко В. А., Стребков Д. С. – № 2012141690/06 ; заявл. 02.10.2012 ; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6.

18. Стребков Д. С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы / Д. С. Стребков, И. С. Персиц, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. Инновации в возобновляемой энергетике. – 2014. – № 3 (8). – С. 154–158.

19. Панченко В. А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, И. С. Персиц // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 55–60.

20. Разработка кровельной солнечной панели / Д. С. Стребков, В. А. Панченко, А. Е. Иродионов, А. И. Кирсанов // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 4 (21). – С.107–111.

21. The development of roof solar panels. Research in Agricultural Electric Engineering / D. Strebkov, V. Panchenko, A. Irodionov, A. Kirsanov. – 2015. – Vol. 3, № 4. – P. 123–127.

22. Пат. № 2557272 РФ. Кровельная солнечная панель / Стребков Д. С., Кирсанов А. И., Иродионов А. Е., Панченко В. А., Майоров В. А. – № 2014123409/20 ; заявл. 09.06.2014 ; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

23. Пат. № 2572167 РФ. Солнечный модуль с концентратором (варианты) / Стребков Д. С., Кирсанов А. И., Иродионов А. Е., Панченко В. А. – № 2014121269/28 ; заявл. 27.05.2014 ; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36.

24. Панченко В. А. Теплофотоэлектрические бесконцентраторные солнечные модули (гибридные солнечные коллекторы) / В. А. Панченко, Н. С. Филиппченкова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 5 (15). – С. 128–133.

25. Sunsystems. URL: http://www.sunsystem.bg/en/fotovoltaika/PV-T/ (дата обращения 04.02.2016).

26. Solimpeks. Volther Hybrid PV-T Panels. URL: http://www.solimpeks.com (дата обращения 04.02.2016).

## ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

***А. А. Ковальов, В. А. Панченко***

**Анотація.** *Наведено технологічну схему використання сонячних теплофотоелектричних модулів у системі енергопостачання біогазової установки блочно-модульної конструкції. Показано, що, поряд із різними видами джерел альтернативної енергії стосовно теплоелектропостачання біогазової установки, можливе використання сонячних теплофотоелектричних модулів, що призведе до збільшення ефективності біогазової установки й зниження або виключення витрати біогазу на власні енергопотреби. Наведено опис сонячних теплофотоелектричних модулів, пропонованих для енергопостачання біогазових установок. Показано, що використання блочно-модульної конструкції біогазових установок із енергопостачанням від сонячних теплофотоелектричних модулів здатне значно підвищити енергетичну ефективність використання біогазових установок у сільському господарстві.*

**Ключові слова:** ***біогазові установки, блочно-модульний принцип, сонячні теплофотоелектричні модулі***

## USING THE SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULES FOR ENERGY SUPPLY OF BIOGAS PLANT

***A. Kovalev, V. Panchenko***

**Annotation.** *The paper shows the process flow diagram of the using of solar photovoltaic thermal modules in the power supply system of a biogas plant block-modular design. It is shown that along with the various types of alternative energy sources in relation of the power supply of biogas plants it is possible using the solar photovoltaic thermal modules that will increase the efficiency of biogas plants and reduce or eliminate the consumption of biogas for energy needs of biogas plants. Shown the description of solar photovoltaic thermal modules proposed for the power supply of biogas plants. It is shown*

*that the block-modular construction of biogas plants using the energy supply from solar photovoltaic thermal modules able to significantly improve the energy efficiency biogas plants in agriculture.*

**Key words:** ***biogas units, block-modular principle, solar photovoltaic thermal modules***

УДК 530.15:621.3.01

# РІВНЯННЯ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КІЛ

***А. З. Музичак, кандидат технічних наук***
***Національний університет «Львівська політехніка»***
***e-mail: mAndriy@polynet.lviv.ua***

**Анотація.** *В основі рівнянь стану енергетичних систем лежать мережні правила Кірхгофа та рівняння вітки. Зазвичай спад зусилля на пасивному елементі пов'язують лише з перетворенням певного виду енергії (механічної, електричної тощо) у теплову. Відповідно до принципу енергетичної аналогії, енергія елемента системи включає три складові: розсіяння енергії, а також зміну потенціальної та кінетичної форм енергії. У роботі враховано всі складові енергії та утворено контурну й вузлову математичні моделі енергетичного кола. Усі енергетичні системи поділено на замкнені та розімкнені, що зумовлено врахуванням складових рівняння енергії, а в енергетичні кола введено поняття фіктивної вітки.*

**Ключові слова:** ***енергетичне коло, рівняння вітки, полюсне рівняння, математична модель, закон збереження енергії***

Одним із нелегких завдань сучасного математичного моделювання є адекватне відтворення та аналіз режимів складних енергетичних систем з поєднанням процесів різної фізичної природи. Такі енергетичні системи можуть бути дуже різноманітними – від силової установки звичайного сільськогосподарського агрегата до системи електро- чи газопостачання, що охоплюють цілі міста чи райони.

Комплексне вирішення цієї проблеми полягає у створенні математичних моделей енергетичних систем в межах єдиної теорії, яка забезпечує узгоджену побудову цих моделей та обчислювальних алгоритмів фізично неоднорідних систем. Побудова моделей можлива в межах теорії енергетичних кіл, математичний апарат якої орієнтований на уніфіковане представлення явищ різної фізичної природи [1].

Початок формування теорії енергетичних кіл закладено в роботах [2, 3]. В основу було покладено принцип метричної аналогії, відповідно до

*© А. З. Музичак, 2016*

*that the block-modular construction of biogas plants using the energy supply from solar photovoltaic thermal modules able to significantly improve the energy efficiency biogas plants in agriculture.*

**Key words:** ***biogas units, block-modular principle, solar photovoltaic thermal modules***

УДК 530.15:621.3.01

# РІВНЯННЯ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КІЛ

***А. З. Музичак, кандидат технічних наук***
***Національний університет «Львівська політехніка»***
***e-mail: mAndriy@polynet.lviv.ua***

**Анотація.** *В основі рівнянь стану енергетичних систем лежать мережні правила Кірхгофа та рівняння вітки. Зазвичай спад зусилля на пасивному елементі пов'язують лише з перетворенням певного виду енергії (механічної, електричної тощо) у теплову. Відповідно до принципу енергетичної аналогії, енергія елемента системи включає три складові: розсіяння енергії, а також зміну потенціальної та кінетичної форм енергії. У роботі враховано всі складові енергії та утворено контурну й вузлову математичні моделі енергетичного кола. Усі енергетичні системи поділено на замкнені та розімкнені, що зумовлено врахуванням складових рівняння енергії, а в енергетичні кола введено поняття фіктивної вітки.*

**Ключові слова:** ***енергетичне коло, рівняння вітки, полюсне рівняння, математична модель, закон збереження енергії***

Одним із нелегких завдань сучасного математичного моделювання є адекватне відтворення та аналіз режимів складних енергетичних систем з поєднанням процесів різної фізичної природи. Такі енергетичні системи можуть бути дуже різноманітними – від силової установки звичайного сільськогосподарського агрегата до системи електро- чи газопостачання, що охоплюють цілі міста чи райони.

Комплексне вирішення цієї проблеми полягає у створенні математичних моделей енергетичних систем в межах єдиної теорії, яка забезпечує узгоджену побудову цих моделей та обчислювальних алгоритмів фізично неоднорідних систем. Побудова моделей можлива в межах теорії енергетичних кіл, математичний апарат якої орієнтований на уніфіковане представлення явищ різної фізичної природи [1].

Початок формування теорії енергетичних кіл закладено в роботах [2, 3]. В основу було покладено принцип метричної аналогії, відповідно до

*© А. З. Музичак, 2016*

якого, усі змінні режиму поділено на дві групи – паралельні та послідовні, стосовно методу їх вимірювання. Пізніше теорію енергетичних кіл було доповнено принципом енергетичної аналогії [4], відповідно до якого, введено поняття змінних стану. В [5] паралельну змінну стану названо імпульсом, а послідовну змінну стану – кількістю.

Введення принципу енергетичної аналогії дало змогу в основу математичних розрахунків покласти фундаментальний закон природи – закон збереження енергії. Відповідно до нього, енергія елемента системи *W* містить три складові, математично це можна подати у формі [5]

$$W = W_p + W_к + W_п, \qquad (1)$$

де $W_p$ – енергія розсіяння (перетворення одного виду енергії в інший);

$W_к$ – кінетична форма енергії;

$W_п$ – потенціальна форма енергії.

Відповідно до [5] рівняння (1), можна записати через координати режиму енергетичного кола

$$W = YXt + \int_X JdX + \int_Y KdY, \qquad (2)$$

де *X* – потік чи послідовна змінна дії;

*Y* – зусилля чи паралельна змінна дії;

*J* – імпульс чи паралельна змінна стану;

*K* – кількість чи послідовна змінна стану;

*t* – час.

Проте принципи метричної та енергетичної аналогій дають змогу лише структурувати множину змінних кіл різної фізичної природи та відобразити єдину систему взаємозв'язків між ним. Однак математичний запис цих принципів ще не дає зручного інструменту адекватного відтворення та аналізу режимів енергетичних систем.

У практичних розрахунках енергетичні системи зазвичай поділяють на фізично однорідні галузеві частини (електричну, механічну, гідравлічну тощо) та виконують їх аналіз математичним апаратом однієї з галузевих теорій. Якщо це необхідно, результати розрахунку в подальшому поєднують.

**Мета досліджень** – з позицій системного підходу сформувати систему рівнянь стану енергетичного кола та утворити математичну модель, придатну для адекватного відтворення та аналізу режимів енергетичних систем незалежно від їх фізичної природи. Створюваний математичний апарат повинен бути єдиним для кіл різної фізичної природи.

**Матеріали та методика досліджень.** Невід'ємними складовими математичної моделі енергетичної системи є енергетичне коло як заступна схема енергетичної системи, та система рівнянь, яка описує його стан.

Енергетичне коло складається з трьох взаємопов'язаних частин: джерел енергії, споживачів енергії та сполучних елементів, які пов'язані єдиним режимом генерування-споживання енергії.

У даній статті обмежимося властивостями енергетичних кіл, складених лише з двополюсних компонент. Джерела енергії можна подати як двополюсне джерело зусилля (рис. 1,а) чи двополюсне джерело потоку (рис. 1,б). Споживачі енергії та сполучні елементи представлені пасивним двополюсником (рис. 1,в).

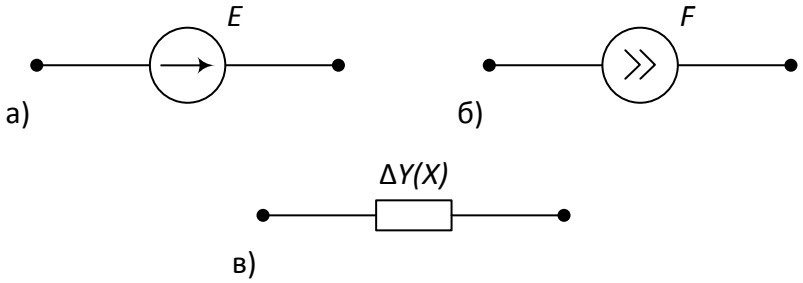



**Рис. 1. Двополюсники енергетичного кола: ідеальне джерело зусилля (а),**
ідеальне джерело потоку (б), пасивний двополюсник (в)

Структурні елементи енергетичного кола, такі як вітка, вузол та контур, еквівалентні поняттям електричного кола [6].

В основі рівнянь стану енергетичних кіл лежать мережні правила Кірхгофа. Згідно з [7], ці правила є властивістю вимірюваних величин та справедливі як для електричних кіл [6], так і для однорідних кіл іншої фізичної природи: гідравлічних [8, 9], теплових [10] тощо.

Відповідно до позначень [5], перше правило Кірхгофа має вигляд

$$\mathbf{A}\vec{X} + \vec{F} = 0, \tag{3}$$

а друге правило Кірхгофа – вигляд

$$\mathbf{B}\vec{Y} = 0, \tag{4}$$

де *A, B* – перша та друга матриці інциденцій;

$\vec{X}$ , $\vec{Y}$ – вектор-стовпець відповідно потоків та зусиль віток;

$\vec{F}$ – вектор-стовпець джерел потоків.

Рівняння (4) відображує друге правило Кірхгофа у контурній формі. Згідно з [8], його можна також записати у вузловій формі

$$\vec{Y} = \mathbf{A}_0^T \vec{V}_0, \tag{5}$$

де $A_0$ – повна перша матриця інциденцій;

$\vec{V}_0$ – вектор-стовпець вузлових потенціалів.

Мережні правила Кірхгофа доповнює рівняння вітки, яке пов'язує основні її параметри. За аналогією до вітки електричного кола [6], вітка енергетичного кола може містити джерело зусилля та пасивну компоненту, яка характеризується деяким спадом зусилля (рис. 2).

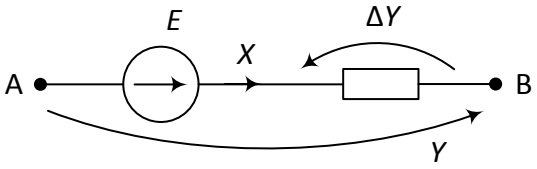



**Рис. 2. Вітка енергетичного кола**

Згідно з прийнятими в [6] спрямувань (рис. 2), зусилля вітки *Y* збігається за напрямом з потоком, а спад зусилля на пасивній компоненті Δ*Y* – протилежний до напряму потоку. Згідно з такими спрямуваннями, рівняння вітки енергетичного кола можна подати у вигляді

$$Y = E - \Delta Y , \qquad (6)$$

де *E* – рушійне зусилля вітки.

Множина рівнянь віток енергетичного кола у векторній формі

$$\vec{Y} = \vec{E} - \Delta\vec{Y} , \qquad (7)$$

де $\vec{E}$ – вектор-стовпець рушійних зусиль віток;

$\vec{Y}$ – вектор-стовпець зусиль віток;

$\Delta\vec{Y}$ – вектор-стовпець спадів зусиль на пасивних компонентах віток.

Поєднання рівнянь віток та рівнянь за правилами Кірхгофа дозволяє утворити математичну модель енергетичного кола. Із застосуванням другого правила Кірхгофа в контурній формі (4) отримуємо контурну математичну модель енергетичного кола

$$\begin{cases} \mathbf{A}\vec{X} + \vec{F} = 0, \\ \mathbf{B}\vec{Y} = 0, \\ \vec{Y} = \vec{E} - \Delta\vec{Y}, \end{cases} \qquad (8)$$

у випадку вузлової форми другого правила Кірхгофа (5) отримаємо вузлову математичну модель

$$\begin{cases} \mathbf{A}\vec{X} + \vec{F} = 0, \\ \vec{Y} = \mathbf{A}_0^T\vec{V}_0, \\ \vec{Y} = \vec{E} - \Delta\vec{Y}. \end{cases} \qquad (9)$$

Зазвичай спад зусилля Δ*Y* пов’язують лише з перетворенням певного виду енергії у теплову. Для прикладу, в теорії електричних кіл [6] спад напруги (аналог спаду зусилля) пов’язують лише з перетворенням електричної енергії у теплову (так звані Джоулеві втрати). Подібним чином у теорії гідравлічних кіл [8, 9] спад тиску (аналог спаду зусилля) пов’язують лише з перетворенням гідравлічної енергії (механічної енергії середовища) в теплову (так звані втрати на тертя).

Водночас, відповідно до принципу енергетичної аналогії, енергія елемента системи включає три складові, що відображено в рівняннях (1) чи (2). Змін може зазнавати кожна зі складових.

Згідно з [6, 8, 9] у рівняння віток (6) закладена складова перетворення певного виду енергії (механічної, електричної, гідравлічної тощо) у теплову, тобто рівняння (6) правильно буде записати у вигляді

$$Y = E - \Delta Y_p, \qquad (10)$$

де $\Delta Y_p$ – спади зусилля, пов'язані з розсіянням енергії (перетворення певного виду енергії у теплову).

Відповідно до (1) і (2), у рівнянні вітки необхідно врахувати також потенціальну та кінетичну форми енергії. Покажемо це на прикладі механічної системи, де обидві форми енергії можна подати наочно.

Розглянемо транспортер, який піднімає однакові тіла на певну висоту *h*, після чого вони зісковзують з його поверхні та вільно падають униз (рис. 3,а).

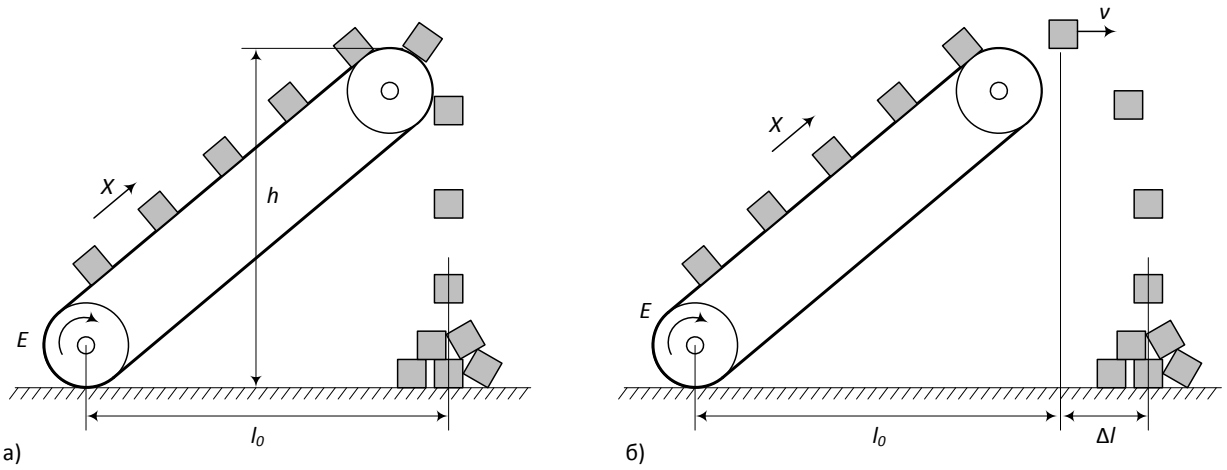



**Рис. 3. Приклади витрат енергії в механічній системі:**

тіла вільно падають (а), тіла виштовхуються (б)

У такому транспортері енергія джерела витрачається на подолання сил опору (тертя у підшипниках, опір повітря тощо) та на піднімання тіл на необхідну висоту (у тіл збільшується потенціальна енергія). Щоразу, коли чергове тіло зісковзує з транспортера, потенціальна енергія тіла втрачається для системи безповоротно. Ця енергія спочатку перетворюється у кінетичну енергію падіння, а далі – у теплову енергію удару, однак це вже відбувається за межами системи. Тому у заступній схемі такої механічної системи необхідно відтворювати як спади зусилля на тертя, так і спад зусилля, зумовлений втратою потенціальної енергії (рис. 4,а).

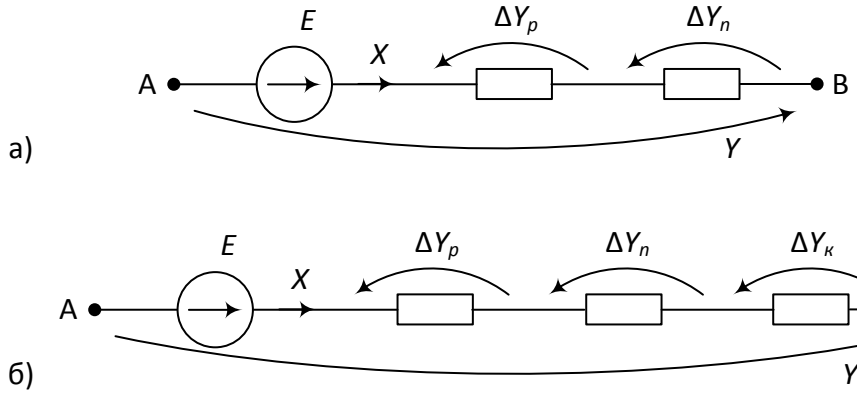



**Рис. 4. Заступна схема механічної системи:**
**(а) – наведеної на рис. 3,а, (б) – наведеної на рис. 3,б**

З урахуванням рівняння (10) для вітки (рис. 4,а) матиме вигляд

$$Y = E - \Delta Y_p - \Delta Y_n, \qquad (11)$$

де $\Delta Y_п$ – спад зусилля, зумовлений втратою потенціальної енергії.

Дещо інакшою буде картина, коли транспортер не просто піднімає тіла на певну висоту, а ще й надає їм початкової швидкості (рис. 3,б), щоб тіла падали не під транспортером а на деякій віддалі $\Delta l$ від нього. У цьому випадку, з кожним тілом втрачається кінетична енергія. Ця енергія частково йде на подолання опору повітря під час польоту, частково перетворюється у теплову енергію удару, але це все вже за межами системи.

Очевидно, що в заступній схемі такої механічної системи необхідно враховувати й спад зусилля, зумовлений втратою кінетичної енергії (рис.4,б).

Відповідно рівняння (11) для вітки (рис. 4,б) матиме вигляд

$$Y = E - \Delta Y_p + \Delta Y_n + \Delta Y_к, \qquad (12)$$

де $\Delta Y_к$ – спад зусилля, зумовлений втратою кінетичної енергії.

Таким чином, у рівнянні вітки енергетичного кола, необхідно враховувати всі складові енергії (1) чи (2), що й відображено в рівнянні вітки (12).

**Результати досліджень.** З врахуванням рівняння вітки (12), контурна математична модель енергетичного кола (8) набуде вигляду

$$\begin{cases} \mathbf{A}\vec{X} + \vec{F} = 0, \\ \mathbf{B}\vec{Y} = 0, \\ \vec{Y} = \vec{E} - \Delta\vec{Y}_p + \Delta\vec{Y}_n + \Delta\vec{Y}_к, \end{cases} \qquad (13)$$

а вузлова математична модель – вигляду

$$\begin{cases} \mathbf{A}\vec{X} + \vec{F} = 0, \\ \vec{Y} = \mathbf{A}_0^T \vec{V}_0, \\ \vec{Y} = \vec{E} - \Delta\vec{Y}_p + \Delta\vec{Y}_n + \Delta\vec{Y}_к \end{cases} \quad (14)$$

де $\Delta\vec{Y}_p$ – вектор-стовпець спадів зусиль віток, пов'язаних із розсіянням енергії (перетворення енергії у теплову);

$\Delta\vec{Y}_n$, $\Delta\vec{Y}_к$ – вектор-стовпці спадів зусиль віток, пов'язаних із втратою, відповідно, потенціальної чи кінетичної енергії.

На відміну від спаду зусилля, пов'язаного з розсіянням енергії $\Delta Y_p$, що втрачається безповоротно, спади зусилля, пов'язані зі збільшенням потенціальної (чи кінетичної) енергії, можуть бути зворотними. Покажемо це на прикладі транспортера, у якого тіла «приклеєні» до стрічки (рис. 5,а).

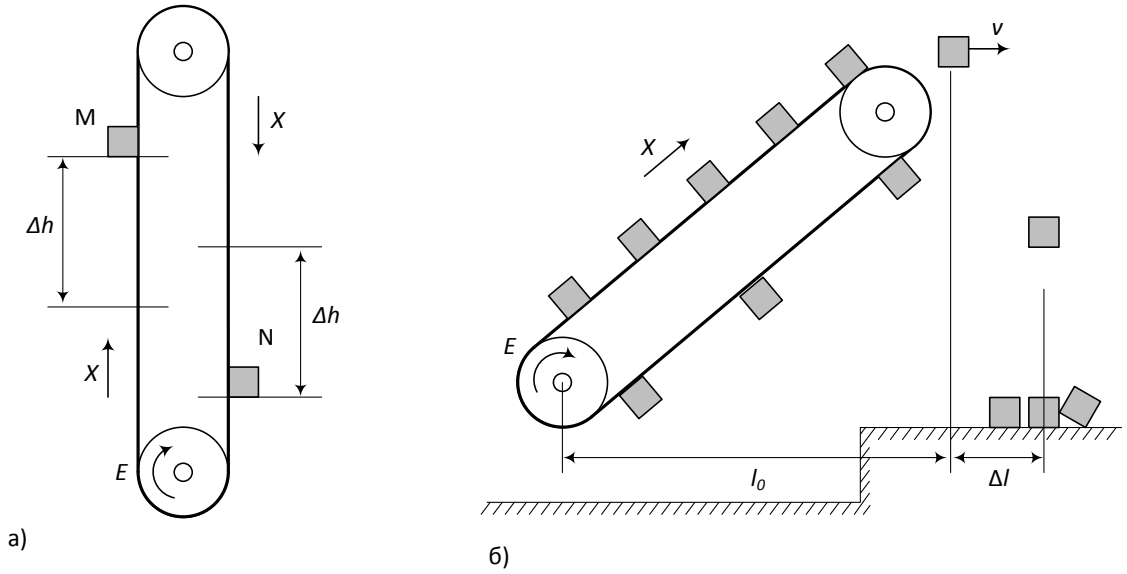



**Рис. 5. Приклади зворотного перетворення енергії в механічній системі:** потенціальної енергії тіл (а), потенціальної та кінетичної (б)

Відповідно до рис. 5,а, зусилля, яке необхідно затратити на збільшення потенціальної енергії тіла M, компенсується зменшенням потенціальної енергії тіла N. Якщо вага цих тіл однакова і швидкість руху стрічки транспортера незмінна, тоді енергія джерела затрачається лише на подолання тертя у підшипниках та опору повітря. Зворотне перетворення стосується також кінетичної форми енергії. Якщо тілам на транспортері надати достатньої швидкості, то після вимкнення привідного двигуна транспортер ще деякий час продовжуватиме рух за рахунок кінетичної енергії тіл.

Сформулюємо таке загальне правило: якщо носії потенціальної та/чи кінетичної форм енергії не залишають систему, а рухаються по замкненому контуру, сума змін зусиль, затрачених на зміну форм енергії, у цьому самому контурі рівна нулю

$$\sum_{i=1}^{m} \left( \Delta Y_{n.i} - \Delta Y_{к.i} \right) = 0 \qquad (15)$$

де $m$ – кількість віток, що входять в $i$-ий контур.

Це правило справедливе для енергетичних кіл різної фізичної природи: електричних, механічних, гідравлічних, пневматичних тощо.

Окремо необхідно розглядати лише теплове коло, що зумовлено особливістю теплової форми енергії. У колах будь-якої іншої фізичної природи втрати енергії на розсіяння – це перетворення її в теплову енергію. Можна припустити, що у теплових колах також існує тепловий потік розсіяння, однак він невіддільний від основного потоку тепла, оскільки має однакову з ним фізичну природу. В силу цього, загальний тепловий потік залишається постійним. Іншою пересторогою є те, що, відповідно до [3, 10а], відсутня кінетична форма теплової енергії.

Оскільки зміну потенціальної та кінетичної форм енергії доцільно враховувати лише у випадку, коли носії енергії залишають систему, енергетичні кола доцільно поділити на замкнені на розімкнені.

Прикладами замкнених енергетичних систем можуть бути електроенергетичні системи, системи теплопостачання без відбору теплоносія тощо. При-кладами розімкнених енергетичних систем можуть бути системи газопостачання, системи водопостачання, системи теплопостачання із відбором теплоносія, системи водовідведення тощо.

В енергетичному колі розімкнених систем, відповідно до [8, 11], необхідно ввести крім реальних віток фіктивні (чи умовні) вітки. Реальні вітки відповідають реальним елементам системи й відтворюють процес розсіяння енергії (перетворення певного виду енергії у теплову).

Фіктивні вітки відтворюють вихід носіїв енергії за межі системи. Вони виходять із вузлів енергетичного кола, у яких носії енергії залишають систему, та сходяться в один із вузлів, який називають опорним. У розрахунках такий вузол приймають за базовий.

Для приладу розглянемо транспортер (рис. 5,б), у якого тіла «приклеєні» до транспортера через один. Таким чином половина тіл (а отже й їхня енергія йтиме по замкненому контуру), а друга половина тіл (і їх енергія) залишатиме систему. Енергетичне коло для такої системи можна подати у вигляді (рис. 6).

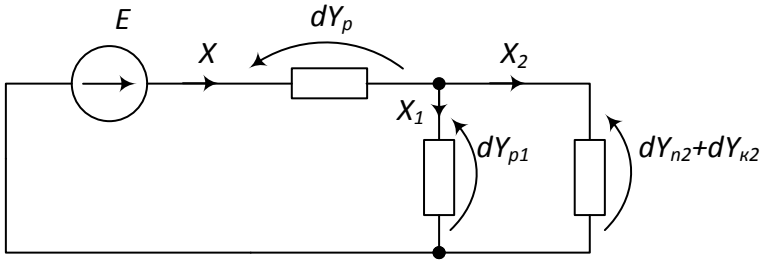



**Рис. 6. Енергетичне коло транспортера, зображеного на рис. 5,б**

Подальшим розвитком математичних моделей енергетичного кола є формування полюсного рівняння

$$\Delta Y = f(X), \tag{16}$$

Полюсне рівняння характеризує власне компоненту незалежно від її сполучення з іншими компонентами. На відміну від лінійних рівнянь математичних моделей (13) і (14), полюсне рівняння може бути як лінійним, так і нелінійним.

У випадку лінійної компоненти полюсне рівняння відносно потоку записують у вигляді

$$\Delta Y = RX, \tag{17}$$

де $R$ – резистанс пасивної компоненти, його розмірність визначається розмірністю паралельної та послідовної змінної дії [3, 10].

Зауважимо, що в природі існує достатньо процесів, які відповідають лінійному полюсному рівнянню, а також процесів, що описуються нелінійним полюсним рівнянням.

Нелінійне полюсне рівняння слід подавати залежністю уніфікованою для процесів різної фізичної природи.

## Висновки

Обґрунтовано форму рівняння вітки енергетичного кола з усіма складовими рівняння енергії.

Сформовано контурну та вузлову математичні моделі енергетичного кола.

Енергетичні системи поділено на замкнені та розімкнені (наявний відбір носіїв енергії).

Адекватне відтворення режимів розімкнених енергетичних систем потребує врахування всіх складових рівняння енергії; під час аналізу режимів замкнених енергетичних систем зміну потенціальної та кінетичної форм енергії можна не враховувати.

## Список літератури

1. Саух С. М. Математическое моделирование энергетических цепей / С. М. Саух // Электронное моделирование. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 3–12.

2. Trent H. M. Isomorphism between oriented linear graphs and lumped physical system / H. M. Trent // J. Acoustic America. – 1955. – Vol. 5. – P. 500–527.

3. Бердников В. В. Прикладная теория гидравлических цепей / В. В. Бердников. – М. : Машиностроение, 1977 – 192 с.

4. Саух С. М. (2003) Енергетичні аналогії в теорії енергетичних кіл / Доп. НАН України, 12, 76–83.

5. Muzychak A. System of mode variables in power circuits / A. Muzychak // Energy engineering and control systems. – 2015. – Vol. 2. – [прийнято до друку].

6. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики / В. С. Перхач. – Львів : Вища школа. Видання при Львівському університеті, 1989. – 464 с.

7. Koenig H. Electromechanical system theory / H. Koenig, W. Blackwell. – N. Y. : MeGraw-Hill Book Company, 1961. – 424 p.

8. Меренков А. П. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М. : Наука, 1985. – 278 с.

9. Гидравлические цепи. Развитие теории и приложения / [Н. Н. Новицкий, Е. В. Сеннова, М. Г. Сухарев и др.]. – Новосибирск : Наука, Сибирская издательская фирма РАН, – 2000. – 273 с.

10. Malinowski A. Thermal conditions of buildings: mathematical modeling by power circuit theory / A. Malinowski, W. Turkowski, A. Muzychak // Technical transactions Civil engineering. – 2014. – Vol. 3-B (8). – P. 299–309.

11. Евдокимов А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев ; под общ. ред. А. Г. Евдокимова. – М. : Стройиздат, 1979. – 199 с. ил.

## УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

***А. З. Музычак***

**Аннотация.** *В основе уравнений состояния энергетических систем лежат сетевые правила Кирхгофа и уравнения ветви. Обычно падение усилия на пассивном элементе связывают только с преобразованием определенного вида энергии (механической, электрической и т. п.) в тепловую. В соответствии с принципом энергетической аналогии, энергия элемента системы включает три составляющие: рассеяние энергии, а также изменение потенциальной и кинетической форм энергии. В работе учтены все составляющие энергии и образованы контурная и узловая математические модели энергетической цепи. Все энергетические системы разделены на замкнутые и разомкнутые, что обусловлено учетом составляющих уравнения энергии, а в энергетические цепи введено понятие фиктивной ветви.*

**Ключевые слова:** ***энергетическая цепь, уравнение ветви, полюсное уравнение, математическая модель, закон сохранения энергии***

## STATE EQUATIONS OF POWER CIRCUITS

***A. Muzychak***

**Annotation.** *The basis of the state equations of energy systems are network Kirchhoff's rules and branch equation. Usually effort drop on passive element is associated only with the conversion of a certain type of energy (mechanical, electrical etc.) into heat. In accordance with the principle of energy analogy energy of the system element consists of three components: energy dissipation, and change potential or kinetic energy forms. In paper takes into account all components of energy and created contour and nodal mathematical models of power circuit. All power systems are divided into closed and opened due regard constituents of energy equation. In the energy circuits introduced the concept of fictitious branch.*

**Key words:** ***power circuit, branch equation, pole equation, mathematical model, law of conservation of energy***

УДК 621.316

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ МЛИНА З ФАЗІ-КЕРУВАННЯМ

***П. Б. Клендій, кандидат технічних наук***
***Г. Я. Клендій, інженер***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***О. П. Дудар, інженер***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний коледж»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *У програмному пакеті Matlab проведено дослідження енергозберігаючої системи пневмотранспортної установки млина Р6-АВМ-15 з фазі-керуванням, де визначено енергоефективні режими роботи пневмомережі при трикутній функції належності фазі-регулятора.*

**Ключові слова:** ***пневмотранспортна установка, фазі-керування, функція належності, нечітка система автоматичного керування***

Для транспортування зерна та продуктів його помелу на сучасних борошномельних підприємствах широко використовується пневмотранспорт. Гідравлічну потужність, яку розвиває повітродувна машина, споживають, в основному, пневмотранспортери – до 90 %. Зменшення енергоємності цього елемента установок набуває особливо важливе значення. Основна умова зменшення витрат енергії – реалізація оптимальних в енергетичному відношенні режимів транспортування в межах реальних практичних діапазонів навантаження, діаметрів і довжини матеріалопроводів, характерних для пневмотранспортних установок борошномельних заводів. Аналіз режимів їх роботи передбачає зменшення робочих швидкостей повітря в матеріалопроводах до величин, мінімально допустимих при забезпеченні стійкості процесу переміщення продуктів.

Однак робота при мінімальних швидкостях повітря вимагає більш точного налаштування пневмотранспортної установки на прийнятий раціональний режим. Забезпечення достатніх для транспортування продуктів швидкостей повітря в матеріалопроводах, об'єднаних загальним колектором при зміні в них навантаження виявляється практично неможливим без автоматичних пристроїв або без значних резервів швидкостей за ручного регулювання. Будь-яке коливання навантаження в будь-якому матеріалопроводі змінює його гідравлічний опір і приводить до перерозподілу витрат повітря в інших пневмотранспортерах. При роботі з мінімальними швидкостями повітря (без запасу) перерозподіл витрат може викликати порушення стійкості транспортування (завал) в окремих матеріалопроводах.

*© П. Б. Клендій, Г. Я. Клендій., О. П. Дудар, 2016*

Останніми роками системи керування з використанням математичного апарату нечіткої логіки (фазі-логіки) почали застосовувати для керування різними об'єктами [1], зокрема різного роду приводами.

В [2] було розглянуто основні принципи та правила побудови й функціонування фазі-регуляторів.

**Мета досліджень –** побудувати енергозберігаючу систему пневмотранспорту млина Р6-АВМ-15 та визначити енергоефективні режими роботи.

**Матеріали та методика досліджень.** На рис. 1 наведено функціональну схему нечіткої системи автоматичного регулювання (САР) швидкості руху аеросуміші в пневмотранспортері, яка за структурою подібна до традиційної схеми керування й відрізняється тільки алгоритмом функціонування регуляторів. Задане значення швидкості $\omega_з$ формується блоком задання 3, на виході елементу порівняння виробляється сигнал розузгодження $\Delta\omega$ – різниця сигналу задання $\omega_з$ і сигналу $\omega$, отриманого від датчика швидкості ДШ. Керуючим впливом є напір $\mathrm{H}$ на виході виконавчого пристрою – вентиляційної установки $\mathrm{BY}$. При моделюванні враховується збурення $\alpha$ – зміна завантаження пневмотранспортерів.

Обчислювальний пристрій $\mathrm{ОП}$, в системі що розглядається, виконує функції попередньої обробки і розраховує необхідні значення вхідних сигналів фазі-регулятора. Сигнали з виходу $\mathrm{ОП}$ надходять до блоку, який реалізує нечітке керування БНК.

Властивості й можливі варіанти побудови систем керування визначаються видами функцій належності та використовуваними вхідними сигналами фазі-регулятора.

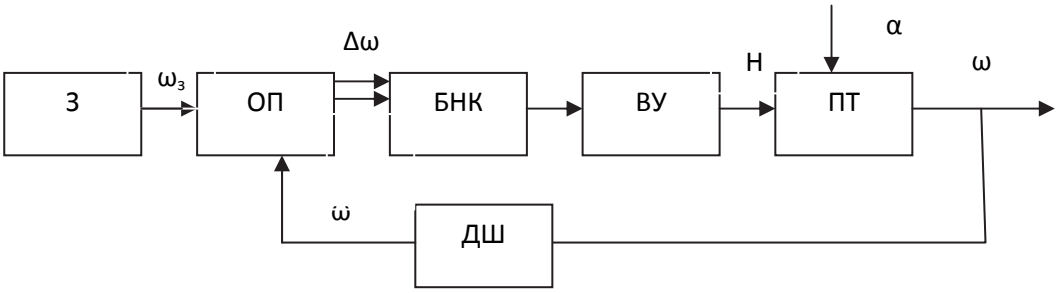



**Рис. 1. Функціональна схема нечіткої системи автоматичного регулювання**

**1. Використовувані вхідні сигнали фазі-регулятора**

| Відхилення швидкості | Відхилення швидкості та похідна відхилення швидкості |
|---|---|
| $\Delta\omega$ | $\Delta\omega, \frac{d\Delta\omega}{dt}$ |

У САР швидкості руху аеросуміші можна використовувати такі вхідні сигнали фазі-регулятора (табл. 1).

Формальне визначення нечіткої множини не накладає ніяких обмежень на вибір конкретної функції належності, тобто такої функції $\mu_A(x)$

(рис. 2) нечіткої множини $A$, яка ставить у відповідність кожному з елементів $x$ дійсне число з інтервалу [0; 1] для його представлення. На практиці зручно використовувати ті з них, які можуть бути аналітично представлені простою математичною функцією. Це спрощує не тільки відповідні числові розрахунки, але й скорочує обчислювальні ресурси регуляторів, необхідні для зберігання окремих значень цих функцій належності. Відповідно, вибір виду функції належності в системі нечіткого керування є важливою задачею проектування фазі-регулятора. Для систем керування технологічними об'єктами [6] найбільш доцільним вважається використання видів функцій, графічне представлення і аналітичний опис яких наведено в табл. 2.

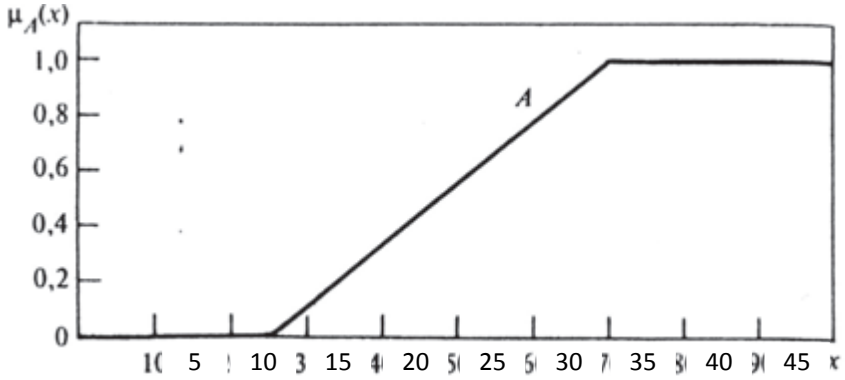
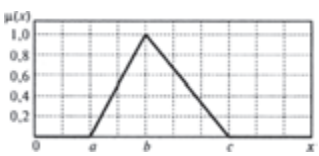



**Рис. 2. Функція належності нечіткої множини $A$**

Основний вибір виду функцій належності та вхідних сигналів для конкретного регулятора температури доцільно провести на основі дослідження якості й точності регулювання.

Система з фазі-логікою є суттєво нелінійною і не може бути досліджена аналітично, тому було використано метод структурного моделювання в програмному пакеті *MatLAb*, додатках *Simulink*, *Fuzzy Logic Toolbox*, необхідних для аналізу і синтезу систем керування, заснованих на нечіткій логіці [3],[4].

## 2. Види функцій належності, які використовуються в САР

| Вид функції | Графічне подання | Аналітична формула |
|---|---|---|
| Трикутна |  | $\mu(x)=\begin{cases}0, x\le a,\\ \dfrac{x-a}{b-a}, a\le x\le b,\\ \dfrac{c-x}{c-b}, b\le x\le c,\\ 0, c\le x\end{cases}$ |

**Результати досліджень.** Ця система електрообладнання буде підтримувати потрібні значення технологічних параметрів (H, Q) для

нормальної роботи пневмомережі з раціональним використанням електроенергії. На рис. 3 і 4. показано зміну швидкості (v) аеросуміші у найбільш завантаженому продуктопроводі та тиску (Н) у колекторі пневмосистеми при пуску пневмотранспорту млина. Після запуску вентиляційної установки й відсутності навантаження розрідження в колекторі пневмосистеми і рух в продуктопроводі сягають, відповідно, 2850 Па і 30.4 м/с.

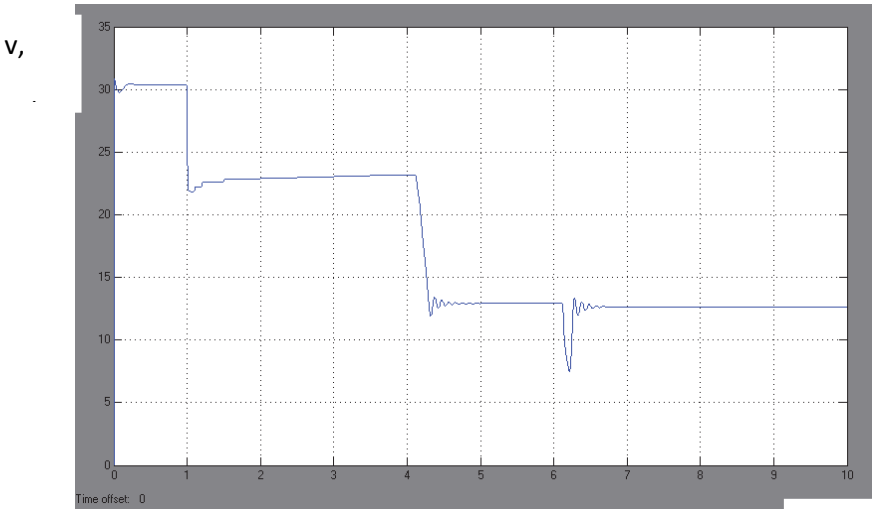



**Рис. 3. Зміна швидкості аеросуміші в часі залежно від режиму роботи пневмосистеми**

Через 1 хв після пуску проходить послідовне завантаження продуктопроводів пневмосистеми. При цьому тиск зростає до 3200 Па, а швидкість зменшується до 23.2 м/с. На 4 хв роботи систему переводять в енергозберігаючий режим, швидкість руху аеросуміші зменшується до 12.6 м/с, а тиск – до 1850 Па.

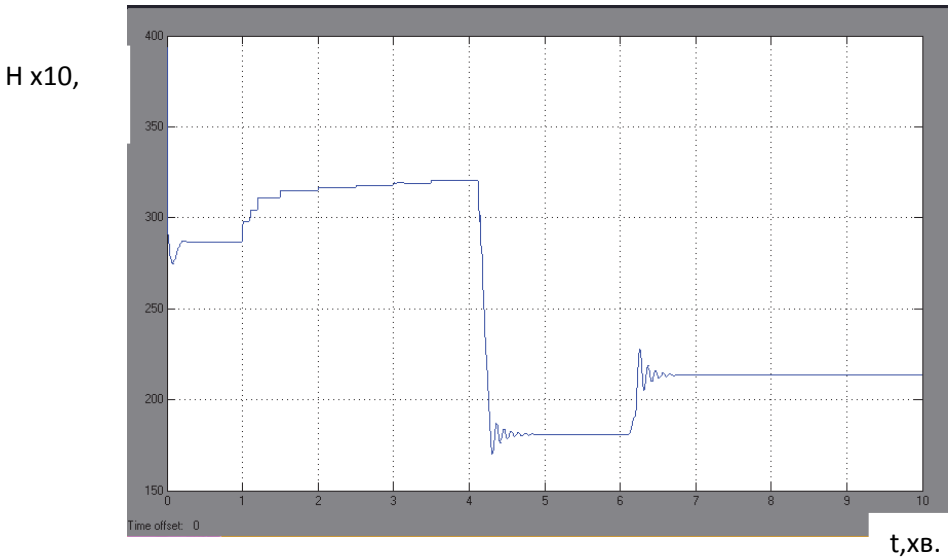



**Рис. 4. Зміна тиску в колекторі залежно від режиму роботи пневмосистеми**

Оскільки потужність, що споживається вентиляційною установкою

$$P = \frac{kQH}{\eta_м}, \qquad (1)$$

де k – постійний коефіцієнт;

$\eta_м = f(Q)$ – ККД вентиляційної установки, то зменшення тиску в 1.73 раза і швидкості руху аеросуміші в 1.84 раза в енергозберігаючому режимі, порівняно з цими параметрами у звичайних ( нерегульованих) режимах роботи приводить до зменшення споживаної потужності у 3.2 раза. Але на 6 хв роботи млина в енергозберігаючому режимі різко зростає навантаження (на 20% номінального), а швидкість в найбільш завантаженому продуктопроводі падає і зростає розрідження в колекторі пневмосистеми (рис. 3 і 4). Якщо не збільшити при цьому швидкість обертання вентиляційної установки, то станеться завал продуктопроводу. Причому реакція системи регулювання на різке зменшення швидкості спрацьовує протягом 0.5–0.7 с. Система регулювання зумовлює збільшення швидкості вентиляційної установки і пневмосистема виходить на новий енергозберігаючий режим (рис 3 і 4). При цьому швидкість аеросуміші знову досягає 12.6 м/с, а розрідження в колекторі – 2100 Па.

## Висновки

Результати проведених досліджень свідчать, що:

- мінімально допустима швидкість аеросуміші в найбільш завантаженому продуктопроводі становить 12 м/с;
- швидкодія системи достатня щоб не виникали завали в пневмотранспортерах у разі різкого збільшення їх завантаження;
- використання фазі-регулятора дозволяє підтримувати мінімально-допустиму швидкість аеросуміші при стохастичному завантаженні пневмотранспортерів, що дає змогу економити електроенергію;

## Список літератури

1. FUZZY-системи – новий технологічний інструмент управління / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, К. О. Липківський, В. В. Кирик // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 3. – С. 17–20.

2. Семенцов Г. Н. Аналіз і вибір форми функцій належності для фазифікації вхідних сигналів систем контролю і управління / Г. Н. Семенцов, О. В. Фадєєва // Вісник Хмельницького національного університету (Вісник Технічного університету Поділля). Технічні науки. – 2006. – № 1. – С. 219–225.

3. Леоненков А. А. Нечеткое моделирование в бреде Matlab и fuzzy Tech / А. А. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.

4. Клендій П. Б. Математична модель процесу пневмотранспортування сипких матеріалів в продуктопроводі / П. Б. Клендій, Г. Я. Клендій, С. В. Гайдукевич // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т. 13, № 1. – С.119–124.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ МЕЛЬНИЦЫ С ФАЗЗИ-УПРАВЛЕНИЕМ

***П. Б. Клендий, Г. Я. Клендий, О. П. Дудар***

**Аннотация.** *В программном пакете Matlab проведено исследование энергосберегающей системы пневмотранспортной установки мельницы Р6-АВМ-15 с фаззи-управлением, где определены энергоэффективные режимы работы пневмосети при треугольной функции принадлежности фазе-регулятора.*

**Ключевые слова:** ***пневмотранспортна установка, фаззи-управление, функция принадлежности, нечеткая система автоматического управления***

# RESEARCH OF ENERGY KEEPING OF PNEUMOTRANSPORT INSTALLATIONS OF MILL WITH FUZZY-CONTROL

***P. Klendiy, G. Klendiy, O. Dudar***

**Annotation.** *In the article in software package Matlab is mode the research of energy keeping system of pneumotransport installation of mill P6-AVM-15 with fuzzy-management where is defined energy efficient modes of work of pneumonet by three-cornered independent function of fuzzy-controller.*

**Key words:** ***pneumotransport installation, fuzzy-management, independent function, vaguely system of automatic management***

УДК 621.383

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ МАТРИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

***В. К. Борисов, кандидат технических наук***
***В. И. Поляков, инженер***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: vforest41@mail.ru***

**Аннотация.** *Разработаны высоковольтные кремниевые матричные солнечные элементы (МСЭ) с эффективностью преобразования 29,26% при 56-кратной концентрации солнечного света. Высокая эффективность преобразования достигнута в результате использования в технологии изготовления МСЭ защитного покрытия из оксида алюминия, получаемого комбинацией методов атомно-слоевого осаждения и осаждения из коллоидно-дисперсного раствора Al2O3 в воде.*

**Ключевые слова:** ***матричный солнечный элемент, концентрация солнечного излучения, пассивирующее и просветляющее покрытия, оксид алюминия, вольт-амперная характеристика, эффективность преобразования***

С целью получения высокого удельного напряжения и мощности необходимо последовательно объединять СЭ с небольшим линейным размером базы, что невозможно для планарных СЭ, освещаемых нормально плоскости *p-n* перехода. При последовательном соединении тонких *p-n*структур (микроэлементов), освещаемых параллельно плоскости *p-n* перехода, фото-эдс микроэлементов суммируется. Конструкция фотоприёмников с вертикально расположенными *p-n*переходами получила название матричные солнечные элементы [1]. Для эффективного разделения фотогенерированных носителей тока на *p-n*переходах необходимо, чтобы диффузионная длина пробега неосновных носителей заряда (ННЗ) в базовой области микроэлементов была меньше толщины базы. Росту плотности напряжения у МСЭ способствует увеличение количества *p-n*-переходов, число которых может достигать 40–50 на 1 линейном см длины МСЭ и, соответственно, удельные генерируемые напряжения более (20–25) В/см$^2$.

В матричных СЭ пропорционально площади микроэлемента снижается фототок преобразователя. С целью увеличения КПД и вырабатываемой мощности, целесообразно использовать высоковольтные МСЭ с концентраторами солнечного излучения (КСИ). При использовании КСИ фототок, а, следовательно, и мощность,

*© В. К. Борисов, В. И. Поляков, 2016*

возрастают пропорционально концентрации СИ. При этом стоимость энергии, вырабатываемой солнечными станциями, построенными на МСЭ, снижается за счёт уменьшения количества используемого кремния, который заменяется более дешевыми зеркальными отражателями концентраторов. Дополнительным преимуществом использования матричных приёмников в солнечных электростанциях над планарными СЭ является возможность преобразования генерированной фото-эдс. Преобразовывать напряжения с плотностью (20–25) В/см$^2$ у МСЭ к сетевому гораздо легче, чем 0,6В, получаемых у планарных СЭ.

Матричные солнечные элементы имеют теоретический КПД порядка 44%. При освещённости большей 100 000 кВт/м2 происходит испарение кремния. Реально использовать МСЭ при концентрациях света, превышающих тысячи крат, затруднительно из-за сложности отвода тепла от фотопреобразователей, в связи с чем КПД МСЭ, работающих в разрешённых пределах освещённости, в настоящее время составляет 20–25%. В работе сотрудников фирмы *Photovolt Inc* (США), являющейся лидером разработок МСЭ за рубежом, сообщается о ~ 20 % эффективности опытного образца МСЭ при 1000-кратном увеличении импульсной солнечной освещённости в условиях АМ 1.5 [2]. Изготовленные в исследовательском центре НАСА *John H. Glenn Research Center (GRC)* на базе разработанной в фирме *Photovolt* Inc технологии матричные фотоэлементы с площадью 0,8 см2 показали эффективность 25% при интенсивности солнечного излучения 700 кВт/м2 .

В работе [3], проведённой в ФГБНУ ВИЭСХ, сообщается об изготовлении опытного образца солнечного концентраторного модуля на базе МСЭ с КПД ~ 25% при более чем на порядок меньшей интенсивности импульсного солнечного излучения – 64,7 кВт/м2 в условиях АМ 1,5. Увеличение КПД матричных преобразователей является наиболее существенным в снижении стоимости электроэнергии, вырабатываемой солнечными станциями.

**Цель исследований** – разработка высоковольтных матричных солнечных элементов с высокой эффективностью.

**Материалы и методика исследований**. МСЭ изготавливались из пластин монокристаллического кремния Ф100 КДБ10 (100). Выбор кремния *p*-типа проводимости предпочтителен, поскольку подвижность ННЗ (электронов) в базе микроэлементов выше, чем у дырок при выборе материала *n*-типа, что гарантирует получение больших значений коэффициента собирания и фототока. Ориентация (100) обеспечивает меньшую величину встроенного заряда на границе раздела $SiO_2$-Si, что весьма существенно при изготовлении МСЭ.

Выбор исходного сопротивления определяется из условий получения минимальных значений обратного тока и высоких величин напряжения холостого хода. В [1] показано, что в случае однородной генерации носителей заряда, g(x) = g, в базовой области МСЭ с уровнем легирования $N_A$ при пренебрежении генерацией в тонких высоколегированных $n^+$- и $p^+$-слоях, полное напряжение холостого хода в

структуре не зависит явно от уровня легирования исходного полупроводника и определяется соответствующей зависимостью времени жизни от концентрации – $\tau(N_A)$:

$$U_{xx} = \frac{2kT}{q} \cdot \ln \frac{g\tau}{n_i}. \qquad (1).$$

Здесь и далее обозначения общепринятые.

С уменьшением исходной концентрации время жизни ННЗ в базе МСЭ растет. Однако при этом из-за расширения области пространственного заряда (ОПЗ) возрастает плотность генерационно-рекомбинационного тока как в объёме , так и в месте выхода ОПЗ микроэлементов на поверхность.

Оптимальным для производства МСЭ является выбор исходного кремния с концентрацией примеси ~ (1–5) $10^{15}$ см ( $\rho_{ср}$~10 Ом·см).

Исходные пластины кремния отмывались, травились до толщины 0,3–0,33 мм, и легировались фосфором и бором для образования основного $п^+$-$p$ и изотипного $p$-$p^+$ переходов. Полученные диски с $п^+$-$p$-$p^+$ структурой металлизировались и собирались в столбики толщиной 10 мм (практически могут быть любые). Столбики резались на полоски по 0,3–0,4 мм, при этом плоскость реза ориентировалась перпендикулярно плоскости пластин. Полученные заготовки размером lx10x(0,3–0,4) мм (l – длина поперечного сечения) разрезались на элементы с нужной длиной МСЭ. Плоскость реза ориентировалась перпендикулярно плоскости сечения и длине микроэлементов. Торцы 10x(0,3–0,4) мм и рабочие стороны полученных матричных структур травились. Рабочие поверхности пассивировались.

В настоящее время технология подготовки поверхности кремниевых СЭ достаточно отработана. Текстурированные поверхности фотоприёмников сначала пассивируются, а затем просветляются. Используются однослойные и многослойные покрытия окислов металлов, нитридов, аморфного кремния и др. Как правило, температура нанесения качественных пассивирующих и просветляющих покрытий превышает 300 °С. В МСЭ защитные покрытия необходимо наносить уже на металлизированные микроэлементы, использующие сплав ПОС-61 с температурой плавления 187 °С.

В работе [5] рассматривалось применение в качестве пассивирующих покрытий МСЭ тонких плёнок, полученных низкотемпературными методами и исследовалась рекомбинационная активность границы раздела и фотоэлектрические характеристики преобразователей. В МСЭ с пассивирующим покрытием оксида алюминия, наносимого методом атомно-слоевого осаждения (АСО) при освещённости 1кВт/м2 достигнута рекордная плотность тока короткого замыкания 50,53 мА/см2, что близко к теоретическому пределу для солнечных элементов из кремния [1].

С ростом на границе раздела защитное покрытие-кремний встроенного заряда со знаком, соответствующим знаку ННЗ, в базе МСЭ

наблюдалось снижение величины скорости поверхностной рекомбинации (СПР) и увеличение фоточувствительности МСЭ. Особенно этот эффект был ярко выражен при наличии плёнки оксида алюминия, наносимой АСО. Способность пленки оксида алюминия, содержащего большую плотность отрицательного заряда, локализованного на границе раздела $Si\text{-}Al_2O_3$, улучшать состояние поверхности кремниевых СЭ основана на комбинации химической пассивации, приводящей к уменьшению дефектов на границе раздела, и полевой пассивации, снижающей СПР фотогенерированных ННЗ.

Однако, использование АСО при нанесении оксида алюминия не всегда гарантирует получение высоких параметров. При изготовлении МСЭ по технологии, применённой в работах [3, 4] с использованием в качестве пассивирующего и просветляющего покрытия комбинации плёнок оксида алюминия, полученного методом АСО, и химически нанесённого хлорида алюминия лишь ~ у 3% образцов эффективность преобразования при засветках 1кВт/м$^2$ достигала 18%, в то время как у большинства матричных приёмников КПД был существенно ниже – 13–16 % и только у единичных образцов модулей на базе МСЭ при концентрированном импульсном излучении с плотностью потока 50–500 кВт/м$^2$ КПД поднимался до 25 % .

Нестабильность фотоэлектрических параметров МСЭ с пассивирующими слоями оксида алюминия, по всей вероятности, связана с отсутствием на границе раздела Al2O3-Si качественного слоя оксида кремния, играющего ключевую роль в формировании связанного отрицательного заряда [6]. После химического травления свободные связи кремния насыщаются группами ОН-, присутствующими в деионизованной воде и кислородом воздуха, образуя ~ 30 ангстремный слой неравновесного «грязного» окисла. Нанесение на такую поверхность методом АСО плёнки оксида алюминия сводит на нет эффект химической и полевой пассивации и приводит к нестабильности параметров и снижению КПД преобразователя.

**Результаты исследований.** С целью стабилизации поверхности кремния, перед началом процесса АСО оксида алюминия, получаемого при взаимодействии газообразного триметилалюминия и паров воды, кремниевая пластина подвергалась термической обработке в атмосфере кислорода при температуре 180 °С в течение 60 секунд. Нанесение покрытий оксида алюминия производилось в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша». Возможности используемой установки позволяли вырастить плёнку $A1_2O_3$ толщиной всего 10–15 нм. С целью получения оптимальных толщин покрытия, соответствующих правилу четвертьволнового просветления на длине волны 600 нм (для оксида алюминия первый порядок просветления соответствует толщинам ~85–90 нм), производилось дополнительное нанесение оксида алюминия. Использовался коллоидально-дисперсный раствор нанопорошка $A1_2O_3$ с размером частиц ~ 15–20 нм в воде (производство фирмы *Alfa Aesar Company A Johnson Matthe*). Осаждение осуществлялось на

ультразвуковой установке Кристалл-2,5. После нанесения и сушки на воздухе МСЭ и контрольные пластины отжигались в термостате в атмосфере азота сначала при температуре 130 °С в течение 1 часа, а затем при температуре 70 °С в течение 6 часов.

Комбинированный режим нанесения оксида алюминия позволил стабильно получать покрытия со следующими параметрами: толщина покрытия 85–90 мкм, показатель преломления 1,65–1,70 , поверхностный заряд и скорость поверхностной рекомбинации соответственно – -(0,8-1,0)х$10^{13}$ кул/$см^2$ и 100–120 см/с. Параметры плёнок и границы раздела полупроводник-диэлектрик определялись в ОАО НПО «Орион» на контрольных пластинах кремния КДБ 10 (100). Измерения толщины покрытия осуществлялось на эллипсометре ЛЭФ-3М на длине волны 0,63 мкм, Поверхностный заряд измерялся методом вольт-фарадных характеристик на частоте 1 МГц, скорость поверхностной рекомбинации определялась посредством измерения времени релаксации ёмкости МДП-структур.

На рис. 1 представлена типичная спектральная характеристика токовой чувствительности МСЭ с комбинированным покрытием из оксида алюминия (1), снятая в НПО «Квант». Здесь же приведены характеристики МСЭ с пассивирующим покрытием из оксида тантала ($Ta_2O_5$) толщиной 85 нм (2), изготовленного в соответствии с технологией [5], и матричного элемента с комбинированным покрытием из оксида алюминия толщиной 15 нм, полученного методом АСО, и хлорида алюминия толщиной 65 нм, нанесённого химическим методом (3) [4]. Контроль спектральной зависимости токовой чувствительности МСЭ (2 и 3) осуществлялся на спектральной измерительной установке ЛУИ-1 на заводе «Сапфир». В качестве источника излучения использовалась вольфрамовая лампа с температурой 2850 К и монохроматор МДР3. Однородно засвечивалась вся площадка приёмника, частота модуляции излучения составляла 800 Гц, в качестве контрольного образца использовался калиброванный кремниевый фотодиод.

Как видно из рис. 1, МСЭ с комбинированным покрытием из оксида алюминия (1) обладают очень высокой чувствительностью в области спектра 0,4–0,5 мкм, с квантовым выходом фотоэффекта превышающим 1.

Возможными причинами высокого квантового выхода может быть большая энергия квантов солнечного излучения с длиной волны 0,3–0,5 мкм, в 2–4 раза превышающая ширину запрещенной зоны кремния [1], либо эффект Комптона в плёнке оксида алюминия, сдвигающий коротковолновый спектр солнечного излучения в область длин волн 0,4–0,5 мкм [7]. У матричных СЭ, использующих в качестве пассивирующего и просветляющего покрытий комбинацию плёнок оксида и хлорида кремния, а также у МСЭ с оксидом тантала, такого эффекта не наблюдалось.

Помимо увеличения квантового выхода, повышенная чувствительность в коротковолновой области спектра у МСЭ с покрытием из комбинированного оксида алюминия связана с малыми потерями СИ на отражение. На рис. 2 представлены спектры отражения

приёмной поверхности различных СЭ, снятые на спектрофотометре *Specord 205*. Во всём диапазоне длин волн величина коэффициента отражения МСЭ с покрытием из комбинированного оксида алюминия (кривая 1) не превышала 3,5%, а в коротковолновой области спектра была значительно меньше, чем у МСЭ с покрытием из хлорида алюминия (3) [4] и планарного СЭ фирмы *Sun Power* с КПД, превышающим 20% [8].

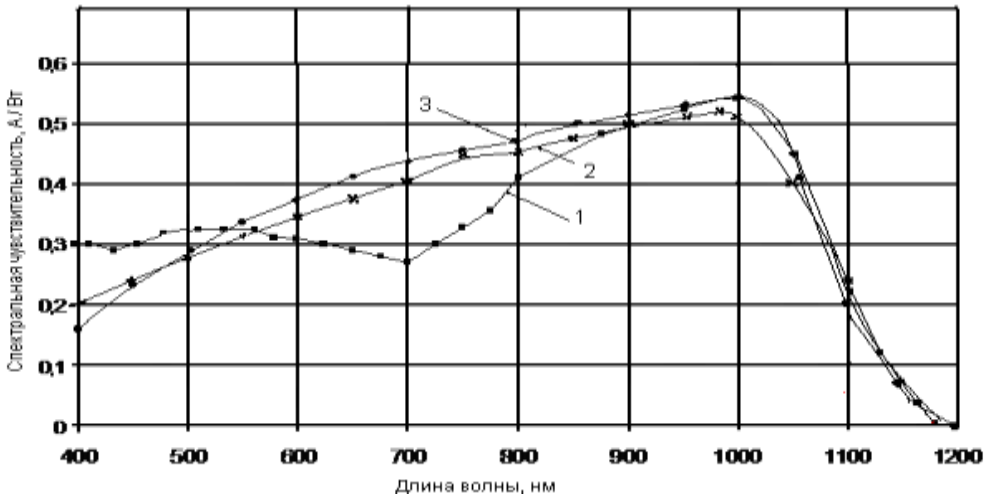



**Рис. 1. Спектральная зависимость токовой чувствительности МСЭ**

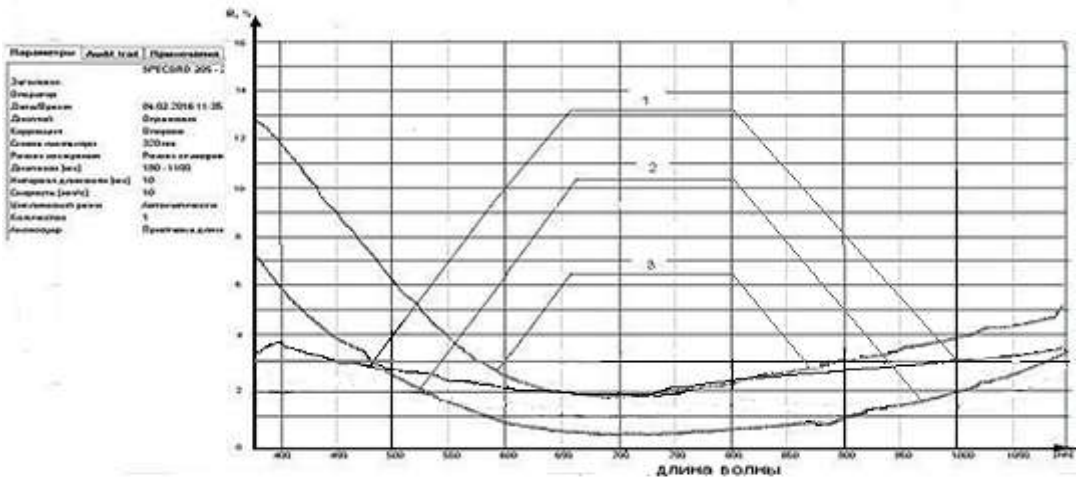
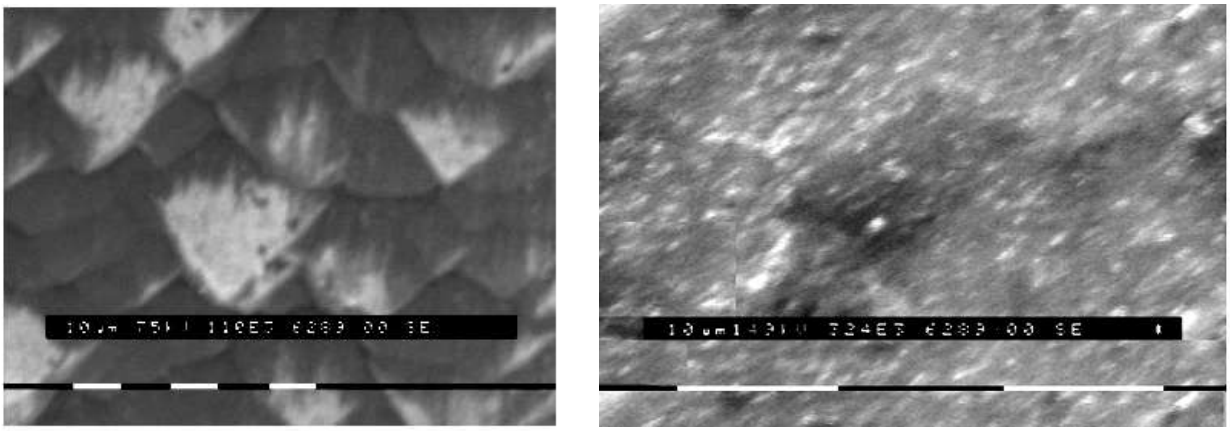



**Рис. 2. Спектры отражения СЭ:** 1 – МСЭ с покрытием из комбинированного оксида алюминия; 2 – СЭ фирмы *Sun Power*; 3 – МСЭ с покрытием из хлорида алюминия

На рис. 3 представлена фотография светоприёмной поверхности разработанных МСЭ с покрытием из оксида алюминия, снятая на сканирующем электронном микроскопе SEM-515 фирмы Филипс. Тестурирование поверхности и наличие двухслойного покрытия нанослоями оксида алюминия с суммарной толщиной, соответствующей первому порядку четвертьволнового просветления, способствовали малой величине коэффициента отражения, а с учётом полевой и химической пассивации поверхности обуславливали высокую чувствительность во всём диапазоне солнечного спектра.



**а** **б**

**Рис. 3. Активная поверхность МСЭ с комбинированным покрытием из оксида алюминия:** (а) – до нанесения, (б) – после нанесения

Чтобы защитить МСЭ с нанесённым оксидом алюминия от атмосферных воздействий, фотоэлементы помещались в стеклопакет, который заполнялся полисилоксановым гелем и герметизировался. В ФГБНУ ВИЭСХ, в качестве материала-заполнителя, разработана оптимальная рецептура низкомодульного полисилоксанового геля. Применение пленочного материала на основе полисилоксанового геля позволяет увеличить срок эффективной эксплуатации модулей в 1,5–2 раза [1]. В созданных на базе МСЭ с комбинированным покрытием оксида алюминия модулях за счёт просветляющего эффекта наполнителя (коэффициент преломления поликсилоксанового геля ~1,5) токовая чувствительность возрастала ~ на 5 % .

Вольт-амперные характеристики разработанных МСЭ и модулей на их основе измерялись при освещении 1 кВт/м2 в атмосферных условиях АМ1,5, а также при концентрированном освещении на импульсном имитаторе. В качестве осветителя использовалась ксеноновая лампа-вспышка, спектр излучения которой близок к спектру излучения солнца. Длительность вспышки составляла около 5 мс. Переменная электронная нагрузка обеспечивала измерение вольт-амперной характеристики за время от 2 до 5 мс. При этом снималось от 6 до 16 тысяч пар значений ток-напряжение, при одновременной регистрации интенсивности излучения. Измерения проводились с помощью запоминающего осциллографа ОЦЗС-02-6, и затем обрабатывались с помощью разработанной для него программы ВАХ.

На рис. 4 представлена вольт-амперная характеристика опытного образца модуля на базе МСЭ с КПД 29,26%. Матричный фотоприёмник с покрытием из комбинированного оксида алюминия имел размер 10×10×0,3 мм и содержал 33 последовательно соединённых n+ - p – p+ структуры. При интенсивности импульсного излучения 56,4 кВт/м2 рабочее напряжение МСЭ составило 18,34 В, рабочий ток – 89,99 мА, фото-э.д.с. – 22,07 В, электрическая мощность – 1,65 Вт.

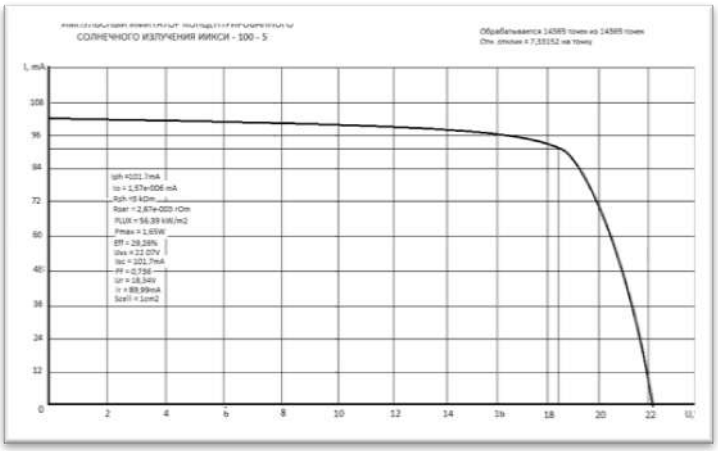


**Рис. 4. Вольт-амперная характеристика модуля на базе МСЭ с КПД 29,26 %**

Столь высокие значения фотоэлектрических параметров, превосходящие показатели зарубежных аналогов, свойственны лишь единичным матричным фотоприёмникам. Как правило, значения эффективности преобразования разработанных МСЭ с покрытием из комбинированного оксида алюминия, в диапазоне засветок 50–500 кВт/м$^{2,}$ лежат в пределах 23–26 %, что соответствует мировому уровню.

## Выводы

Таким образом, в результате проведённой работы разработана технология изготовления высоковольтных МСЭ и концентраторных солнечных модулей на их основе с эффективностью преобразования 23–26 %, При 56-кратной концентрации солнечного света КПД матричного преобразователя составил 29,26 %. Разработанная технология включает процесс нанесения пассивирующего и просветляющего покрытия из оксида алюминия, получаемого комбинацией методов атомно-слоевого осаждения и осаждения из коллоидно-дисперсного раствора $Al_2O_3$ в воде.

## Список литературы


1. Стребков Д. С. Матричные солнечные элементы. Т. 1, 2, 3 / Д. С. Стребков. – М. : ГНУ ВИЭСХ , 2009. – 2010.

2. Demand L. Sater, Neii D. Sater. High Voltage Silicon VMJ Solar Cells for up to 1000 Suns Intensivities. Photovolt Inc.21282 Woodview Circle Strongsville, OH 44149.

3. Высоковольтные солнечные модули третьего поколения / Д. С. Стребков, В. И. Поляков, Ю. Д. Арбузов, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – Вып. 3 (8). – С.161–166.

4. Борисов В. К. Новые методы пассивации матричных солнечных элементов / В. К. Борисов, В. И. Поляков // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 3 (20) . – С. 68–72.

5. Стребков Д. С. Влияние наноразмерных покрытий на параметры матричных солнечных элементов / Д. С. Стребков, В. К. Борисов, В. И. Поляков // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 3 (16) . – С. 23–27.

6. A. R. Chowdhuri, C. G. Takoudis, R. F. Klie, N. D. Browning // Appl. Phys. Lett., 80, 4241 (2002).

7. Особенности люминисцентных свойств наноструктурного оксида алюминия / Карпов В. С., Ермаков А. Е., Зацепин А. Ф. и др. // Физика и техника полупроводников. – 2008. – Вып. 5. – С. 916–920.

8. J. Jurgens, P. Aschenbrenner, V. Desai and C. Erban. Back contact solar cells in BIPV applications – a new dimension of architectural PV design // Presentedat 20thEUPVSEC, 6–10 June 2005, Barcelona, Spain. – P.1–3.

## РОЗРОБКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ МАТРИЧНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИСОКОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ

***В. К. Борисов, В. І. Поляков***

**Анотація.** *Розроблено високовольтні кремнієві матричні сонячні елементи (МСЕ) з ефективністю перетворення 29,26 % при 56-кратній концентрації сонячного світла. Висока ефективність перетворення досягнута в результаті використання в технології виготовлення МСЕ захисного покриття з оксиду алюмінію, одержуваного комбінацією методів атомно-шарового осадження та осадження з колоїдно-дисперсного розчину Al2O3 у воді.*

**Ключові слова:** ***матричний сонячний елемент, концентрація сонячного випромінювання, пасивувальне та просвітлювальне покриття, оксид алюмінію, вольт-амперна характеристика, ефективність перетворення***

## DEVELOPMENT OF HIGH VOLTAGE MATRIX SOLAR CELLS WITH HIGH EFFICIENCY

***V. Borisov, V. Polyakov***

**Annotation.** *Reported the development of high voltage silicon matrix of the solar cell (ITU) with a conversion efficiency of 29.26%, with 56-fold concentration of sunlight. High conversion efficiency is achieved as a result of use in the technology of ITU protective coating of aluminum oxide obtained by a combination of atomic layer deposition and deposition from colloid - disperse solution of Al2O3 in water.*

**Key words:** ***matrix solar cell, concentrating solar radiation, passivation and antireflection coating, aluminum oxide, current-voltage characteristic, conversion efficiency***

УДК 631.81: 66.021.2.081.3: 502.36

# THE SYNTHESIS OF PROLONGED FERTILIZERS BY MEANS OF ADSORPTION OF NUTRITION AND TRACE ELEMENTS BY NATURAL SORBENTS FROM INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL WASTES

***Myroslav Malovanyi, Doctor of Technical Sciences***
***National University "Lviv Polytechnics" (Lviv)***
***Orest Zakhariv, Doctor of Agricultural Sciences***
***Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"(Berezhany)***
***Mariya Kanda, Engineer***
***Andryi Bratashchuk, Postgraduate Student***
***Halyna Sakalova, Candidate of Technical Sciences, Postdoctoral Student***
***Zoriana Odnorih, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,***
***National University "Lviv Polytechnics" (Lviv)***
***Natalia Chornomaz, Candidate of Technical Sciences***
***Ivan Puluj National Technical University (Ternopil)***
***e-mail: orest.zakhariv@gmail.com***

**Annotation.** *Are investigated the optimal conditions for absorption of ammonia from airborne gas flow ventilation of chicken excrements with the usage of mixture of natural sorbents. The resulting product can be used in the future as organic fertilizers of prolonged action. Are studied the optimal conditions of adsorption of zinc ions from industrial wastes by bentonite, using the resulting product as a carrier of trace elements in fertilizers.*

**Key words:** ***ammonia, chicken excrements, natural sorbents, zinc ions, fertilizers of prolonged action***

Utilization of industrial and agricultural wastes, which often contain compounds of ammonium, phosphorus, potassium, calcium, sulfur, heavy metals requires the use of sophisticated technologies, searching the ways of recycling of concentrated and localized compounds of these pollutions, and therefore additional investments. However, these compounds could be used in the case of selective extraction of contaminated liquid or solid wastes as nutrition or trace elements in agroengineering, providing by this the increase in crop yields and the improvement in crop quality. Such possibility of extraction of separate nutrition or trace elements appears in the case of usage of natural sorbents in waste treatment technologies that are inexpensive, effective adsorbents. This helps to prevent the compounds pollution of the environment and at the same time to get a product that can be effectively used in agricultural technologies.

*© M. Malovanyi, O. Zakhariv, M. Kanda, A. Bratashchuk, H. Sakalova, Z. Odnorih, N. Chornomaz, 2016*

The most common contaminants of agricultural wastes are ammonium compounds, which are accompanying the vital activity of livestock and poultry. Their usage in concentrated form in agricultural technologies is related with the risk of overdose and creating of negative impact on the vital activity of agricultural plants. Adsorption on the sorbents allows getting the effective prolonged fertilizers, applying of sorbents in soil can at the same time improve their structure and adsorption capacity.

In accordance with the existing technology, the poultry which is used for meat production is held in constant litter with the thickness of 3–10 cm. According to regulations [1, 2] the need in litter for chicken broilers is 1,5kh/ poultry unit. For bedding is typically used cereals straw (rye, wheat, barley), husk and crushed sunflower stalks, peat (or peat crumb), more rarely - wood shavings and sawdust with the addition of lime. The studies concerning the way to reduce the gas concentration in poultry house room are conducting. In [3–9] is provided an analysis of existing methods for treatment of bedding materials (chemical, physical- chemical, biological) that are carried out to reduce their contamination with pathogens, emission of harmful gases and deodorization of odors in the room. In [10, 11] is proposed to use as bedding material the mixture of clinoptilolite tuff (30% – 60%) and montmorillonite (5% – 60%) or the mixture of clinoptilolite tuff (30% – 60%) and montmorillonite (5% – 60%) of the total mass of tuff and bentonite clay (10% to 50%) of the total weight of the mixture. The disadvantage of this method is a relatively high cost of natural dispersed sorbents and the creation of uncomfortable living conditions for the chicks. We propose to grow up chickens on the "classic litter", which consists of chicken excrements, chopped wheat straw and grounded CaO. Due to the shredding of straw with 20cm in length to the size of 2.5–5 cm, the moisture-absorbing capacity increases in 1,5–5 times [3].

One of the important trace elements, necessary for the ensuring of vital activity of plants is zinc. This element has a great influence on the oxidizing-renewable processes, the speed of which is perceptibly reduced with its shortage: a violation of hydrocarbon conversion processes takes a place. It was established that with the shortage of zinc in the leaves and roots of tomato, citrus and other crops, are accumulating phenolic compounds, phytosterols or lecithins, and is reduced the starch content. It was found out that large doses of phosphorus and nitrogen reinforce the signs of deficiency of zinc in plants and that the zinc fertilizer is particularly necessary when applying high doses of phosphorus and nitrogen. Zinc affects the synthesis of sucrose, starch, total content of carbohydrates and proteins. The application of zinc fertilizer increases the amount of ascorbic acid, dry matter and chlorophyll. Zinc can be applied as adsorbed on natural sorbents from liquid industrial wastes ions.

**The aim of the research.** The aim of research was to establish the optimal conditions of adsorption of ammonium compounds and zinc ions in natural sorbents to obtain effective prolonged fertilizers.

**Material and methods of research.** For obtaining prolonged ammonium fertilizer we used a mixture of poultry litter, which consisted of chicken

excrements, chopped wheat straw and grounded CaO. As adsorbents were used clinoptilolite from Sokyrnytskyi deposit and palygorskite from Cherkassy deposit. For experiments were prepared samples of sorbents with dispersion composition that correspond to that recommended for practical application in crop and animal production: 0.5–1.0 mm. Sorbents were dried in advance at the temperature 105°C for 1 hour, that contributed to physical removal of water and increased porosity. The scheme of experimental laboratory plant, on which the study was conducted, is shown in Figure 1. It consists of the reaction flask (2), to which is joined the air pump Atinan At-A850 (1) and Drexel cup (3). In the reaction flask with holding capacity of 50 $dm^3$ was placed a mixture of excrements (4) with sorbents (5) in a certain proportion and 1 mL of NH4OH (25%). Model mixtures were kept for 1 hour. Previous studies have found that the time period of 30 minutes is sufficient to establish the equilibrium concentration of ammonia in sorbent and the air space bulb.

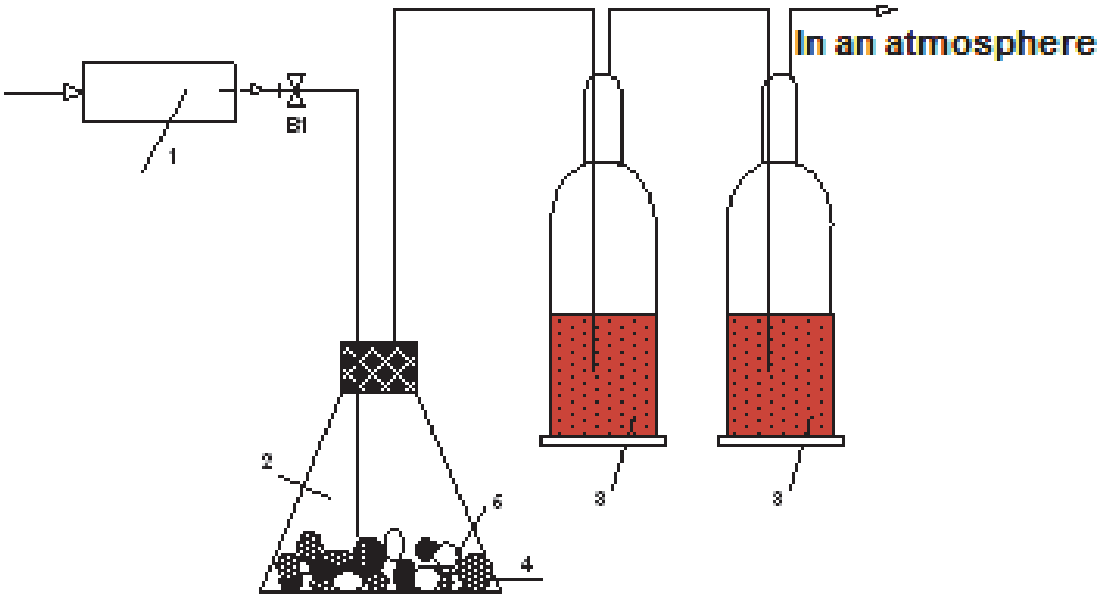



**Fig. 1. The scheme of laboratory plant**

In Drexel glass was poured 150 ml of distilled water, 10 ml of H2SO4 (0.5m), 6 drops of methyl red. After setting up the mode of installation of plant the absorption of equilibrium residual concentration of ammonia from ammonia-air mixture by the reaction solution has happened. At the regular intervals (5, 10, 15, 30, 60, 120, 180hv) Drexel glass was changed into another; the selected sample was titrated by NaOH (1N). The mass of ammonia absorbed by sorbent was calculated on the basis of research results.

During the research we have determined the optimal ratio required for the receiving of necessary properties of both sorbents. For this batches were prepared in mass proportions 0:10 g of clinoptilolite; 0:10 g of palygorskite; 1.5: 8.5; 3: 7; 5: 5; 7: 3; 8.5: 1.5 g of sorbents. The research was conducted by the method described above and isothermal conditions (T = 20°C). Constant temperature conditions of the process were supported via thermostat.

The research of zinc sorption in natural sorbents was carried out in thermostatic apparatus with stirrer in periodic and continuous mode of its rotation. As sorbent was used bentonite of second productive layer from Dashukivskiy career of Cherkasy region, at the dosage of sorbent 5 ÷ 20 g/ $dm^3$. The mineral composition of bentonite is the following: the second horizon is represented mainly by montmorillonite (70-95%) and impurities of fine calcite and quartz. The research methodology of adsorption of zinc ions from industrial wastes lies in the following: constant operating temperature 20 °C was achieved in the thermostat and was subsequently maintained. In the flask, placed in a thermostat, a batch of bentonite was carried in, and then was poured in the prepared solution with a given concentration of zinc ions. Thereafter the stirrer was turned on, the shaft of which rotated with a fixed frequency that was determined via the regulator. After some time the hashing process was stopped, samples were filtered out using the filter paper "blue ribbon", the filtrate was analyzed for the contents of zinc ions by standard methods.

**Results of the research.** The results of studies concerning the determination of optimum ratio for receiving the complex of required properties of both sorbents are presented in Fig. 2. The analysis of the research indicates that the composition in ratio 1:1 (5g of clinoptilolite: 5g of palygorskite) demonstrated the highest capacity.

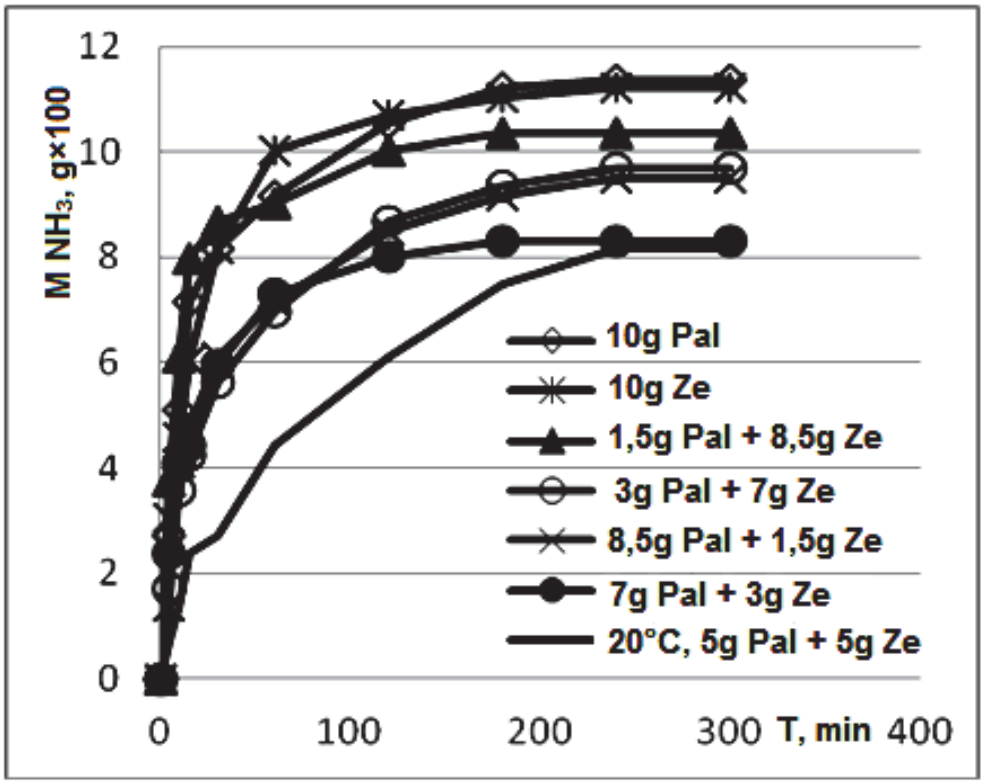



**Fig. 2. The efficiency of absorption of ammonia from airborne gas flow by mineral sorbents with different ratios of components**

The adsorption process involves three stages: the diffusion of molecules of sorbed substance from flow to the outer surface of the sorbent grains-external diffusion; the diffusion of molecules of sorbed substance inside the grains of absorber-internal diffusion; the retention of absorbed molecules in the field of adsorption forces. These good results can be explained by "double" ion-exchange adsorption. For palygorskite the existence of ion exchange on the ends and edges of the crystals (on the surface of the mineral) is typical. Free internally crystalline volume of clinoptilolite is 0.34 of the total volume of the macroporous sorbent with a relatively low specific surface.

Kinetics of adsorption of zinc ions from the liquid industry wastes is presented in Fig. 3. The concentration of the original solution was 500 mg/ L, the amount of sorbent dosage was 5 g. The operating temperature of the experiment was 20 °C; the adsorption process duration varied from 1 hour to 12 hours. Sampling and analysis of samples was carried out hourly.

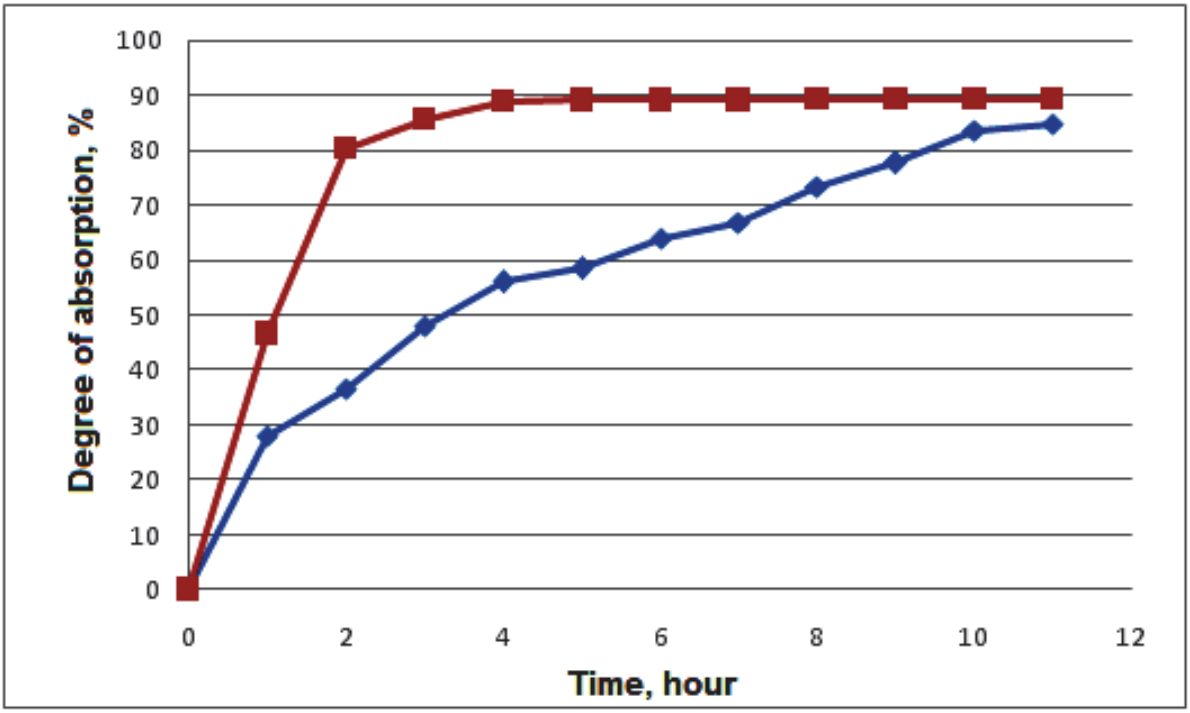



**Fig. 3. Kinetics of zinc ions (II) adsorption in the time interval 0-12 hours under mixing conditions: —■— periodic; —♦— constant.**

Generally, the results of the conducted experiments showed that the maximum zinc ions absorption occurs within 24 hours under periodic mixing conditions; and the value of residual concentrations practically doesn't change after 6 hours of mixing under constant mixing conditions. Maximum absorption occurs within 0.5–7 hours; but when the concentration of zinc ions in the flows is less than 500 mg / l, the adsorption process is more steady over time. In the case of increasing of zinc ions concentration, the adsorption efficiency is reduced because there is saturation (filling) of the mineral surface by adsorbate that confirms superficial character of sorption.

The next stage of the study was to establish the amount (dose) effect of adsorbent on a depth of sorption flow. As it is shown from Fig. 4 and exponential relationships, adsorption efficiency increases when the dose of adsorbent also increases, due to an increase in the surface, where the sorption is.

It is necessary to note the functional backlog of specific adsorption growth from the adsorbent weight increasing, indicating, mostly the superficial sorption. Such parameter as adsorbent dose can not be universally measured by these dependencies. When taking into account the quality of the waste water composition, the initial and desired final concentration of pollutants in the aqueous phase, the amount of bentonite spent for cleaning, it can be varied, but the reasonable rate is 5...12.5 g / dm3 at metal ions concentration 500 mg / dm3, and the increasing of the dose over a specified value is ineffective. [12]

To install the technologically rational values of such parameter as dose powdered sorbent, we united the dependence of specific absorption and cleaning efficiency on the amount of adsorbent. The intersection of these curves will give a rational value of dosage sorbent amount. As it is shown in Fig. 5, a reasonable dose is 5–8 g of sorbent per 1 $dm^3$ of flows (under condition that the initial concentration of pollutants does not exceed 1000 mg / dm3). At higher zinc ions concentrations, it is appropriate to increase the sorbent dosage to 10 g.

**Conclusions.** The conducted studies suggest the prospects of applying a clinoptilolite mixture of Sokyrnytsky deposits and palygorskite of Dashukivsky deposit for absorption of ammonia from air and gas flow ventilation of chicken manure with the following usage as organic fertilizers of prolonged action. This will reduce the ecological danger of environmental pollution by ammonia nitrogen, utilize the poultry litter, reduce nitrogen losses during storage and increase soil fertility.

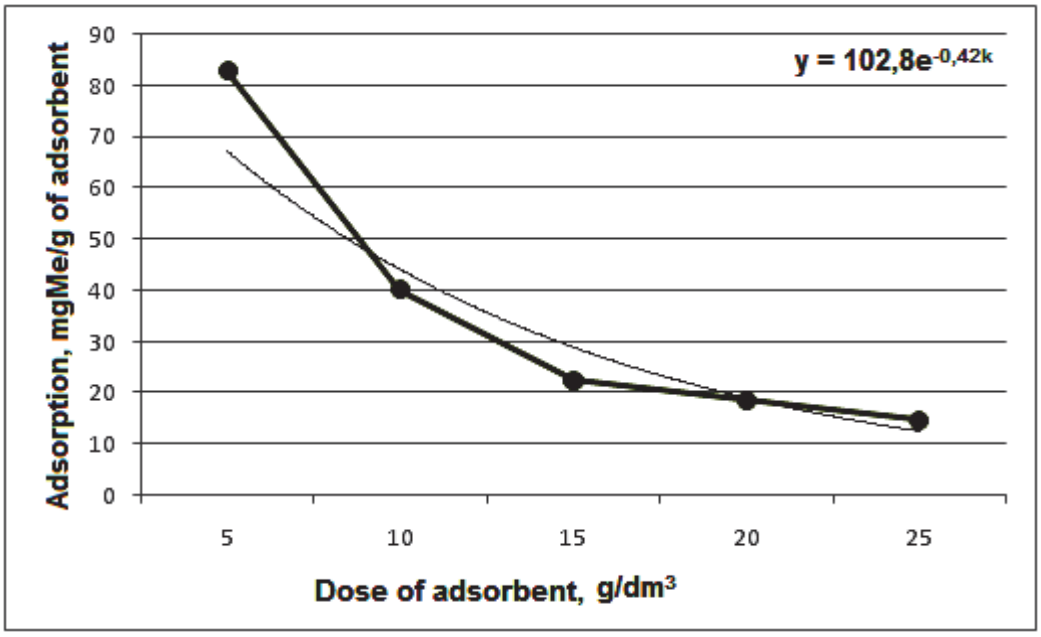



**Fig. 4. Dependence of specific adsorption of zinc ions from the sorbent dose**

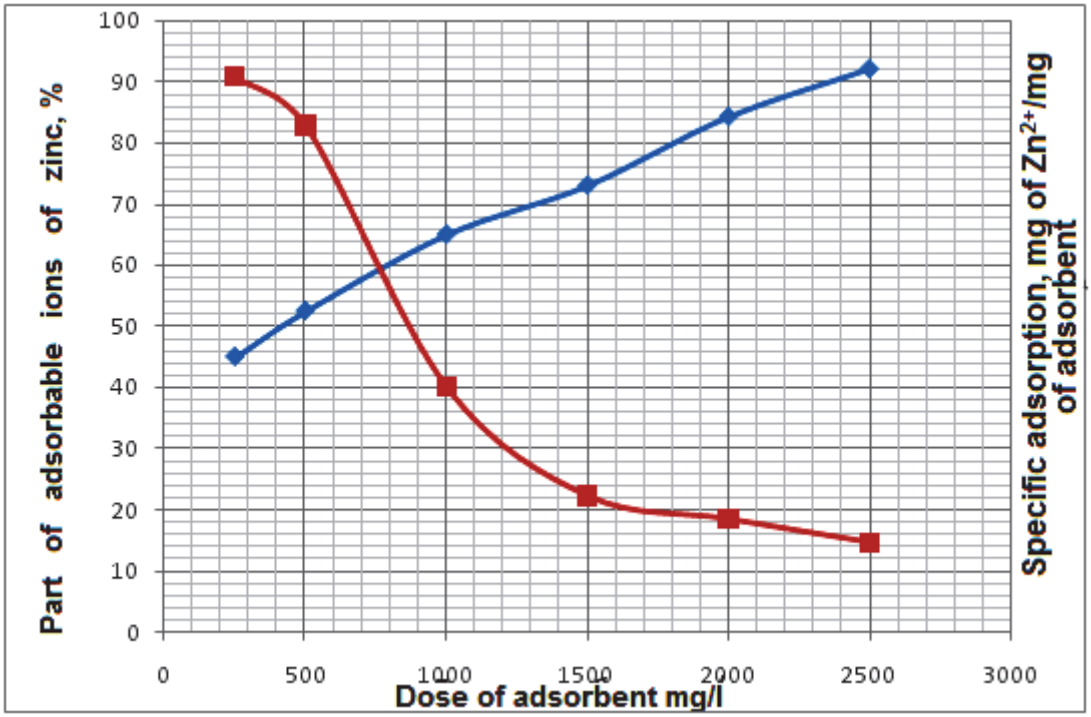



**Fig. 5. Rational adsorbent dose for the zinc ions absorption from an aqueous environment (- ■ - specific adsorption; - ♦ - adsorption efficiency)**

It is experimentally proved that the maximum zinc ions absorption occurs within 30 minutes and practically full after 24 hours. The degree of wastewater contaminants at different concentrations and dosage amounts of the sorbent were determined. The rational dose is 5-8 g of bentonite per 1 $dm^3$ of waste (under condition that the initial concentration of pollutants does not exceed 1000 mg / dm3). The resulting adsorbent with adsorbed zinc ions can be used as a carrier of microelements in fertilizers.

## References

1. Ветеринарно-санітарні правила для птахівницьких господарств та вимоги до їх проектування : затв. Наказом Головного державного інспектора ветеринарної медицини України № 53 від 23.07.2001 р., зареєстр. Мінюстом України за № 565/5756 від 05.07.2001.

2. Підприємства птахівництва: відомчі норми технологічного проектування ВНТП-АПК-04.05- К. : Мінагрополітики України, 2005. – 92 с.

3. Мельник О. В. Способи обробки підстилки пташників // Державна дослідна станція птахівництва НААНУ, www.avianua.com

4. Патент RU 2015950, МПК C05F3/00, 15.07.1994 «Технологическая линия для обработки куриного помета».

5. Патент RU 2116714, МПК C05F3/00, 10.08.1998 «Линия для получения гранулированного удобрения из птичьего помета».

6. Патент UA 9591 A, МПК C05F3/00, Бюл. 3/1996 «Спосіб одержання органо-мінерального добрива».

7. Патент UA 4444 U, МПК C05F3/00, бюл. 1/2005 «Лінія переробки курячого посліду в гранульовані органо-мінеральні добрива».

8. Патент UA 81997 U, МПК C05F3/00, Бюл. 1/2013 «Спосіб переробки нативного курячого посліду».
9. Патент UA 90800 U, B01D 53/86, Бюл. № 11, (2006.01) «Спосіб дезінфекції та дезодорації приміщень свинарника».
10. Патент UA 49332 U, МПК A01K 1/015, Бюл. 8/2010 «Підстилковий матеріал для збирання рідких та твердих екскрементів свійських тварин».
11. Патент UA 49333 U, МПК A01K 1/015, Бюл. 8/2010 «Комплексний підстилковий матеріал для збирання рідких та твердих екскрементів свійських тварин».
12. А. с.1583389 СССР, С 04 В 33/04. Способ обогащения глинистого сырья / Шимчук Т. В., Крип И. М., Чубатюк Н. В. (СССР). – № 38254890/12; заявл. 12.03.88; опубл. 08.04.90, Бюл. № 29.

## СИНТЕЗ ПРОЛОНГОВАНИХ ДОБРИВ ШЛЯХОМ АДСОРБЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ТА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ З ПРОМИСЛОВИХ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ

***М. Мальований, О. Захарів, М. Канда, А. Братащук, Г. Сакалова, З. Одноріг, Н. Чорномаз***

**Анотація.** *Досліджено оптимальні умови поглинання аміаку з повітряно-газового потоку вентилювання курячого посліду з використанням суміші природних сорбентів. Отриманий продукт може використовуватися в подальшому як органо-мінеральне добриво пролонгованої дії. Досліджено оптимальні умови адсорбції іонів цинку з промислових відходів бентонітом із використанням отриманого продукту як носія мікроелементів у мінеральних добривах.*

**Ключові слова:** ***аміак, курячий послід, природні сорбенти, іони цинку, добрива пролонгованої дії***

## СИНТЕЗ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ ПУТЕМ АДСОРБЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИРОДНЫМ СОРБЕНТОМ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

***М. Мальованный, О. Захарив, М. Канда, А. Братащук, Г. Сакалова, З. Одноріг, Н. Чорномаз***

**Аннотация.** *Исследованы оптимальные условия поглощения аммиака с воздушно-газового потока вентилирования куриного помета с использованием смеси природных сорбентов. Полученный продукт может использоваться в дальнейшем как органо-минеральное удобрение пролонгированного действия. Исследованы оптимальные условия адсорбции ионов цинка из промышленных отходов бентонитом с использованием полученного продукта как носителя микроэлементов в минеральных удобрениях.*

**Ключевые слова:** ***аммиак, куриный помет, естественные сорбенты, ионы цинка, удобрения пролонгированного действия***

УДК 632.935.4:621.396.652

# НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА АКТИВАЦІЯ НАСІННЯ

***Л. Є. Никифорова, доктор технічних наук***
***С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова, старші викладачі***
***Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України "Бережанський агротехнічний інститут"***
***e-mail: profnikiforova@gmail.com***

**Анотація.** *Досліджено вплив електромагнітного випромінювання на насіння тепличних культур та визначено технологічні параметри низькоенергетичної електромагнітної технології їх активації. Теоретично обґрунтовано механізм інформаційно-резонансної взаємодії низькоенергетичного електромагнітного випромінювання зі структурами рослинної клітини, які відображують інтегральні характеристики та динаміку процесів перетворення поглинутої енергії в окремій насінині.*

**Ключові слова:** ***низькоенергетичні електромагнітні технології, інформаційно-резонансний вплив, ефективність опромінення, математичні моделі, біотропні параметри, насіння, тепличні культури***

У вирішенні продовольчої проблеми України значну роль відіграє виробництво овочевої продукції протягом усього року, що можливо лише при використанні технологій захищеного ґрунту.

Середня врожайність огірків та томатів в Україні (найбільш розповсюджених овочів у теплицях) становить 8,5–9,0 кг/м$^2$, тоді як їх потенційна врожайність може досягти 30–35 кг/м$^2$. Однак, реалізувати такий потенціал у середньому по країні вдається лише на 20–30%.

Головними чинниками такого становища є недотримання технології, використання насіння з низькими посівними якостями та відхилення від норми кліматичних факторів, що впливають на ріст та продуктивність тепличних рослин. Частка застосування некондиційного насіння останніми роками збільшилася до 90%. Унаслідок цього, знижується врожайність до 30%, що призводить до підвищення трудовитрат, енергозатрат та собівартості продукції. Найбільш ефективним методом вирішення цього питання, є підвищення посівної якості насіння шляхом застосування електромагнітних технологій їх оброблення.

Однак, є певні труднощі, пов'язані з різними поглядами на механізм взаємодії низькоенергетичних електромагнітних полів із насінням і, як наслідок, визначення оптимальних параметрів і режимів роботи засобів керування даними технологіями. Тому дослідження впливу

*© Л. Є. Никифорова, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова, 2016*

електромагнітного поля на ці біологічні об'єкти, визначення технологічних параметрів їх передпосівного оброблення та створення ефективних електромагнітних технологій є актуальними.

**Мета досліджень** – підвищення врожайності тепличних культур шляхом застосування електромагнітних технологій на базі теоретичних положень активації насіннєвого матеріалу під впливом низькоенергетичних електромагнітних полів.

**Матеріали та методика досліджень**. Як матеріали дослідження було обрано насіння огірків та томатів. Теоретична складова методики активації насіння базується на застосуванні елементів системного аналізу, методів теоретичної й математичної фізики, теоретичних основ електродинаміки, електроніки й радіоавтоматики, методів розв'язування диференціальних і інтегродиференціальних рівнянь. Достовірність наукових положень встановлювалася на основі відповідності результатів теоретичних досліджень – математичних моделювань та обчислювальних експериментів, результатам експериментальних досліджень та виробничих випробувань.

Експериментальні дослідження передбачали використання математичного методу планування повного факторного експерименту з використанням регресійного та дисперсійного методів аналізу отриманих даних.

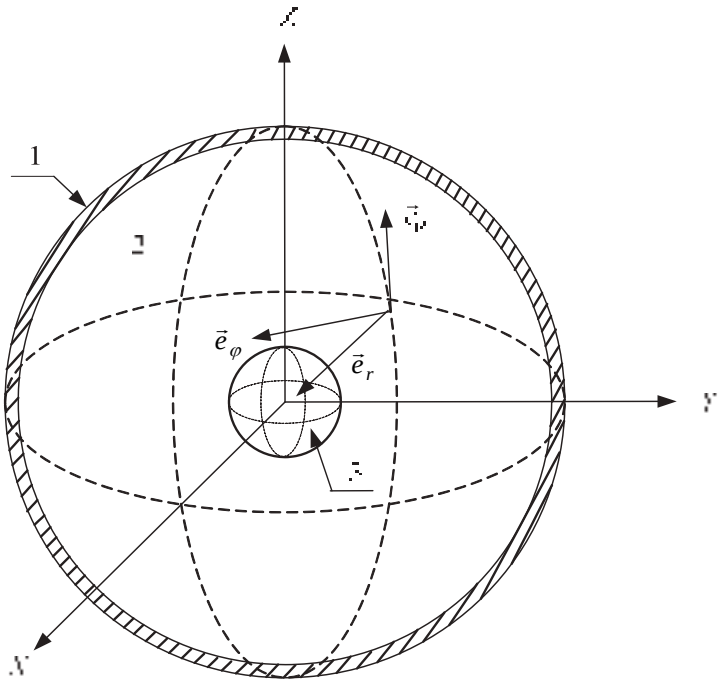
**Результати досліджень**. Одним із можливих факторів позитивної дії низькоенергетичного електромагнітного випромінювання на розвиток рослин є його вплив на транспортування іонів через мембрану клітини і живильних речовин із ендосперму всередину зернівки. Дослідження цього процесу можливо лише в тому випадку, коли відомо, як розподіляються діючі електромагнітні поля на даних структурах.

Насіння тепличних культур подано у вигляді еліпсоїда, що заповнений ендоспермом, усередині якого знаходиться зернівка. Еліпсоїд оточений тонкою шкіркою. Якщо розглядати дану систему як низькодобротний резонатор, то очевидно, що вона має спектр резонансних частот.

Визначення розподілу електромагнітного поля всередині зернівки зводилося до розв'язання задачі про розсіювання падаючої електромагнітної хвилі на багатошаровій структурі, що має форму вкладених еліпсоїдів.

Для одержання необхідних результатів приймалося, що центр насіння збігається із центром прямокутної декартової системи координат, а плоска хвиля поширюється нормально до поверхні насіння та її електричний вектор спрямований по дотичній до поверхні (див. рисунок). Крім того, для спрощення припускалося, що центр зернівки збігається з центром насіння, а саме: насіння та зернівка мають сферичну форму.

Вважалося, що кожний із шарів насіння є однорідним, тобто має постійну діелектричну проникність. Діелектричну проникність середовища, що оточує насіння, позначено $\varepsilon_0$ , так само позначено й проникність шкірки; проникність ендосперму позначено $\varepsilon_1$, а зернівки – $\varepsilon_2$ .




**Падіння плоскої електромагнітної хвилі на насіння:** 1 – шкірка насіння; 2 – ендосперм; 3 – зернівка; $\vec{e}_r$, $\vec{e}_\varphi$, $\vec{e}_\theta$ – координатні орти

Для розв'язання задачі падаюче поле розкладалося за двома векторними сферичними хвильовими функціями $\vec{M}$ і $\vec{N}$.

У цьому випадку електрична $\vec{E}^{над}$ і магнітна $\vec{H}^{над}$ компоненти падаючого поля у сферичній системі координат подано у вигляді:

$$\vec{E}^{\text{пад}} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left( \vec{\mathrm{M}}^{+}_{no} - i \vec{\mathrm{N}}^{+}_{ne} \right);$$

$$\vec{H}^{\text{пад}} = -\frac{k_1 E_0}{\mu_0 \omega} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left( \vec{\mathrm{M}}^{+}_{ne} + i \vec{\mathrm{N}}^{+}_{no} \right), \qquad (1)$$

де $n$ – номер гармоніки падаючого поля;

$E_0$ – амплітуда електричної складової падаючого поля;

$i = \sqrt{-1}$.

$$\vec{\mathrm{M}}^{+}_{n^{o}_{e}} = \sqrt{\frac{\pi}{2k_1 r}}\,\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)\left[\pm\vec{e}_{\theta}\frac{1}{\sin\theta}\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)^{\cos}_{\sin}\varphi - \right. \tag{2}$$

$$\left. -\vec{e}_{\varphi}\frac{d}{d\theta}\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)^{\sin}_{\cos}\varphi\right];$$

$$\vec{\mathrm{N}}^{+}_{n^{o}_{e}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\frac{1}{k_1 r}\left\{\vec{e}_{r}\frac{n(n+1)}{\sqrt{k_1 r}}\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)^{\sin}_{\cos}\varphi + \right.$$

$$+\vec{e}_{\theta}\left[\sqrt{k_1 r}\,\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)\right]'\frac{d}{d\theta}\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)^{\sin}_{\cos}\varphi \pm \tag{3}$$

$$\left.\pm\vec{e}_{\varphi}\frac{1}{\sin\theta}\left[\sqrt{k_1 r}\,\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)\right]'\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)^{\cos}_{\sin}\varphi\right\};$$

де $\mathrm{P}_n^{(1)}\left(\cos\theta\right)$ – приєднані функції Лежандра;

$\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)$ – функції Бесселя першого роду напівцілого порядку;

$\vec{e}_{r}$, $\vec{e}_{\varphi}$, $\vec{e}_{\theta}$ – координатні орти;

похідна береться за змінною $\left(k_1 r\right)$;

$k_1 = \omega\sqrt{\varepsilon_1\mu_0}$ – хвильове число в навколишньому середовищі зернівки;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота падаючої хвилі;

індекси $o$ або $e$ означають вибір верхнього або нижнього варіанта тригонометричної функції й знака.

Компоненти розсіяної хвилі – $\vec{E}^{\text{роз.}}$, $\vec{H}^{\text{роз.}}$, у цьому випадку, мають вигляд:

$$\begin{cases}\vec{E}^{\text{роз.}} = E_0\sum\limits_{n=1}^{\infty} i^n\frac{2n+1}{n(n+1)}\left(a_n^{\text{роз.}}\vec{\mathrm{M}}^{-}_{no} - ib_n^{\text{роз.}}\vec{\mathrm{N}}^{-}_{ne}\right),\\ \vec{H}^{\text{роз.}} = -\frac{k_1}{\omega\mu_0}E_0\sum\limits_{n=1}^{\infty} i^n\frac{2n+1}{n(n+1)}\left(b_n^{\text{роз.}}\vec{\mathrm{M}}^{-}_{ne} + ia_n^{\text{роз.}}\vec{\mathrm{N}}^{-}_{no}\right),\end{cases} \tag{4}$$

де $a_n^{\text{роз.}}$ й $b_n^{\text{роз.}}$ – коефіцієнти відбиття для електричної й магнітної складової падаючого електромагнітного поля.

Функції $\vec{\mathrm{M}}^{-}_{n_e^o}$ й $\vec{\mathrm{N}}^{-}_{n_e^o}$ отримувалися з $\vec{\mathrm{M}}^{+}_{n_e^o}$ і $\vec{\mathrm{N}}^{+}_{n_e^o}$ за допомогою заміни $\mathrm{J}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)$ на функцію Ханкеля другого роду напівцілого порядку $\mathrm{H}^{(2)}_{n+\frac{1}{2}}\left(k_1 r\right)$. При цьому слід зазначити, що знак плюс ставився до падаючих полів, а мінус – до розсіяних.

Нарешті, внутрішнє поле визначалося за допомогою виразів:

$$\begin{cases} \vec{E} = E_0 \sum\limits_{n=1}^{\infty} i^n \dfrac{2n+1}{n(n+1)} \left( a_n \vec{\mathrm{M}}_{no} - i b_n \vec{\mathrm{N}}_{ne} \right); \\ \vec{H} = -\dfrac{k}{\omega \mu_0} E_0 \sum\limits_{n=1}^{\infty} i^n \dfrac{2n+1}{n(n+1)} \left( b_n \vec{\mathrm{M}}_{ne} + i a_n \vec{\mathrm{N}}_{no} \right). \end{cases} \qquad (5)$$

де: $a_n$ й $b_n$ – коефіцієнти проходження електричної й магнітної складової падаючого електромагнітного поля усередину зернівки.

З урахуванням деформації зернівки, було отримано розв'язок для електричної й магнітної складової внутрішнього поля зернівки:

$$E_r = \frac{3E_0 b_1}{{k_2}^2 r^2} \sin\theta \cos\varphi \left\{ \frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right.$$

$$\left. + \alpha \left( \sin l\varphi + \sin m\theta \right) \left[ \sin k_2 r \left( k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + 3\cos k_2 r \right] \right\}; \qquad (6)$$

$$E_\varphi = i \frac{3E_0}{2kr} \left\{ a_1 \sin\varphi \cos\theta \left[ \cos kr - \frac{\sin kr}{kr} + \right. \right.$$

$$\left. + \alpha \left( \sin l\varphi + \sin m\theta \right) \left[ \sin kr \left( \frac{2}{kr} - kr \right) - 2\cos kr \right] \right] + \qquad (7)$$

$$+ i b_1 \sin\varphi \left[ \sin k_2 r \left( 1 - \frac{1}{{k_2}^2 r^2} \right) + \frac{\cos k_2 r}{k_2 r} + \right.$$

$$\left. \left. + \alpha \left( \sin l\varphi + \sin m\theta \right) \left[ \cos k_2 r \left( k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + \sin k_2 r \left( \frac{3}{{k_2}^2 r^2} - 2 \right) \right] \right] \right\};$$

$$E_\theta = i\frac{3E_0}{2k_2 r}\left\{a_1\cos\varphi\left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r}-\cos k_2 r+\right.\right.$$

$$\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\sin k_2 r\left(k_2 r-\frac{2}{k_2 r}\right)+2\cos k_2 r\right]\right]-$$

$$-ib_1\cos\varphi\cos\theta\left[\sin k_2 r\left(1-\frac{1}{{k_2}^2 r^2}\right)+\frac{\cos k_2 r}{k_2 r}+\right.$$

$$\left.\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\cos k_2 r\left(k_2 r-\frac{3}{k_2 r}\right)+\sin k_2 r\left(\frac{3}{{k_2}^2 r^2}-2\right)\right]\right]\right\};$$

(8)

$$H_r = \frac{3E_0 a_1}{\omega\mu_0 k_2 r^2}\sin\theta\sin\varphi\left\{\frac{\sin k_2 r}{k_2 r}-\cos k_2 r+\right.$$

$$\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\sin k_2 r\left(k_2 r-\frac{3}{k_2 r}\right)+3\cos k_2 r\right]\right\};$$

(9)

$$H_\varphi = i\frac{3E_0}{2\omega\mu_0 r}\left\{b_1\cos\theta\cos\varphi\left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r}-\cos k_2 r+\right.\right.$$

$$\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\sin k_2 r\left(k_2 r-\frac{2}{k_2 r}\right)+2\cos k_2 r\right]\right]-$$

(10)

$$-ia_1\frac{\cos\varphi}{2}\left[\sin k_2 r\left(1-\frac{1}{{k_2}^2 r^2}\right)+\frac{\cos k_2 r}{k_2 r}+\right.$$

$$\left.\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\cos k_2 r\left(k_2 r-\frac{3}{k_2 r}\right)+\sin k_2 r\left(\frac{3}{{k_2}^2 r^2}-2\right)\right]\right]\right\};$$

$$H_\theta = i\frac{3E_0}{2\omega\mu_0 r}\left\{b_1\sin\varphi\left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r}-\cos k_2 r+\right.\right. \tag{11}$$

$$+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\sin k_2 r\left(k_2 r-\frac{2}{k_2 r}\right)+2\cos k_2 r\right]\Bigg]-$$

$$-i a_1\frac{\sin\varphi\cos\theta}{2}\left[\sin k_2 r\left(1-\frac{1}{{k_2}^2 r^2}\right)+\frac{\cos k_2 r}{k_2 r}+\right.$$

$$\left.\left.+\alpha\left(\sin l\varphi+\sin m\theta\right)\left[\cos k_2 r\left(k_2 r-\frac{3}{k_2 r}\right)+\sin k_2 r\left(\frac{3}{{k_2}^2 r^2}-2\right)\right]\right]\right\}.$$

З виразів (6–11) випливає, що ступінь викривлення розподілу, що розглядається, буде залежати від ступеня деформації зернівки, тобто від величини параметра α.

Вирази (6–11) було використано для теоретичного визначення технологічних параметрів електромагнітного поля.

Таким чином, на основі математичної моделі отримано закономірності резонансного поглинання електромагнітного поля в насінні тепличних культур, які дозволяють визначити його частотний діапазон, що забезпечує активацію насіння. Для тепличних культур він становить 37–38 ГГц.

Для визначення густини потоку потужності й експозиції електромагнітного поля, що впливає на насіння тепличних культур, було проведено теоретичне дослідження дії даного поля на мембранний транспорт речовин.

У результаті теоретичних досліджень було отримано вираз для іонного струму, зумовленого дією надвисокочастотного поля:

$$I_{\text{ЕМП}}^{\text{т}} = -4\pi R^2\left[\frac{z_i^2 F^2\varphi P_i l}{RT}\times\right. \tag{12}$$

$$\left.\times\frac{n_i^{int}e^{\frac{2z_i F\varphi}{RT}}+e^{\frac{z_i F\varphi}{RT}}\left[\frac{z_i^2 F\varphi}{RT}\left(n_i^{ext}-n_i^{int}\right)-n_i^{ext}-n_i^{int}\right]+n_i^{ext}}{\left(e^{\frac{z_i^2 F^2\varphi}{RT}}-1\right)^2}E+\varepsilon\varepsilon_0\frac{\partial E}{dt}\right],$$

де $z_i$ – зарядове число іона $i$;

$F = 9,65 \cdot 10^4 \ \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$ – постійна Фарадея;

$\varphi$ – електричний потенціал;

$P_i$ – коефіцієнт проникності іона;

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ – газова постійна;

$n^{ext}$ і $n^{int}$ – концентрації іонів поза та усередині мембрани, відповідно.

Чисельний аналіз виразу (12) дає змогу визначати щільності потоку потужності й експозицію ЕМП для оброблення насіння.

На підставі теоретичних досліджень із впливу низькоенергетичних електромагнітних полів на мембранний транспорт речовин, отримані залежності зміни іонного струму в клітинах насіння, що дали змогу визначити щільність потоку потужності та експозицію діючого електромагнітного поля. Для тепличних культур щільність потоку потужності становить 10–15 мкВт/см$^2$, експозиція – 10–15 хвилин, діапазон хвиль 36–39 ГГц. Для передпосівного оброблення насіння у лабораторних умовах (за результатами теоретичних і експериментальних досліджень) було розроблено ГЛПД, що перебудовується за частотою з параметрами: частотний діапазон 36–39 ГГц, короткочасна нестабільність частоти $(\tau_u = 10^{-2} - 10^{-6} c)$, вихідна потужність 5000 мВт, ККД 13%. Застосування розробленої методики обробки насіння дозволило підвищити їх проростання на 16–20 %; енергію росту – на 13–15 %; врожайність – на 25–30 %.

## Висновки

Вплив електромагнітного поля на насіння з метою його активації є не до кінця визначеним. На основі розробленої математичної моделі отримано закономірності резонансного поглинання електромагнітного поля в насінні тепличних культур, що забезпечило отримання оптимальних параметрів резонансної дії та пристрій для її реалізації. Розроблена система дала змогу підвищити врожайність овочів на 25–30%.

## Список літератури

1. Никифорова Л. Є. Системний аналіз при дослідженні електротехнологічних процесів низькоенергетичної високочастотної обробки насіння / Л. Є. Никифорова, Л. С. Червінський // Зб. наук. пр. : Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. – Вип. 92. – С. 340–350.

2. Никифорова Л. Є. Моделювання взаємодії електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону з насінням тепличних культур // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. "Проблеми енергозбереження в АПК України". – Х. : ХДТУ, 2009. – Вип. 86. – С. 127–130.

3. Bloockman C.F. Biological response from AC electromagnetic fields coupled to geomagnetic fields// Prog. 9th Annul Conf. IEEE on Eng. Med. And Soc – Boston: Mass (USA). – 2014. – Vol. 1. – P. 83–84.

## НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ АКТИВАЦИЯ СЕМЯН

***Л. Е. Никифорова, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова***

**Аннотация.** *Исследовано влияние электромагнитного излучения на семена тепличных культур и определены технологические параметры низкоэнергетической электромагнитной технологии их активации. Теоретически обоснован механизм информационно-резонансного взаимодействия низкоэнергетического электромагнитного излучения со структурами растительной клетки, которые отображают интегральные характеристики и динамику процессов преобразования поглощенной энергии в отдельном семени.*

**Ключевые слова:** ***низкоэнергетические электромагнитные технологии, информационно-резонансное влияние, эффективность облучения, математические модели, биотропные параметры, семена, тепличные культуры***

## LOW-ENERGY ELECTROMAGNETIC ACTIVATION OF SEEDS

***L. Nikiforova, S. Gaydukevich, N. Semenova***

**Annotation.** *Effect activating of seed glass-cultures by low energy of the electromagnetic fields was investigated. Technological parameters electromagnetic of activation seeds was identification. Mechanism of informatively-resonance co-operating of low-energy electromagnetic radiation with the structures of vegetable cage, which represent integral descriptions and dynamics of processes of transformation of eaten up energy in a separate seed was theoretical ground.*

**Key words:** ***low-energy electromagnetic technologies, informatively is resonance influence, efficiency of irradiation, mathematical models, biottrope parameters, seed, glass-cultures***

*УДК* 631.311.6

# СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И УПРАВЛЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

***С. А. Лапшин, генеральный директор***
***ООО «ОКБ ВЭС» г. Калуга, Россия***
***e-mail: pylon@bk.ru***

**Аннотация.** *Использование возобновляемых и невозобновляемых источников генерации в локальных и замкнутых электрических сетях низкого напряжения дают возможность снизить себестоимость вырабатываемого киловатт-часа электроэнергии и повысить надежность системы. Для повышения КПД выработки электроэнергии в замкнутой системе осуществляется оперативное управление генерацией в зависимости от потребления электроэнергии и возможности использования возобновляемых источников энергии. В качестве физической среды для передачи широкополосных сигналов управления генерацией в такой системе планируется использование физической среды передачи электроэнергии.*

**Ключевые слова:** ***возобновляемые источники энергии, генерирующие мощности, система управления, сети низкого напряжения, PLC, распределенная генерация, система управления генерацией, широкополосный доступ, КПД***

В настоящее время использование локальных генерирующих мощностей, не связанных с магистральными сетями и работающих для обеспечения потребностей в электроэнергии небольших территорий, является общемировым трендом. Преимуществом использования генерирующих мощностей малой мощности, функционирующих в локальных микросетях низкого напряжения является возможность снижения себестоимости выработки киловатт-часа электроэнергии, за счет снижения потерь на передачу электроэнергии, повышения эффективности использования генерирующих мощностей, снижения времени простоя оборудования и сокращения затрат на его обслуживание [1, 2].

Одним из способов, позволяющих снизить себестоимость выработки электроэнергии в микросетях является применение генерирующих мощностей, использующих возобновляемые источники энергии (ветроэнергетические установки, микро- и мини ГЭС, солнечные электроустановки, газопоршневые установки, использующие биогаз в качестве топлива) [3].

*© С. А. Лапшин, 2016*

**Цель исследований** – оптимизация работы распределенной системы с использованием источников генерации различного типа.

**Материалы и методика исследований.** Для оптимизации работы распределенной системы с использованием источников генерации на различных физических принципах необходима система управления, обеспечивающая оптимальные ввод и вывод генерирующих мощностей, в зависимости от конкретных условий в каждый момент времени. Например, условием для использования ветроэнергетических установок в системе является наличие ветропотока достаточной мощности в данный конкретный момент времени, способного обеспечить нагрузочные требования и обеспечить потребителя электроэнергией, с нормами качества по ГОСТ 13109-97.

При снижении мощности ветропотока необходимо осуществить постепенный вывод из генерации ветроэнергетической установки системы с одновременным вводом генерации на основе другого источника энергии в объеме, зависящем от потребности в электроэнергии со стороны потребителя в данный момент времени. Подобное оперативное управление генерацией электроэнергии, в зависимости от графиков нагрузки, позволит существенным образом снизить себестоимость выработки киловатт-часа за счет максимального использования возобновляемых источников энергии и осуществления оперативного управления генерацией при помощи распределенной системы управления [4, 5].

**Результаты исследований.** Структурная схема распределенной микросети приведена на рис. 1.

Генерирующие мощности «Генератор 1», «Генератор 2» и «Генератор n» с возможностью управления объединены в единую систему, обеспечивающую электроэнергией потребителей «Потребитель 1», «Потребитель 2» и «Потребитель n». Распределенная система управления обеспечивает управление генерирующими мощностями таким образом, чтобы в каждый конкретный момент времени генерация энергии осуществлялась от источника, с минимальной себестоимостью выработки электроэнергии. Отличительной особенностью, рассматриваемой системы является отсутствие общего вычислительного центра и необходимости организации информационных каналов связи для обмена управляющей информацией в системе. При этом, определенным образом, возможно организовать обмен электроэнергией с магистральными сетями среднего напряжения и осуществить подключение информационной распределенной системы управления к единому диспетчерскому пункту.

Отличительной особенностью использования способа организации информационного обмена и применения распределенной системы управления генерацией является возможность масштабирования микросети и объединения микросетей в энергетические системы, работающие под управлением единого алгоритма управления системой в целом [6].

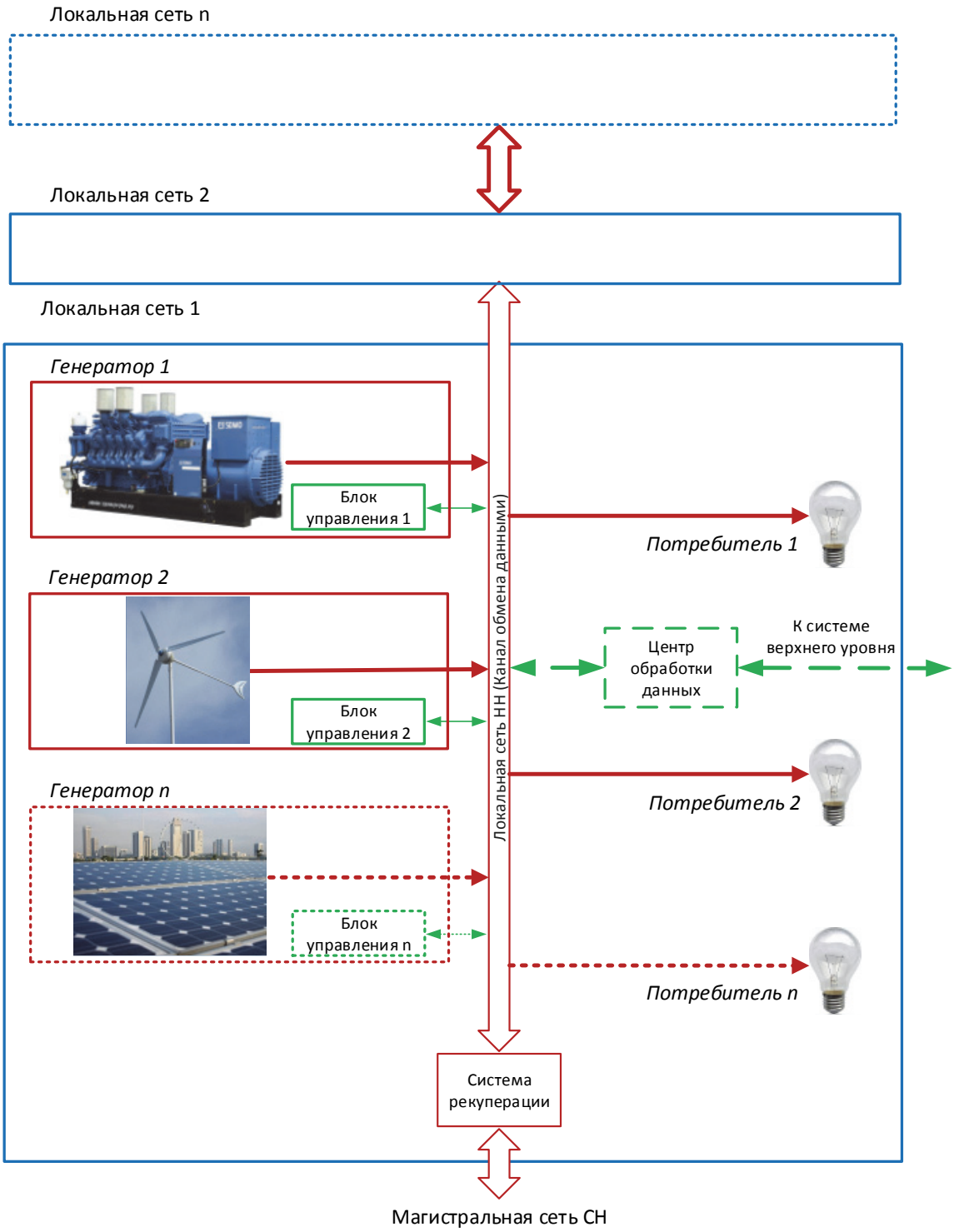



**Рис. 1. Структурная схема распределенной микросети**

Использование информационного обмена данными по электрической сети обеспечивает возможность реализации системы генерации электроэнергии, использующей возобновляемые и невозобновляемые источники энергии при совместной работе в единой электрической сети низкого напряжения для выработки электрической энергии и реализующей способ управления генерацией в зависимости от условий выработки и потребления электрической энергии на основе данных датчиков обратной

связи для снижения себестоимости вырабатываемой электроэнергии и повышения КПД системы в целом с возможностью обмена электроэнергией с энергосетями более высокого уровня [7].

Структурная схема системы, реализующая способ управления генерацией, представлена на рис. 2.

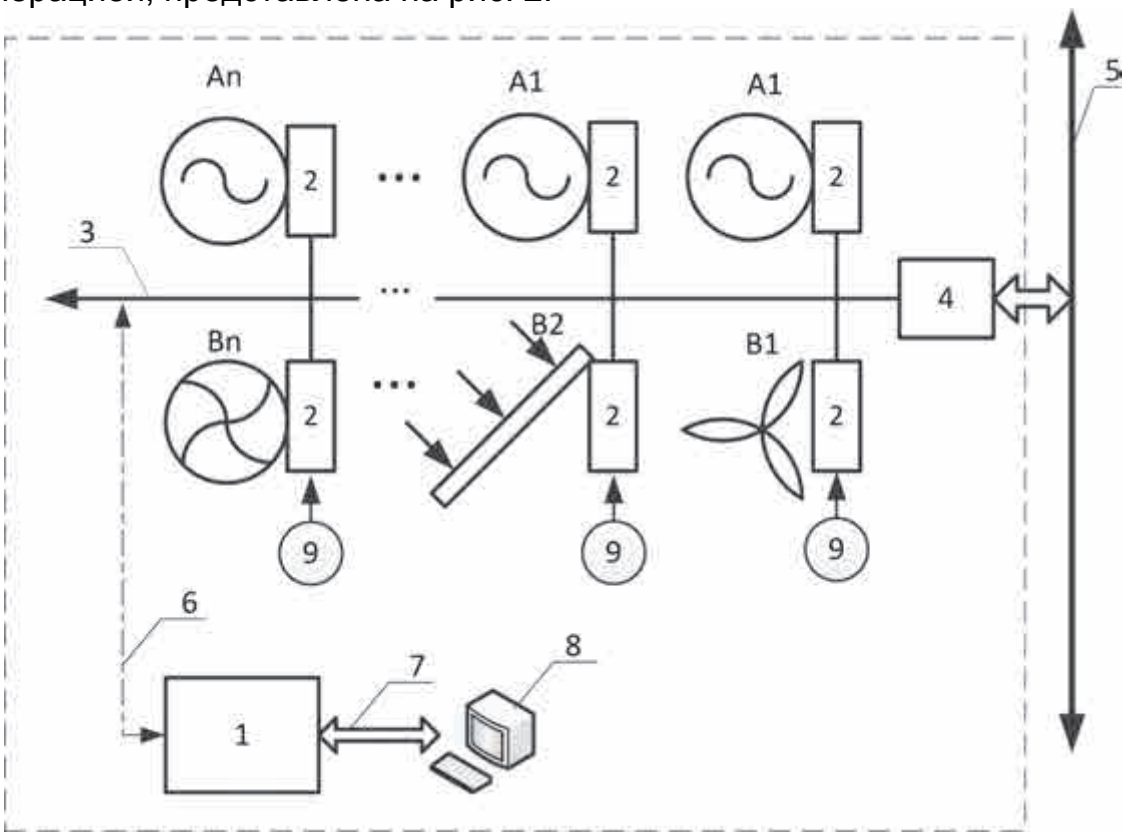



**Рис. 2. Структурная схема системы управления генерацией**

Способ заключается в анализе данных окружающей среды (направления и скорости ветра, значения солнечной радиации, скорости водного потока, объема и давления биогаза в магистрали), напряжения и частоты на силовом вводе от магистральной линии электропередачи и мощности в нагрузке. На основе полученных данных реализуется алгоритм выбора наиболее оптимального источника генерации для обеспечения потребителя электроэнергией с качеством по ГОСТ 13109 и при наименьшей себестоимости выработки электроэнергии. При изменении состояния окружающей среды и (или) потребления электроэнергии производится изменение источника генерации.

Система, реализующая заявленный способ, включает стационарную систему управления 1, локальные модули управления 2, которые устанавливаются непосредственно на источники генерации, использующие невозобновляемую энергию A1…An (дизельное топливо, магистральный газ, котельное топливо), а также на источники генерации, использующие возобновляемую энергию B1… Bn (ветроустановки, мини-ГЭС, солнечные панели, биогазовые генераторы). Локальные модули управления, устанавливаемые на источники генерации с возобновляемой энергией осуществляют трансляцию данных от датчиков окружающей

среды 9 в стационарную систему управления 1 через информационный канал 6, использующий в качестве среды передачи данных сеть локальную сеть низкого напряжения 3. Все источники генерации объединены в локальную сеть низкого напряжения 3, доставляющую электроэнергию непосредственно к потребителю. Локальная сеть низкого напряжения использует систему обмена электрической энергией 4 с магистральными электросетями среднего или высокого напряжения 5. Стационарная система управления 1 имеет информационный канал 7 для обмена данными и передачи управления системе верхнего уровня 8.

Система, реализующая предложенный способ, работает следующим образом. Электрическая мощность из магистральной сети 5 через систему обмена электрической энергией 4 поступает к потребителям. Стационарная система управления 1 анализирует нагрузку в сети и состояние окружающей среды через датчики 9. При достаточном ветропотоке, солнечной радиации или напоре воды через локальные модули управления 2, установленные у каждого источника генерации, в локальную сеть 3 вводится замещающая генерация, при этом мощность магистральной сети выводится таким образом, чтобы в качестве основного источника генерации в микросети максимально использовалась генерация от возобновляемых источников энергии B1… Bn. В случае избытка мощности от локальных возобновляемых источников энергии B1… Bn, осуществляется ее рекуперация через систему обмена электрической энергией 4 в магистральную сеть 5. При пиковой нагрузке в сети, если мощности генерации от возобновляемых источников энергии B1… Bn недостаточно, а также в случае отсутствия подключения к магистральной сети, осуществляется ввод в сеть генерации от источников возобновляемой энергии A1… An таким образом, чтобы преимущество имели источники с более дешевым видом топлива (использование газовой генерации имеет преимущество перед дизельной, дизельная – перед бензиновой). Стационарная система управления 1 осуществляет непрерывное управление источниками генерации A1…An и B1..Bn таким образом, чтобы в любой момент времени в зависимости от изменения нагрузки в локальной сети 3 осуществлять изменение локальной генерации в сети посредством управления источниками генерации через локальные модули управления 2, а также обеспечивать оптимальный обмен энергией с сетями более высокого уровня. Каждая подобная локальная система может встраиваться как элемент более крупной сети и работать под управлением системы верхнего уровня 8 через информационный канал обмена данными 7.

## Список литературы

1. Стребков Д. С. Проект энергетической стратегии сельского хозяйства России / Д. С. Стребков, А. В. Тихомиров, В. В. Харченко // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 2. – С. 12.

2. Долгов И. Ю. Энергопотребление и энергоснабжение в сельскохозяйственном секторе Российской Федерации / И. Ю. Долгов, А. В. Тихомиров, В. В. Харченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 2. – С. 16.

3. Гусаров В. А. Использование локальной генерации от возобновляемых источников энергии в тупиковых участках протяженных линий электропередачи низкого напряжения / В. А. Гусаров, С. А. Лапшин, В. В. Харченко // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". – 2013. – № 7. – С. 15–18.

4. Источники регулируемой мощности в микросетях / Адомавичюс В., Харченко В. В., Валицкас И., Гусаров В. А. // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". – 2013. – № 7. – С. 54–59.

5. Адомавичюс В. Б. Особенности и проблемы построения микросетей / В. Б. Адомавичюс, В. В. Харченко // Труды 8-й Международной научно-технической конференции (16–17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). – Ч. 5. – С. 50–57.

6. Лапшин С. А. Система управления генерацией и распределением энергии в локальных сетях низкого напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых видов энергии / С. А. Лапшин // Материалы X Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика 2013"; под ред. П. П. Безруких. – М., 2013.

7. Пат. № 2539875 РФ. Система электроснабжения потребителей в сетях напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и управлением генерации электроэнергии / Гусаров В. А., Лапшин С. А., Харченко В. В. – № 2013113208/07 ; заявл. 25.03.2013 ; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.

## СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ У МЕРЕЖАХ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ РІЗНОГО ТИПУ Й КЕРУВАННЯМ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

***С. А. Лапшин***

**Анотація.** *Використання поновлюваних і невідновлюваних джерел генерації в локальних і замкнених електричних мережах низької напруги уможливлюють зниження собівартості виробленої кіловат-години електроенергії та підвищення надійності системи. Для підвищення ККД вироблення електроенергії в замкненій системі здійснюється оперативне управління генерацією залежно від споживання електроенергії і можливості використання відновлюваних джерел енергії. Як фізичне середовище для передачі широкосмугових сигналів управління генерацією в такій системі планується використання фізичного середовища передачі електроенергії.*

**Ключові слова:** ***поновлювані джерела енергії, генеруючі потужності, система управління, мережі низької напруги, PLC, розподілена генерація, система керування генерацією, широкосмуговий доступ, ККД***

## CONSUMER POWER SUPPLY SYSTEM IN THE LOW VOLTAGE NETWORK BY USING DIFFERENT TYPES OF SOURCES OF GENERATION AND MANAGEMENT OF ELECTRICITY GENERATION

***S. Lapshin***

**Annotation.** *The use of renewable and non-renewable sources of generation in local and closed electrical low voltage networks provide an opportunity to reduce the cost of produced kWh of electric power and increase system reliability. To improve the efficiency of power generation is carried out in a closed system the operational management of the generation, depending on the power consumption and the possibility of using renewable energy sources. As a physical medium for transmitting broadband generation of control signals in such a system is planned the use of physical power transmission medium.*

**Key words:** ***renewable energy sources, generating power, the control system, the low voltage network, PLC, distributed generation, the generation of the control system, broadband access and efficiency***

УДК 662.995

## ВИХРЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

***Р. А. Серебряков, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: viesh@dol.ru***

**Аннотация.** *Изложены основные принципы работы вихревых гидравлических теплогенераторов (ВГТ), предложен вариант теоретических основ работы ВГТ и разработана методика оценки эффективности работы ВГТ.*

**Ключевые слова:** ***альтернативный источник энергии, вихрь, кавитатор, теплогенератор, эффективность***

В настоящее время в сельском хозяйстве существует задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить затраты материальных средств при создании новой продукции и уменьшить энергетические затраты в данном процессе. Перспективным направлением для этого являются альтернативные источники энергии. Одним из альтернативных видов возобновляемой энергетики является вихревая энергетика [1, 2, 3, 4, 5, 6], представляющая собой технологии использования закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости

*© Р. А. Серебряков, 2016*

## CONSUMER POWER SUPPLY SYSTEM IN THE LOW VOLTAGE NETWORK BY USING DIFFERENT TYPES OF SOURCES OF GENERATION AND MANAGEMENT OF ELECTRICITY GENERATION

***S. Lapshin***

**Annotation.** *The use of renewable and non-renewable sources of generation in local and closed electrical low voltage networks provide an opportunity to reduce the cost of produced kWh of electric power and increase system reliability. To improve the efficiency of power generation is carried out in a closed system the operational management of the generation, depending on the power consumption and the possibility of using renewable energy sources. As a physical medium for transmitting broadband generation of control signals in such a system is planned the use of physical power transmission medium.*

**Key words:** ***renewable energy sources, generating power, the control system, the low voltage network, PLC, distributed generation, the generation of the control system, broadband access and efficiency***

УДК 662.995

## ВИХРЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

***Р. А. Серебряков, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: viesh@dol.ru***

**Аннотация.** *Изложены основные принципы работы вихревых гидравлических теплогенераторов (ВГТ), предложен вариант теоретических основ работы ВГТ и разработана методика оценки эффективности работы ВГТ.*

**Ключевые слова:** ***альтернативный источник энергии, вихрь, кавитатор, теплогенератор, эффективность***

В настоящее время в сельском хозяйстве существует задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить затраты материальных средств при создании новой продукции и уменьшить энергетические затраты в данном процессе. Перспективным направлением для этого являются альтернативные источники энергии. Одним из альтернативных видов возобновляемой энергетики является вихревая энергетика [1, 2, 3, 4, 5, 6], представляющая собой технологии использования закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости

*© Р. А. Серебряков, 2016*

и газа) – для преобразования их в тепловую энергию, работу, в градиент температуры и давления.

Одним из перспективных направлений в решении этой задачи является использование вихревых гидравлических теплогенераторов (ВГТ) –ройств, вырабатывающих тепло посредством изменения физико-механических параметров жидкостной среды при её течении под комплексным воздействием ускоренного и заторможенного движения [7, 8, 9, 10].

**Цель исследований** – разработка теоретических основ работы ВГТ и методики оценки эффективности их работы.

**Материалы и методика исследований.** За счет трения о поверхность корпуса скорость жидкости снижается, температура растет. Дополнительный подогрев жидкости происходит также и за счет внутреннего трения слоев жидкости, находящихся на различных радиусах от оси корпуса и имеющих разные окружные скорости. Но основную роль в подогреве играет кавитация. За счет кавитации часть воды переходит в упорядоченное, коллоидоподобное, близкое к жидкокристаллическому состоянию, причем этот переход сопровождается интенсивным тепловыделением. Переход такого рода можно определить как фазовый переход в широком смысле и предположить, что в процессе кавитационного воздействия вода испытывает экзотермический фазовый переход с выделением избыточного тепла. Экспериментально показано [11,12], что фазовый переход (гидродинамический разрыв) происходит, когда достигается величина скорости потока, при которой статическое давление в жидкости достигает величины давления её насыщенного пара. Величина этой скорости для вихревого потока вычисляется по формуле:

$$VG = \sqrt{2PG(PN - P) / P\rho},$$

где $PG$ – давление насыщенного пара, Па;

$PN$ – исходное давление жидкости, Па;

$P$ – статическое давление на периферии вихря, Па;

$P\rho$ – статическое давление в жидкости.

Величина энергии, затрачиваемая на сжатие пузырька, рассчитывается из уравнения [13]:

$$WC \approx \frac{4}{3}\pi P r^3 G,$$

где $P$ – давление жидкости, при которой происходит коллапс пузырька, Па;

$rG$ – радиус пузырька, м.

Сравнение величин энергий образования и сжатия пузырька водяного пара радиусом r =1·10$^{-3}$ м и поверхностным натяжением $\sigma$ = 7,28 · $10^{-4}$Дж/м² при 293 К показывает, что энергия образования пузырька $WP$ = 9· $10^{-6}$Дж при давлении разрыва (насыщенного пара) потока воды $PG$ = 1· $10^{3}$Па меньше энергии сжатия пузырька $Wc$ = 4 ·

$10^{-4}$Дж жидкостью, находящейся под давлением, равным атмосферному, в 45 раз. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что если гидравлическая система, в которой работает теплогенератор, открыта по давлению, то сжатие пузырька происходит под давлением окружающей среды. Т. е., происходит приток энергии к жидкости из окружающей среды. В открытой по давлению системе для получения 1 Дж энергии достаточно превратить при температуре 293 К в насыщенный пар 7,84 · $10^{-8}$кг жидкости, а затем подвергнуть его инверсии при атмосферном давлении. Основой вихревого гидравлического теплогенератора (ВГТ) является вихревой гидрокавитатор (рис.1), содержащий входное устройство, завихритель, кавитационную трубу, развихритель и выходное устройство.

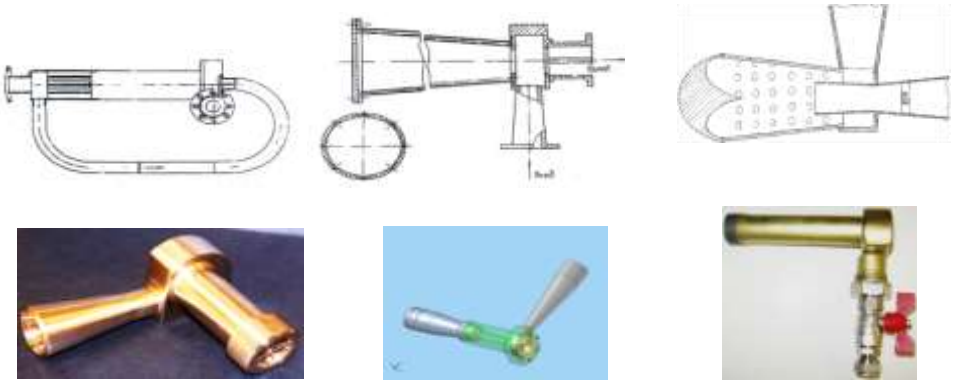


**Рис.1. Вихревой гидрокавитатор –**
**варианты конструктивных схем и конструкций**

Система теплоснабжения на базе вихревого теплогенератора (рис. 2, 3) состоит из вихревой кавитационной трубы 1, теплопередающего устройства (теплообменник, батареи, калориферы и т. п.) 2, гидронасос 3 с электродвигателем 4 и пульта управления работой вихревого теплогенератора 5.

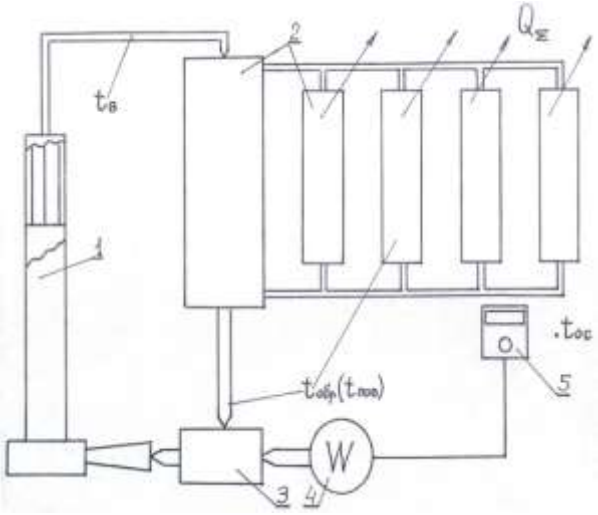



**Рис. 2. Блок-схема системы теплоснабжения**

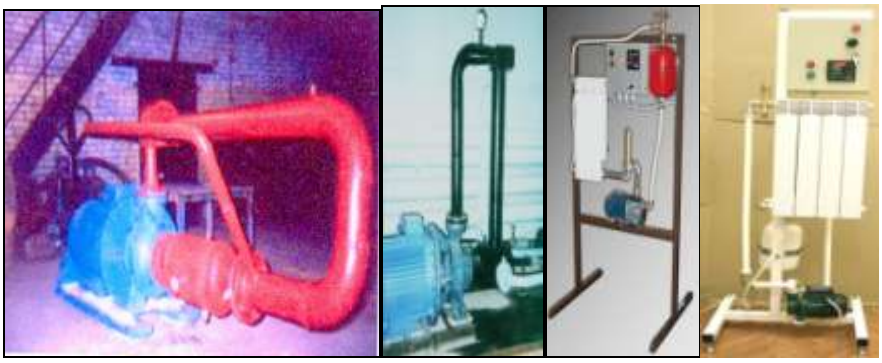


**Рис. 3. Варианты ВГТ**

Особенности вихревых гидравлических теплогенераторов (ВГТ):

- устройство экологически чистое, отсутствует необходимость сжигания углеводородных топлив (уголь, нефть, газ );
- отсутствуют электронагревательные элементы;
- электроэнергия используется только для питания привода гидронасоса;
- отсутствует необходимость в водоподготовке;
- исключено появление отложений на внутренних поверхностях теплогенератора;
- могут подключаться к любой системе отопления;
- совмещают в одном устройстве функции нагрева и перекачивания;
- обеспечивают автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданном диапазоне температур;
- отсутствуют движущиеся элементы;
- экономичны в эксплуатации и обслуживании.

**Результаты исследований.** Закономерности течения закрученных потоков жидкостей существенно отличаются от хорошо изученных осевых потоков [6, 14, 15]. Именно эти отличия обуславливают перспективы широкого применения закрученных потоков для решения инженерных задач, в частности, для систем теплоснабжения [16, 17].

В основе расчета вихревого гидравлического теплогенератора лежит дифференциальное уравнение движения и неразрывности. Уравнение вязкой несжимаемой жидкости, в основу которого положен закон внутреннего трения Ньютона, в применении к жидкой частице имеет вид:

$$dC/d\tau = F - 1/\rho \cdot grad \cdot P + 1/\rho \cdot divTn,$$

где $C$ – скорость жидкой частицы;

$\tau$ – текущее время;

$F$ – ускорение от действия внешних массовых сил;

$\rho$ – плотность жидкости;

$P$ – давление, определяющее инвариантное к ориентации в пространстве площадки, на которую оно действует, значение нормального напряжения;

$Tn$ – тензор напряжений.

Дополняя уравнением неразрывности $divC = 0$ и считая, что массовые силы обладают потенциалом $П$, т. е. $F = -grad\ П$, получим:

$$\partial C/\partial t + rot\ V \cdot V = -grad(\theta^a/2 + П + P/\rho) - \theta rot\ V.$$

В тензорной форме уравнение движения турбулентного потока представляется в виде уравнений Рейнольдса с осредненными компонентами скорости и их пульсационными составляющими C' = {C'1, C'2, C'3}.

При отсутствии внешних массовых сил эти уравнения имеют вид:

$$\partial Ci/\partial t + Cj \cdot \partial Ci/\delta xj = - 1/\rho \cdot \partial p/\partial \partial xi + vV^2Ci + 1/\rho \cdot \partial/xj(-\rho\theta i\theta j),$$

$$\partial Ci/\partial xj = 0,$$

где $p$ – осредненное во времени значение давления;

$\rho\theta i\theta j$ – тензор осредненных турбулентных напряжений;

$V^2$ – оператор Лапласа.

Это уравнение для случая движения закрученного потока в горизонтальной цилиндрической трубе удобно представить в цилиндрической системе координат Q (рис. 4) с осредненными компонентами скорости w (по радиусу) и (по углу Θ), θ (по оси) и пульсационными компонентами скорости θ', u',w'.

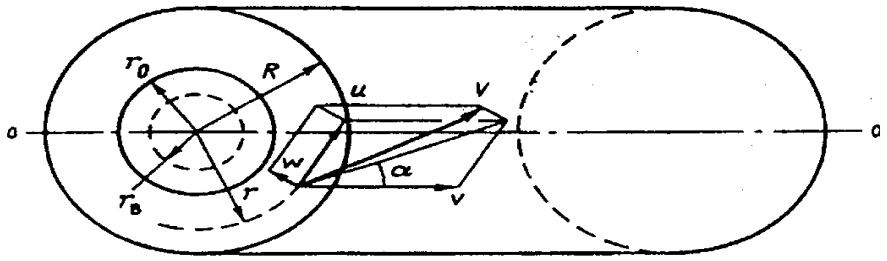



**Рис. 4. Составляющие скорости и характерные радиусы в поперечном сечении закрученного потока в теплогенераторе**

При стационарном ($\partial/\partial$т = 0) и осесимметричном ($\partial/\partial\Theta$ = 0) течении закрученного потока дифференциальные уравнения Рейнольдса в цилиндрических координатах могут быть представлены в виде:

$$\left.\begin{aligned}
&\rho\frac{\partial}{\partial r}(rw^2)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(r\vartheta w)-\rho u^2=\frac{\partial}{\partial z}(r\tau_{rr})+\frac{\partial}{\partial r}(r\sigma_{rr})-\sigma_{\Theta\Theta};\\
&\rho\frac{\partial}{\partial r}(r^2uw)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(r^2\vartheta u)=\frac{\partial}{\partial r}(r^2\tau_{r\Theta})+\frac{\partial}{\partial z}(r^2\tau_{\Theta z});\\
&\rho\frac{\partial}{\partial r}(r\vartheta w)+\rho\frac{\partial}{\partial z}(r\vartheta^2)=\frac{\partial}{\partial r}(r\tau_{rz})+\frac{\partial}{\partial z}(r\sigma_{zz});\\
&\frac{w}{r}+\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{\partial\vartheta}{\partial z}=0.
\end{aligned}\right\}$$

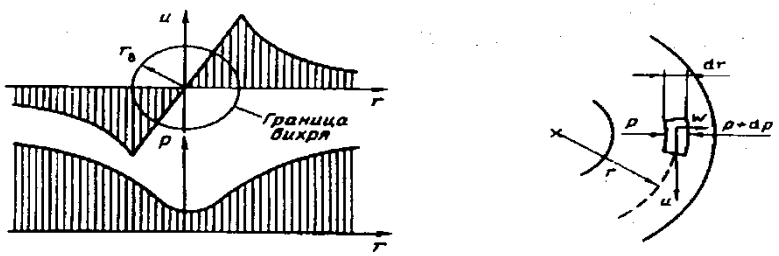



**Рис. 5. Окружная составляющая скорости и давление в поперечном сечении закрученного потока**

Соотношения между пульсационными компонентами скорости турбулентного закрученного потока задается в рамках одной из полуэмпирических теорий турбулентности. При ламинарном движении закрученных потоков тензор θ'θ' = 0 и уравнение в форме Рейнольдса переходят в уравнения Навье-Стокса. В этом случае, уравнение (2) в векторной форме не изменяет вида, однако записывается в виде:

$$dC/dt + (C\cdot V)C = F - 1/\rho\cdot gradp + \nu V^2 C.$$

Система совместно с уравнением неразрывности жидкости в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\left.\begin{aligned}
&w\frac{\partial w}{\partial r} + \vartheta\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{u^2}{r} = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial r} + \nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{w}{r^2}\right);\\
&w\frac{\partial u}{\partial r} + \vartheta\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{wu}{r} = \nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{u}{r^2}\right);\\
&w\frac{\partial \vartheta}{\partial r} + \vartheta\frac{\partial \vartheta}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} + \nu\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \vartheta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2}\right);\\
&\frac{\partial}{\partial r}(rw) + \frac{\partial}{\partial z}(r\vartheta) = 0.
\end{aligned}\right\}$$

В первых трех уравнениях системы полагаем w = 0 (т.к. w<<θ и w<<u). Отбрасывая члены с $\partial^2/\partial z^2$, поскольку производные по z существенно меньше производных по r.

Используя решение Озеена, заменим оператор $\theta\cdot\partial/\partial z$ на $\bar{\theta}\cdot\partial/\partial z$, где $\bar{\theta}$ – среднее значение осевой компоненты скорости на входе в трубу. Тогда получим систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{u^2}{r} = \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial r};\\
&1)\ \bar{\vartheta}\frac{\partial u}{\partial z} = \nu_\tau\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \vartheta}{\partial r} - \frac{u}{r^2}\right);\\
&2)\ \vartheta\frac{\partial \vartheta}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} + \nu_\tau\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \vartheta}{\partial r}\right);\\
&3)\ \frac{\partial}{\partial r}(rw) + \frac{\partial}{\partial z}(r\vartheta) = 0
\end{aligned}\right\}$$

Вводя осевую компоненту вихря $wz_в = d/r\partial r\cdot(ru)$, получим, после некоторых преобразований, решение уравнения:

$$\partial wz_в/\partial z = \eta m(\partial^2 wz_в/\partial r^2 + 1/r\cdot\partial wz_в/\partial r),$$

где $\eta_т = R\cdot Re_т^{-1}$;

R – радиус трубы.

Решением этого уравнения является выражение:

$$wz_в = Г_н(r)/2\eta mz\cdot txp(-r^2/4\eta mz),$$

где $Г_н(r)$ – циркуляция на входе в трубу.

Соответственно, распределение окружной скорости:

$$U = Г_н(r)/r[1-exp(-r^2/4\eta mz)],$$

и циркуляция

$$\Gamma = ru = \Gamma_н(r)[1-\exp(r^2/4\eta mz)].$$

Анализ этих уравнений показывает, что при различных начальных условиях, задаваемых функций Гн(r), можно получить и различные функции изменения окружных скоростей по длине трубы. Например, при потенциальном свободном вихре на входе имеем:

$$\Gamma_н(r) = Const = \Gamma_н, \text{ тогда } u = \Gamma_н/r[1-r^2/4\eta mz].$$

Тогда видно, что: при $r<<(4\eta tz)^{-2}$ в приосевой зоне жидкость вращается как твердое тело с угловой скоростью Гн/(4ηtz), при $r>>(4\eta tz)$ ближе к стенкам трубы движение безвихревое.

Таким образом, при любом промежуточном состоянии жидкости на входе, какими бы законами ни задавался входящий в трубопровод закрученный поток, через определенное расстояние от начального створа вследствие вязкой диффузии и диссипации энергии сформируется течение, внутренне присущее закрученному потоку. Для окончательного определения U(R,z) примем граничные условия: U = 0 и vr = v при r = R – условие прилипания жидкости на стенках трубопровода:

$$u(R,r) = \Gamma_н(R)/K[1-\exp\{-(R-r)^2/4\eta mz\}],$$

где $\eta = v/\theta = R\cdot Re^{-1}$.

В качестве граничного условия на поверхности ядра допустимо принять значения касательных напряжений равными нулю. Общее решение вида функции U(r,z) получается при применении процедуры метода скрещивания асимп-тотических разложений, реализуемого способом мультипликативного составления:

$$u(r,z)=\frac{\Gamma_н(r)}{r}\left[1-\exp\left(-\frac{r^2}{4\eta_T z}\right)\right]\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{(R-r)^2}{4\eta_T z}\right)\right].$$

$$u(r,z)=\frac{\Gamma_н(r)}{r}\left[1-\exp\left(-Re_T\frac{r^2}{4Rr}\right)\right]\cdot\left[1-\exp\left(-Re_T\frac{(R-r)^2}{4Rr}\right)\right].$$

В принятой модели определенную сложность при инженерных расчетах вызывает назначение турбулентного числа Ret = θR/vt, где vt определяется из эксперимента. Часто принимают vt = vaRe, где a = $2{,}46\cdot10^{-3}$. Тогда получим распределение в сечении потока:

$$P(r,z)=P_я+\rho\int_{r_o}^{r}\frac{u^2}{r}dr=P_я+\rho\int_{r_o}^{r}\frac{\Gamma_н^2(r)}{r^3}\left[1-\exp\left(-Re\frac{r^2}{4Rz}\right)\right]\times$$

$$\times\left[1-\exp\left(-Re\frac{(R-r)^2}{4Rz}\right)\right]^2 dz.$$

Здесь *Ря* – давление в полом вихревом жгуте закрученного потока;

ro – радиус цилиндрического разрыва сплошности вблизи оси вращения;

при r<ro давление *P(r)* = *Рн* = const.

По известным значениям *p(r,z)* и *w(z*), а также из начального условия, задаваемого функцией распределения по радиусу удельной энергии частиц жидкости во входном сечении трубопровода Нн(r), определяется функция распределения осевой компоненты скорости потока по длине и текущему радиусу трубопровода v(r,z). Таким образом, для кольцевого вязкого турбулентного закрученного потока несжимаемой жидкости в горизонтальном цилиндрическом трубопроводе при заданных граничных (условие прилипания жидкости на стенке) и начальных условиях на входе при z = 0, задаваемых функции Гн(r) bНн(r) в каждом конкретном случае могут быть получены распределения всех компонент скорости, давления и радиуса вихревого жгута в функции расстояния от начального створа и текущего радиуса: v(r, z), u(r, z), w(r, z), p(r, z), ro(z). Интенсивность закручивания потока в точке определяется углом скоса L между направлениями осевой и полной скорости $A = arcos(\theta/v) = arctg(u/\theta)$.

По оси потока формируется вихрь, который наблюдается по всей длине водовода в виде вихревого шнура радиусом rв. Вихрь может быть полым или полностью заполненным жидкостью. Исходя из математического описания жидкости в сечении, проведенном нормально оси потока, выделяют область вихревого движения r<rи и вне вихревого шнура область невихревого кругового движения r>rи.

Особенностью вихревого движения является вращение элементарных частиц жидкости вокруг своих мгновенных осей. При круговом движении такое вращение отсутствует, и, следовательно, оно является потенциальным. В действительности, поток реальной жидкости всюду вихревой. В пределах вихревого шнура все частицы жидкости вращаются вокруг собственных осей с угловой скоростью Ω. Закон распределения окружных скоростей выражается законом вращения твердого тела:

$$U = \Omega \cdot r\ .$$

Для определения давления p в закрученном потоке используется уравнение Эйлера:

$$u^2/r = 1/\rho \cdot \partial p/\partial r.$$

Интегрируя его по r, получим давление внутри вихревого шнура:

$$P = \rho \cdot (u^2 - u_в^2)/2 + p_в.$$

Для большинства жидкостей зависимость плотности от температуры можно представить в виде:

$$\rho = \rho m - \alpha \cdot (T - Tm),$$

где индекс *m* – средняя величина плотности, величина α – очень мала.

Для воды изменение плотности составляет около 1% при t от 0 °С до 50 °С и 3% при t от 50 °С до 100 °С [17].

*Оценка эффективности работы ВГТ.* Основой инженерной методики определения эффективности ВГТ является «эксергетический метод термодинамического анализа технических систем преобразования

энергии и вещества» [6,18, 19, 20, 21], в соответствии с которым эффективность системы теплопреобразования в ВГТ оценивается:

1. Коэффициентом преобразования энергии (КПЭ):

$$\mu = Q\Sigma / W,$$

где $Q\Sigma$ – полная теплопроизводительность системы;

$W$ – затраченная электроэнергия.

2. Коэффициентом полезного действия:

$$КПД = Q\Sigma \cdot Kp / W = \mu \cdot Kp,$$

где $Kp = 1 - Tос/Tв$ – коэффициент работоспособности тепла.

Полная теплопроизводительность системы, Дж оценивается как:

$$Q\Sigma = Q1 + Q2,$$

где $Q1$ – количество тепла, отведенное в период работы гидронасоса;

$Q2$ – количество тепла, отведенное в период, когда гидронасос не работает (пауза).

Количество тепла, Дж отведенное из системы в период работы гидронасоса:

$$Q1 = Gp \cdot Cp \cdot \Delta t1 \cdot \tau p,$$

где $Gp$ – расход воды в период работы гидронасоса, кг/с;

$Cp$ – теплоёмкость воды, ккал/кг·град;

$\Delta t1 = tв - tобр$ – разность температуры воды в прямой и обратной магистралях;

С, $\tau p$ – время работы гидронасоса в каждом цикле, с.

Количество тепла, Дж, отведенное из системы в период, когда гидронасос не работает:

$$Q2 = F \cdot \alpha \cdot \Delta t2 \cdot \tau п \cdot \frac{1}{4{,}19} \cdot 10^{-3},$$

где $F$ – теплопередающая поверхность установки, м$^2$;

$\Delta t2 = tпов - tос$ – разность температур поверхности установки и окружающей среды;

С, $\tau$п – время, когда насос не работает (пауза), с;

$\alpha$ – коэффициент теплопередачи, Вт/м$^2$·К.

Для определения $\alpha$ необходимо вычислить значение критерия Нуссельта ($Nu$) по формуле [22]:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n,$$

где $c, n$ – постоянные числовые коэффициенты;

$Gr$ – число Грасгофа;

$Pr$ – число Прандля.

Для этого, с учетом $\Delta t2 = tпов - tос$, по [23, 24] определяем $\lambda$, $\nu$ и Pr,

где $\lambda$ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

$\nu$ – коэффициент кинематической вязкости, м$^2$/с.

Далее по формуле $Gr = \beta \cdot d^3 \cdot g \cdot \Delta t_2 / v^2$ вычисляем число Грасгофа, где $\beta$ – температурный коффициент объемного расширения, 1/К (определяется по таблице [25]);

*d* – диаметр корпуса ВГТ;

м, *g* – ускорение свободного падения, м/с$^2$.

Определив величину произведения (*Gr·Pr*), по таблице 13-1 [26] находим значения коэффициентов *c, n* и, по формуле $Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n$, определяем значение критерия Нуссельта.

Значение коэффициента теплопередачи $\alpha$ находится по формуле:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / d.$$

Под работоспособностью, или эксергией тепла, понимают то возможное количество технической работы, которое в состоянии совершать данная термодинамическая система, находящаяся в заданном начальном состоянии, при условии, что все совершаемые системой процессы изменения состояния обратимы и осуществляются до конечного термодинамического состояния, равновесного с окружающей средой, т. е. – какое количество работы *L* может быть получено в идеальном (обратимом) процессе от любого количества тепла *Q*.

Отсюда Kp = L/Q (рис. 6). Работа L = h3 - h4 (площадь F1234). Тепло Q = h3 - h2 (площадь Fa23б). Следовательно, Kp = F1234/ Fa23б = (T – Toc)·$\Delta$S/ T·$\Delta$S =(T – Toc)/ T = 1 - Toc/ T.

Для децентрализованных систем теплоснабжения, производящих тепло Q на температурном уровне Tв, коэффициент работоспособности тепла определяется как

$$Kp = (Tв – Toc)/ Tв = 1 - Toc/ Tв,$$

где *Tв* – температура нагретой воды, К;

*Toc* – температура окружающей среды, К.

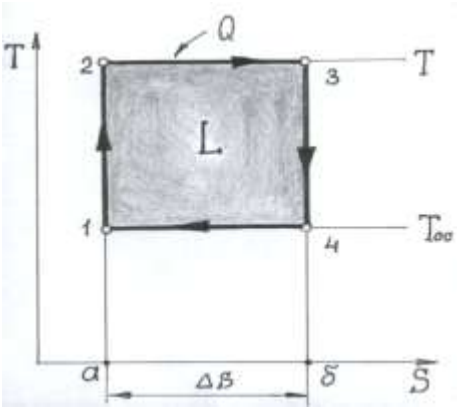



**Рис. 6. Идеальный цикл Карно**

Таким образом, если коэффициент преобразования энергии $\mu = Q \sum W$ оценивает только количество полученного тепла на единицу затраченной энергии, то КПД, учитывающий работоспособность этого

тепла, оценивает его качество, т. е. температурный уровень *T*, при котором производится тепло *Q.*

Для примера, по параметрам табл. 1, снятым при испытании некоторых децентрализованных систем на базе ВГТ, рассчитаны коэффициенты преобразования тепла ($\mu$) и КПД**.**

**Параметры децентрализованных систем теплоснабжения на базе ВГТ**

| $N_{ВГТ}$, кВт | $t_{ос}$, °С | $t_в$, °С | $t_{обр}$, °С | $\Delta\tau_р$, с (длительность одного рабочего цикла) | $\Delta\tau_п$, с (длительность паузы в работе установки) | W, кВт·ч (электроэнергия, затраченная на работу гидронасоса) | $G_р$, кг/с (расход воды за период $\Delta\tau$) | F, м$^2$ (общая площадь теплообмена) | $Q_1$, ккал/ч | $\alpha$, Вт/м$^2$·К | $Q_2$, ккал/ч | $Q_\Sigma$, ккал/ч | $\mu$ | $К_р=1-T_{ос}/T_в$ | КПД, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | 18 | 51,62 | 45,5 | 60 | 50 | 41,5 | 1,47 | 152,4 | 544,2 | 10,8 | 539,1 | 1083 | 1,82 | 0,1 | 19 |
| 7,5 | 12 | 65 | 50 | 495 | 2163 | 0,975 | 0,055 | 4,5 | 480,4 | 8,2 | 1010,5 | 1490 | 1,77 | 0,157 | 28 |
| 37 | 18 | 53,3 | 48,3 | 240 | 708 | 13,0 | 0,1625 | 4,8 | 178,75 | 8,4 | 240,5 | 419 | 2,25 | 0,108 | 24,3 |
| 37 | 18 | 50,5 | 45,5 | 190 | 732 | 10,6 | 0,1625 | 4,8 | 154,4 | 7,8 | 212,5 | 367 | 2,41 | 0,89 | 21,4 |
| 22 | 16 | 45 | 41 | 15,5 | 66 | 3,5 | 1,11 | 4,0 | 68,8 | 14,2 | 26,0 | 94,8 | 1,9 | 0,09 | 17,2 |

При различных режимах работы системы, коэффициент преобразования тепла $\mu$ менялся в пределах 1,77–2,41, при этом КПД составлял 17,2% – 28%.

Энергетический баланс децентрализированной системы определяется как $Q = W + Qq$,

где *W* – электроэнергия, затраченная на привод гидронасоса, кВт·ч;

*Qq* – дополнительное тепло, подведенное к системе, (Дж).

Одним из примеров подвода дополнительного тепла в систему является работа теплового насоса. В этом случае, коэффициент преобразования тепла всегда равен $\mu = 1$, а КПД = $\mu \cdot Kp = Kp$.

Так, если при температуре окружающей среды *tос* = 18÷20°С, температура горячей воды в системе отопления *tв* = (55…60 )°С, то *Kp* = 0,113– 0,127. Таким образом, всё электронагревательное оборудование, используемое для нагрева воды, при указанных температурах, имеет КПД = 11,3%–12,7%.

## Выводы

В настоящее время активно расширяется производство и эксплуатация вихревых теплогенераторов, наиболее активно в местах, где отсутствует централизованная система теплоснабжения. По себестоимости тепловой энергии лучшие модификации ВГТ приближаются к газовым котельным, которые сейчас являются самыми дешевыми производителями горячей воды. Это и другие преимущества ВГТ, по сравнению с традиционными, вызывают большой интерес у потребителей, т. к. у них появляется возможность существенно улучшить экологические и экономические показатели как промышленных предприятий, так и коммунального сектора (табл. 2).

**2. Стоимость производства тепловой энергии**

| Энергоноситель | Стоимость 1 Гкал тепловой энергии, руб |
|---|---|
| Газ | 605–850 |
| ВГТ | 900–950 |
| Электрокотлы | 1300 |
| Мазут | 1400–1450 |
| Дизельное топливо | 2000–2200 |

Вихревой гидравлический теплогенератор перспективно использовать в качестве автономной системы отопления и теплоснабжения в различных областях жизнедеятельности: объекты сельского хозяйства, коттеджные массивы, складские помещения и т. д.

ВГТ обеспечивает экологическую чистоту процесса выработки тепла, минимальные потери тепла при передаче его потребителю и высокую экономическую эффективность.

## Список литературы

1. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – М. : Машиностроение,1969. – 182 с.

2. Серебряков Р. А. Вихревая энергетика / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк // Современные проблемы совершенствования работы ж/д транспорта. – М. : РГОТУПС, 2006. – Т. 1. – С. 70–75.

3. Серебряков Р. А. Автономные, экономичные и экологически чистые системы локального теплоснабжения / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк // Науч. тр. ВИЭСХ. – 2000. – Т. 86. – С. 173–181.

4. Серебряков Р. А., Калиниченко А. Б. Вихревая энергетика / Р. А. Серебряков, А. Б. Калиниченко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – № 11. – 2011. – С. 28–29.

5. Серебряков Р. А. Оценка эффективности систем децентрализованного теплоснабжения на базе вихревых гидравлических теплогенераторов / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк, Б. М. Галицейский, А. В. Мартынов // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2004. – № 7. – С. 53–55.

6. Бирюк В. В. Вихревой гидравлический теплогенератор с улучшенными характеристиками / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков, С. С. Доставалова // Известия СГСА – 2015. – № 3. – С. 70–73.

7. Белозерцев В. В. Автономные, экономичные и экологически чистые системы локального теплоснабжения / В. В. Белозерцев, В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков // Возобновляемая энергетика для сельского хозяйства. Научные труды ВИЭСХ.– М. : ВИЭСХ, 2000. Т. 86. – С. 173–181.

8. Мартынов А. В. Что такое вихревая труба? / А. В. Мартынов, В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1976.

9. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1970.

10. Калиниченко А. Б. Исследование процессов преобразования энергии в вихревых гидравлических теплогенераторах / А. Б. Калиниченко, Б. Н. Родионов, Р. А. Серебряков // Наука и технология в промышленности. – 2003. – № 3. – С.10–15.

11. Запорожец Е. П. Гидроприводные теплогенераторы / Запорожец Е. П., Зиберт Г. К., Артемов А. В. – М. : ИРЦ Газпром, 2003. – С.15–21.

12. Запорожец Е. П. Интенсификация процессов химической технологии эжекционными струйными течениями жидкости и газа / Е. П. Запорожец, И. А. Александров // Химическая промышленность, 1991. – № 8. – С. 20–24.

13. Raleigh. On the Pressure Developed in a Liquid During the Collapse of a Spherical Cavity. – Phil. Mag. 1971. – V. 34. – P. 94–98.

14. Шарков В. Ф. Термодинамическая модель работы вихревой трубы / В. Ф. Шарков, В. В. Бреев. – М. : ИАЭ им. Курчатова, 1991.

15. Гуцол А. Ф. Эффект Ранка / А. Ф. Гуцол // Успехи физических наук.– 1997. – Т. 167. – № 6.

16. Васильев С. В. Кинематический фазовый переход. Энергетические аспекты кинематического фазового перехода / С. В. Васильев, В. В. Щенников. – М. : Институт автоматизации проектирования РАН, 2005.

17. Гринсин Х. Теория вращающихся жидкостей / Гринсин Х.–Л. : Гидрометеоиздат, 1975.

18. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – С. 28–143.

19. Мартынов А. В. Установки для трансформации тепла и охлаждения / А. В. Мартынов. – М. : Энергоатомиздат, 1989.

20. Бродянский В. М. Промышленная теплотехника и теплоэнергетика : справочник / В. М. Бродянский, А. М. Бакластов, Б. П. Голубев. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.

21. Бродянский В. М. Принципы определения КПД технических систем преобразования энергии и вещества / В. М. Бродянский, М. В. Сорин // Известия Вузов : Сер. Энергетика. –1985. – № 1. – С. 60–65.

22. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1976.

23. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэк. – М. : Мир, 1983.

24. Справочник машиностроителя. – М. : Машгиз, 1957. – Т. 2. – 142 с.

25. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Уонг Х.– М. : Атомиздат, 1979. – 189 с.

26. Черняк О. В. Основы теплотехники и гидравлики / О. В. Черняк. – М. : Высшая школа, 1969. – 115 с.

## ВИХРОВИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

***Р. А. Серебряков***

**Анотація.** *Викладено основні принципи роботи вихрових гідравлічних теплогенераторів (ВГТ), запропоновано варіант теоретичних основ роботи ВГТ і розроблено методику оцінки ефективності роботи ВГТ.*

**Ключові слова:** ***альтернативне джерело енергії, вихор, кавітатор, теплогенератор, ефективність***

## VORTEX HYDRAULIC HEAT GENERATOR

***R. Serebryakov***

**Annotation.** *The article describes the basic principles of hydraulic vortex generators, a variant of the theoretical foundations of the work of the VGT and method of evaluating the performance of VGT.*

**Key words:** ***alternative power source, vortex,cavitator, heat exchanger, efficiency***

УДК 631.53.027.34

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ ЛАЗЕРНИМ ПРОМЕНЕМ

***В. В. Сухін, аспірант****
***М. Л. Лисиченко, доктор технічних наук***
***Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка***
***e-mail: vitaly.suhin@yandex.ru***

**Анотація.** *Запропоновано математичну модель опромінення насіння сферичної форми лазерним променем для визначення величини опроміненості його точок поверхні, від значень якої залежить енергія проростання, схожість та загальна врожайність тієї або іншої сільськогосподарської культури.*

**Ключові слова:** ***лазер, насіння, математична модель, сферична форма***

Рослинництво є базовою галуззю виробництва сільськогосподарської продукції, найважливішим джерелом продовольчих ресурсів людства, основа його цивілізації [1].

---

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М. Л. Лисиченко

*© В. В. Сухін, М. Л. Лисиченко, 2016*

## ВИХРОВИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

***Р. А. Серебряков***

**Анотація.** *Викладено основні принципи роботи вихрових гідравлічних теплогенераторів (ВГТ), запропоновано варіант теоретичних основ роботи ВГТ і розроблено методику оцінки ефективності роботи ВГТ.*

**Ключові слова:** ***альтернативне джерело енергії, вихор, кавітатор, теплогенератор, ефективність***

## VORTEX HYDRAULIC HEAT GENERATOR

***R. Serebryakov***

**Annotation.** *The article describes the basic principles of hydraulic vortex generators, a variant of the theoretical foundations of the work of the VGT and method of evaluating the performance of VGT.*

**Key words:** ***alternative power source, vortex,cavitator, heat exchanger, efficiency***

УДК 631.53.027.34

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ ЛАЗЕРНИМ ПРОМЕНЕМ

***В. В. Сухін, аспірант****
***М. Л. Лисиченко, доктор технічних наук***
***Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка***
***e-mail: vitaly.suhin@yandex.ru***

**Анотація.** *Запропоновано математичну модель опромінення насіння сферичної форми лазерним променем для визначення величини опроміненості його точок поверхні, від значень якої залежить енергія проростання, схожість та загальна врожайність тієї або іншої сільськогосподарської культури.*

**Ключові слова:** ***лазер, насіння, математична модель, сферична форма***

Рослинництво є базовою галуззю виробництва сільськогосподарської продукції, найважливішим джерелом продовольчих ресурсів людства, основа його цивілізації [1].

---

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М. Л. Лисиченко

*© В. В. Сухін, М. Л. Лисиченко, 2016*

Відомо, що якість насіннєвого матеріалу значною мірою визначає якість і кількість отриманого врожаю. Сільськогосподарські виробники пред'являють до насіння певні вимоги, встановлені державним стандартом. Виробництво насіння включає ряд технологічних операцій: післязбиральне зберігання, передпосівна обробка, знезараження та посів [2].

Спеціалісти сільськогосподарського виробництва та вчені постійно шукають способи й засоби для підвищення посівних якостей насіння [3].

Нині для підвищення схожості та життєздатності на посівний матеріал впливають за допомогою різних видів передпосівної обробки. Найбільш розповсюджені на практиці: замочування, термообробка, хімічне протравлення, обробка біопрепаратами. Останніми роками дедалі більший інтерес наука і практика проявляють до фізичних методів обробки насіння. На сьогодні застосовують понад 40 фізичних способів впливу на насіння: гамма-випромінювання, ультразвук, воднево-плазмова обробка, рентгенівське випромінювання, магнітні поля та ін. [4].

Аналіз публікацій закордонних і вітчизняних авторів свідчить про позитивний вплив лазерного випромінювання на проростання насіння, ріст і розвиток рослин, підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Використання лазера є економічно вигідним та екологічно чистим [5].

**Мета досліджень –** розробка математичної моделі опромінення насіння сферичної форми (горох, соя та ін.) лазерним променем.

**Матеріали та методика досліджень.** Для початку розробки математичної моделі даного процесу використаємо відомий світлотехнічний закон зворотних квадратів, який встановлює залежність опроміненості поверхні $E$ (*Вт/м*$^2$) від сили $J_i$ (*Вт)* та кута $\alpha$ розміщення джерела випромінювання, а також відстані між джерелом та об'єктом опромінення $r_i$ (*м)* і має такий характер [6]:

$$E = \frac{J_i \cos\alpha}{r_i^2} = \frac{J_i \cos\alpha}{AM^2} \qquad (1)$$

де $J_i$ – сила джерела випромінювання, *Вт;*

$\alpha$ – кут між джерелом та об'єктом опромінення, град;

$r_i$ – відстань від джерела до об'єкта опромінення, м.

Для подальшого моделювання даного процесу побудуємо розрахункову схему на прикладі, наведеному в статті [7]. Схема зображена на рис.1.

Недоліком цієї схеми для модулювання даного процесу є кут розфокусування лазерного променю, наявність якого для опромінення об'єктів дуже малого розміру, яким є насіння, не є необхідним.

**Результати досліджень.** На опроміненій поверхні насіння, представленій для моделювання у вигляді сфери, виділимо елементарну площадку $dS$, яка містить точку $A(\rho;\theta;\alpha)$. З даної точки проведемо одиничний вектор $\vec{n}$ нормально до площини $dS$, а також одиничний вектор $\vec{n}_i$ – колінеарно вектору $\overrightarrow{MA}$. Кут між даними векторами позначимо за $\delta$.

Враховуючи форму об’єкта опромінення, яким є сфера, застосуємо її канонічне рівняння з центром на початку координатної системи, яке має наступний вигляд:

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \ . \qquad (2)$$

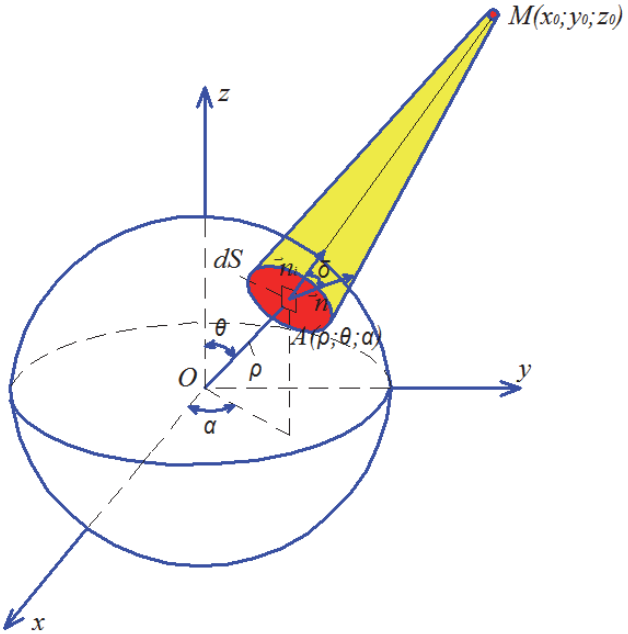



**Рис. 1. Розрахункова схема опромінення насіння сферичної форми лазерним променем**

Далі визначаємо координати вектора $\overrightarrow{MA}$, вважаючи його кінці відомими, але при цьому зробивши перехід від сферичних до декартових координат точки поверхні за наступними виразами:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \sin\theta \cdot \cos\alpha \\ y = \rho \cdot \sin\theta \cdot \sin\alpha \\ z = \rho \cdot \cos\theta \end{cases} \qquad (3)$$

Виходячи з цього, координати вектора $\overrightarrow{MA}$ будуть визначатися так:

$$\overrightarrow{MA} = (x_0 - x; y_0 - y; z_0 - z) \ . \qquad (4)$$

Далі проведемо нормування вектора $\overrightarrow{MA}$, яке необхідне для визначення одиничного вектора $\vec{n}_i$ колінеарного вектора $\overrightarrow{MA}$ наступним чином:

$$\vec{n}_i = \frac{\overrightarrow{MA}}{\left|\overrightarrow{MA}\right|} = \frac{(x_0 - x; y_0 - y; z_0 - z)}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2}} \qquad (5)$$

Для визначення одиничного вектора нормалі $\vec{n}$ побудуємо дотичну площину в точці $A(\rho;\theta;\alpha)$ поверхні сфери та зробимо перехід від явної до не-явної функції поверхні опромінення:

$$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0 \, . \qquad (6)$$

Далі проведемо визначення часткових похідних функції поверхні опромінення таким чином:

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{y,z=const} = (x^2 + y^2 + z^2 - R^2)'_x = 2x, \quad (7)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{x,z=const} = (x^2 + y^2 + z^2 - R^2)'_y = 2y, \quad (8)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial z}\right|_{x,y=const} = (x^2 + y^2 + z^2 - R^2)'_z = 2z. \quad (9)$$

В отримані часткові похідні функції поверхні підставляємо певні значення координат точки $A(\rho;\theta;\alpha)$, яка належить до елементарної площадки $dS$:

$$\frac{\partial u}{\partial x}(\mathrm{A}) = \frac{\partial u}{\partial x}(x,y,z) = 2x, \quad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y}(\mathrm{A}) = \frac{\partial u}{\partial y}(x,y,z) = 2y, \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z}(\mathrm{A}) = \frac{\partial u}{\partial z}(x,y,z) = 2z. \quad (12)$$

Отримані значення часткових похідних в даній точці $A(\rho;\theta;\alpha)$ поверхні опромінення підставимо у формулу, і, провівши ряд елементарних перетворень, отримаємо рівняння дотичної площини в даній точці:

$$x\cdot(x-x_0) + y\cdot(y-y_0) + z\cdot(z-z_0) = 0. \quad (13)$$

Виходячи з цього, одиничний вектор нормалі $\vec{n}$ дотичної площини в точці А опромінюючої поверхні буде мати наступний вигляд:

$$\vec{n} = (2x;2y;2z). \quad (14)$$

Маючи значення одиничного вектора нормалі $\vec{n}$ та одиничного вектора $\vec{n}_i$, можна визначити скалярний добуток даних векторів таким чином:

$$(\vec{n},\vec{n_i}) = 2x\cdot\left(\frac{x_0-x}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right) + 2y\cdot\left(\frac{y_0-y}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right) + 2z\cdot\left(\frac{z_0-z}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right) \quad (15)$$

Знаючи скалярний добуток даних векторів, проведемо визначення кута $\cos\delta$ між ними:

$$\cos\delta = \frac{2x\cdot\left(\frac{x_0-x}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right) + 2y\cdot\left(\frac{y_0-y}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right) + 2z\cdot\left(\frac{z_0-z}{\left|\overrightarrow{MA}\right|}\right)}{\left|\vec{n}\right|\cdot\left|\vec{n_i}\right|}. \quad (16)$$

Взявши зворотну від тригонометричної функції $\cos$, визначимо кут $\delta$ між цими векторами:

$$\delta = \arccos(\delta). \quad (17)$$

Провівши ряд нескладних перетворень та враховуючи наведені вище вирази, отримаємо функціональну залежність опроміненості поверхні сфери в залежності від кута $\delta$ і координат джерела й точки об'єкта опромінення:

$$E(\delta,\mathrm{r}) = J_i \cdot (2x \cdot (x_0 - x) + 2y \cdot (y_0 - y) + 2z \cdot (z_0 - z)) \cdot \sqrt{\frac{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2}{|\vec{n}| \cdot ((\frac{x_0 - x}{|\overrightarrow{MA}|})^2 + (\frac{y_0 - y}{|\overrightarrow{MA}|})^2 + (\frac{z_0 - z}{|\overrightarrow{MA}|})^2)}} \quad (18)$$

Визначаючи поверхневу опроміненість для даного об'єкта, скористаємося поверхневим інтегралом першого роду, який дасть змогу провести інтегрування по поверхні й визначити загальну або часткову опроміненість сфери. У даному випадку, потрібно визначити опроміненість поверхні сфери, яка знаходиться в I – октанті, виходячи з цього, для спрощення, проведемо заміну канонічного рівняння сфери на рівняння півсфери, яке має наступний вигляд:

$$z = \sqrt{R^2 - x^2 + y^2} \ . \quad (19)$$

Далі визначимо часткові похідні по даній функції:

$$\left.\frac{\partial z}{\partial x}\right|_{y=const} = (\sqrt{R^2 - x^2 - y^2})'_x = \frac{-x}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}, \quad (20)$$

$$\left.\frac{\partial z}{\partial y}\right|_{x=const} = (\sqrt{R^2 - x^2 - y^2})'_y = \frac{-y}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}} \ . \quad (21)$$

Потім отримані часткові похідні функції підставимо до формули, за якою визначаємо елемент площі поверхні сфери:

$$dS = \sqrt{1 + (\frac{\partial z}{\partial x})^2 + (\frac{\partial z}{\partial y})^2} \ . \quad (22)$$

Далі, отриманий вираз елемента площі поверхні сфери та функціональну залежність опроміненості $E$ від кута $\delta$ і координат точок поверхні опромінення, при фіксованих значеннях координат джерела випромінювання, підставимо у формулу:

$$I = \iint_D E(\delta, r) \cdot \frac{R^2}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}} dxdy \ . \quad (23)$$

Для зручності розрахунку даного інтегралу переходять від декартових до полярних координат точок поверхні сфери та встановлюють область інтегрування залежно від тієї або іншої частини даної поверхні. Отримана формула дає змогу визначати загальну або часткову опроміненість поверхні сфери для того або іншого її октанту.

## Висновки

Отже, у результаті побудови математичної моделі, отримана функціональна залежність опроміненості поверхні насіння, яке має сферичну форму, від кута $\delta$ і координат точок на опромінюючій поверхні $A(\rho;\theta;\alpha)$ та

координат джерела випромінювання $M(x_0; y_0; z_0)$. Окрім цього, сформовано вирази для визначення загальної або часткової опроміненості поверхні насіння тієї або іншої сільськогосподарської культури.

## Список літератури


1. Зінченко О. І. Рослинництво / Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. – К. : Аграрна освіта, 2001. – 591 с.
2. Наумов Г. Ф. Биологическая стимуляция семян подсолнечника как приём улучшения их посевных качеств и урожайности / Г. Ф. Наумов, Л. Ф. Носова // Селекция и семеноводство. – 1984. – Вып. 56. – С. 89–93.
3. Кильмакаев Т. А. Методы предпосевной обработки семян / Т. А. Кильмакаев. – Успехи современной биологии. – 1991. – Т. 111. – Вып. 1. – С. 134–37.
4. Журба П. Лазерные технологии промышленного возделывания сельскохозяйственных культур / П. Журба, Е. Журба // Технологическое оборудование и технологии. – 2010. – № 3. – С. 34–38.
5. Киселёв Е. П. Влияние обработки лазера на посевные качества семян и урожай томата / Е. П. Киселёв, В. И. Зайков, Н. И. Чернышев, Н. С. Аликина // Семеноводство и семеноведение овощных культур. – 2013. – № 2. – С. 42–46.
6. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
7. Міленін Д. М. Опромінення нерухомого яйця точковим джерелом / Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О. І. Завгородній // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Х. : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 164. – С. 58–61.


## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ


***В. В. Сухин, Н. Л. Лисиченко***



**Аннотация.** *Предложена математическая модель облучения семян сферической формы лазерным лучом для определения величины облученности его точек поверхности, от значений которой зависит энергия прорастания, всхожесть и общая урожайность той или иной сельскохозяйственной культуры.*



**Ключевые слова:** ***лазер, семена, математическая модель, сферическая форма***


## MATHEMATICAL MODEL OF SEED IRRADIATION BY THE SPHERICAL SHAPE OF THE LASER BEAM


***V. Sukhin, M. Lysychenko***



**Annotation.** *A mathematical model of a spherical shape radiation seed laser beam to determine the amount of radiation to the points on the surface, from which germination depends on the values, the germination and the overall yield of a crop.*



**Key words:** ***laser, seeds, mathematical model, spherical shape***

УДК 621.3.066.5/6:636

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ ПОВЕРХОНЬ КОНТАКТУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ

***В. В. Коробський, кандидат технічних наук***
***В. О. Гураль, студент магістратури***
***e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru***

**Анотація.** *Наведено результати дослідження морфології контактних поверхонь металокерамічних контакт-деталей на основі міді з домішками металів та інших термодинамічно стійких з'єднань. Зроблено рентгеноспектральний та металографічний аналіз контактних поверхонь, що сприяв виявленню закономірностей ерозійного руйнування розривних мостикових контактів на основі Cu.*

**Ключові слова:** ***контакт-деталь, контактний матеріал, ерозійне зношування, морфологія, металографічний аналіз, спектри випромінювання***

Металографічний аналіз робочих поверхонь композиційних контактів сприяє виявленню закономірностей електроерозійного зношування, встановленню причин, які викликають той чи інший вид ерозійного руйнування контактуючих поверхонь. Ерозійне зношування розривних контактів може бути викликане наявністю мостикової ерозії, дією короткої дуги (масоперенос від анода до катоду), виникненням плазмової дуги (переважно масоперенос від катоду до аноду). Відмітною морфологічною ознакою враження плазмовою дугою є суттєва різниця в розмірах катодних ($\alpha_к$) і анодних плям ($\alpha_a$), які залишаються на поверхні контактів, і, слід відзначити, що $\alpha_a < \alpha_к$, тоді як для короткої дуги характерно $\alpha_a = \alpha_к$ [7].

**Мета досліджень** – проведення металографічного та рентгено-спектрального аналізу контактних поверхонь і виявлення впливу енергетичних параметрів електричної дуги на величину електроерозійного зношування.

**Матеріали та методика досліджень.** Для дослідження було взято контакт-деталі пускачів, виготовлені з таких контактних матеріалів:

*1) 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%$Y_2O_3$ [1].*

*2) 81,3%Cu+10%Cr+3%$TiB_2$+3%Nb+2%C+0,7%Zr [6].*

Морфологічні дослідження поверхонь контактування проводилися за методикою, що викладена в роботах [2, 3], з використанням растрового електронного мікроскопа *«Cambridge Stereoscan» S4-10* з приставкою для рентгеноспектрального аналізу *Link System – 290* і рентгенівським мікроаналізатором «Camebax SX – 50».

*© В. В. Коробський, В. О. Гураль, 2016*

Твердість (мікротвердість) фазових складових композиційних спечених матеріалів, яка називається уявною твердістю, визначається методом Вікерса за допомогою приладу ПМТ-3. Вимірювання проводяться на 3 зразках кожного матеріалу. На кожному зразку здійснюється не менше, ніж 5 вимірів [4].

**Результати досліджень.** Проведений рентгеноспектральний аналіз контактів (рис. 1) уможливлює дослідження впливу енергії дуги на розподіл фаз складових матеріалу в поверхневих шарах.

На всіх нижченаведених знімках нерухомих контактів маємо велику густину струму, що призводить до утворення факельних струменів, які спричинюють руйнування іншого електроду. Оскільки струм змінний, то ми маємо картину руйнування на двох електродах, схожу між собою: оплавлений матеріал плюс перенесення матеріалу в паровій фазі (рис. 4 б).

Здебільшого, спостерігаються плями катодного типу (рис. 3 б, рис. 4 б) (маленькі крапки). У деяких випадках трапляються сполучення плям катодного та анодного типів (рис. 3 б) (великий овал із вкрапленням маленьких крапок). Руйнування електродів відбувається як при дії анодних, так і катодних плям, а також при дії плазмових струменів електричної дуги (одинарні факели –рис. 2 в, рис. 3 б; кратер великих розмірів – рис. 2 б, в).

Контактний матеріал плавиться, рідка фаза переноситься (рифлена поверхня і горбики нерівностей), з'являються катодні факели плазми (в основному формуються на нерухомих контактах (рис. 2 б)) і вони призводять до значного руйнування рухомих контактів (мостиків) (рис. 3). На рухомих контактах спостерігаються поодинокі місця виходу плазмових струменів, але, враховуючи те, що комутація відбувається на змінному струмі, то втрати й перенесення матеріалу відбуваються як з рухомого, так і з нерухомого контактів.

Збільшення вмісту Nb до 5% і більше призводить до посиленого випаровування міді під дією електричного дугового розряду в зв'язку зі значною різницею теплофізичних властивостей компонентів. У результаті, робоча поверхня збагачується ніобієм, а мідь знаходимо в незначних кількостях як невеликі кулеподібні частинки, які осіли з парової фази, в основному, на периферійних ділянках (рис. 2 б, рис. 4 б).

Збільшення вмісту хрому в композиції Cu-Cr створює більш сприятливий (порівняно з Nb) вплив на ерозійну стійкість контактів, у зв'язку з меншою різницею їх теплофізичних характеристик, незважаючи на наявність великої кількості осередків впливу електричної дуги (рис. 2); на всіх ділянках поверхні контакту мідь присутня як основний компонент, загалом, у вигляді загуслого при охолодженні розплаву (рис. 5 а, б). Основна частина розплаву міді, яка утворюється під опорними плямами дуги, вихлюпується на вінця контакт-деталі і загусає у вигляді великих скупчень по дотичній, а також виходить і за межі контакту, серед іншого, й у вигляді парової фази. При цьому робоча поверхня контакт-деталі характеризується значною кількістю ділянок, на які впливала електрична дуга.

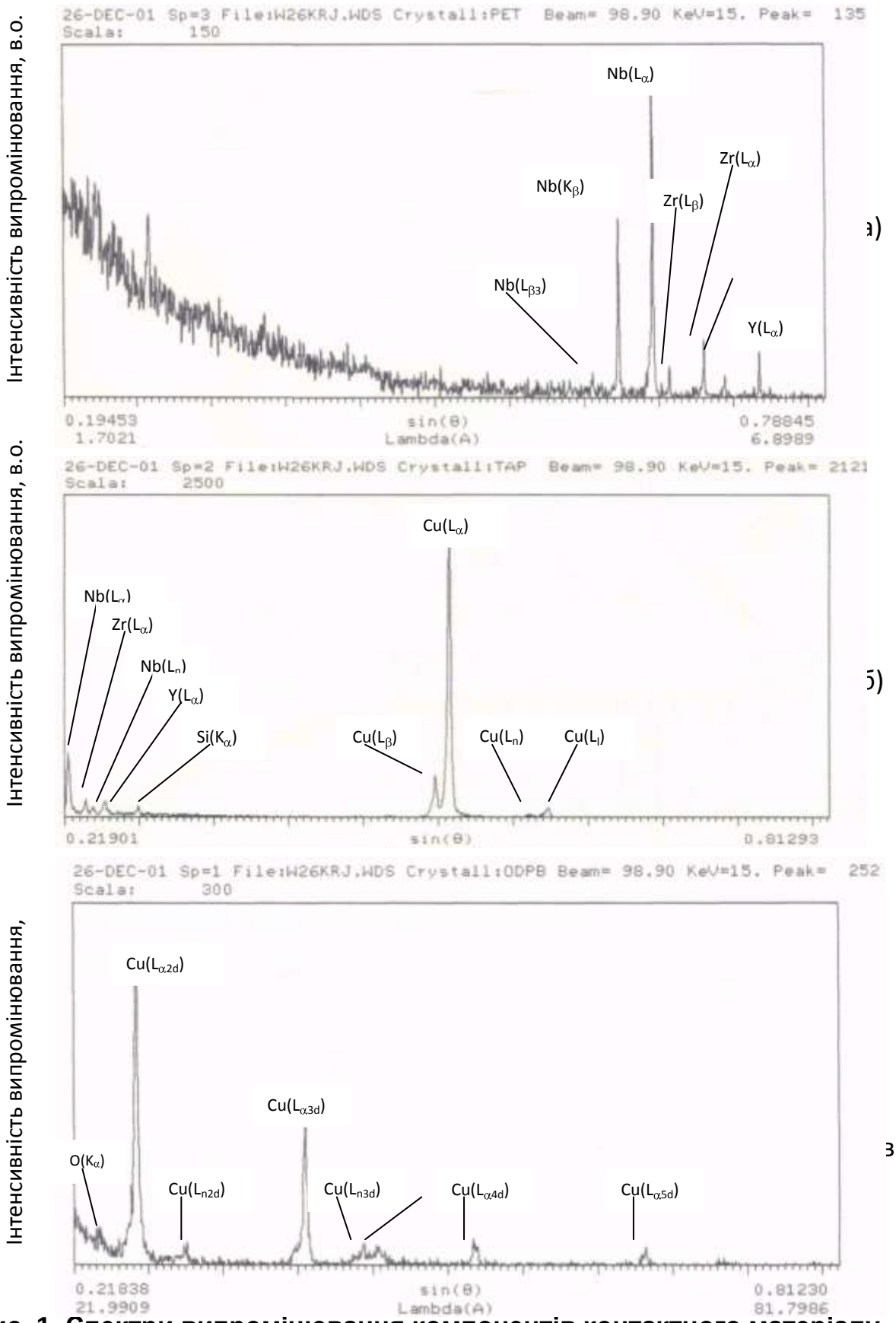



**Рис. 1. Спектри випромінювання компонентів контактного матеріалу 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%$Y_2O_3$, отримані за допомогою кристалічних аналізаторів: а) PET; б) TAP; в) ODPB**

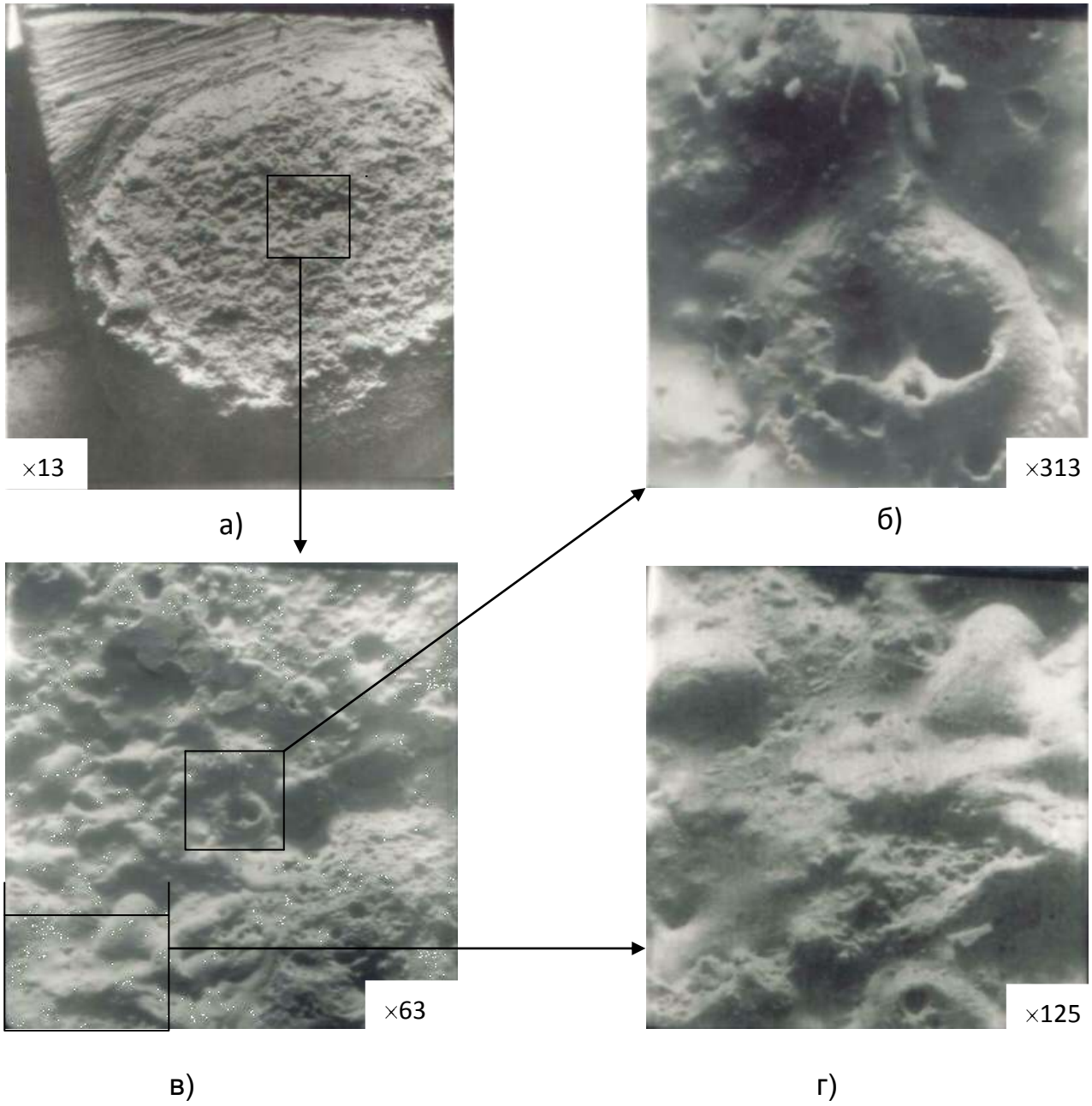



**Рис. 2. Мікроструктура нерухомих контакт-деталей після наробітку 150 тис. циклів комутацій. Матеріал 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%$Y_2O_3$**

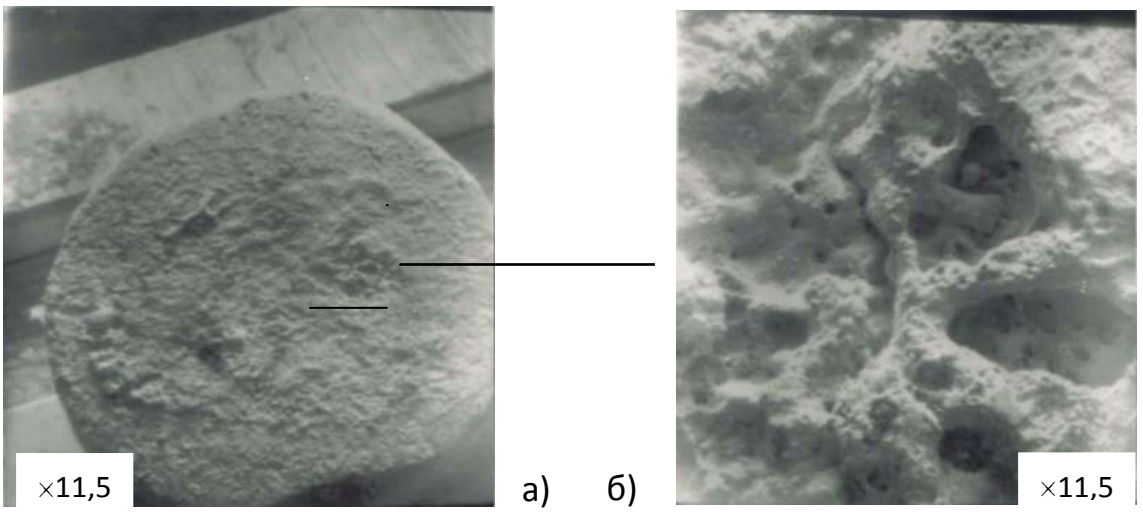



**Рис. 3. Мікроструктура рухомих контакт-деталей після наробітку 150 тис. циклів комутацій. Матеріал 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%Y2O3**

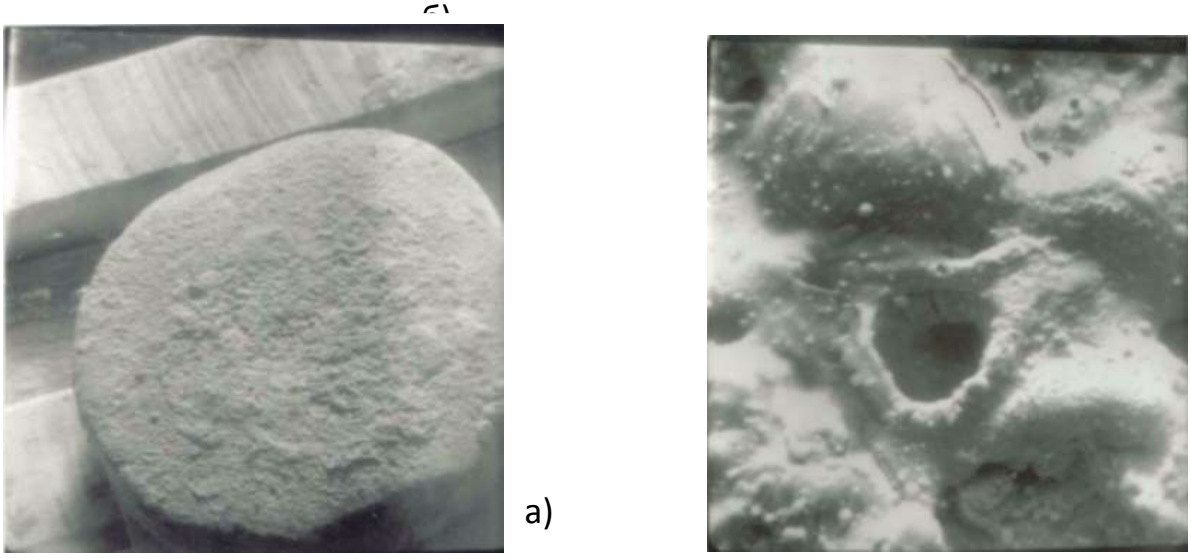



**Рис. 4. Мікроструктура рухомих контакт-деталей після наробітку 150 тис. циклів комутацій. Матеріал 81,3%Cu+10%Cr+2,0%$TiB_2$+3,0%Nb+2,0%C+0,7%Zr**

Така картина, можливо, визначається відомими даними, що стосуються умов горіння дуги на контактах: мінімальна напруга горіння дуги (45 В) відзначається на графітових контактах, порівняно з основними металами, які застосовуються в контактній техніці [5].

Зміцнюється мідна матриця включеннями оксиду ітрія $Y_2O_3$ і цирконія Zr (невеликі за розміром) (рис. 5 а, в). Твердість матриці

становить 85–90 кг/мм$^2$, на включеннях $Y_2O_3$ і Zr підвищується до 100–115 кг/мм$^2$. На включеннях Nb твердість збільшується до 165–190 кг/мм$^2$ і розмір відбитка приладу ПМТ – 3 є меншим за розміром.

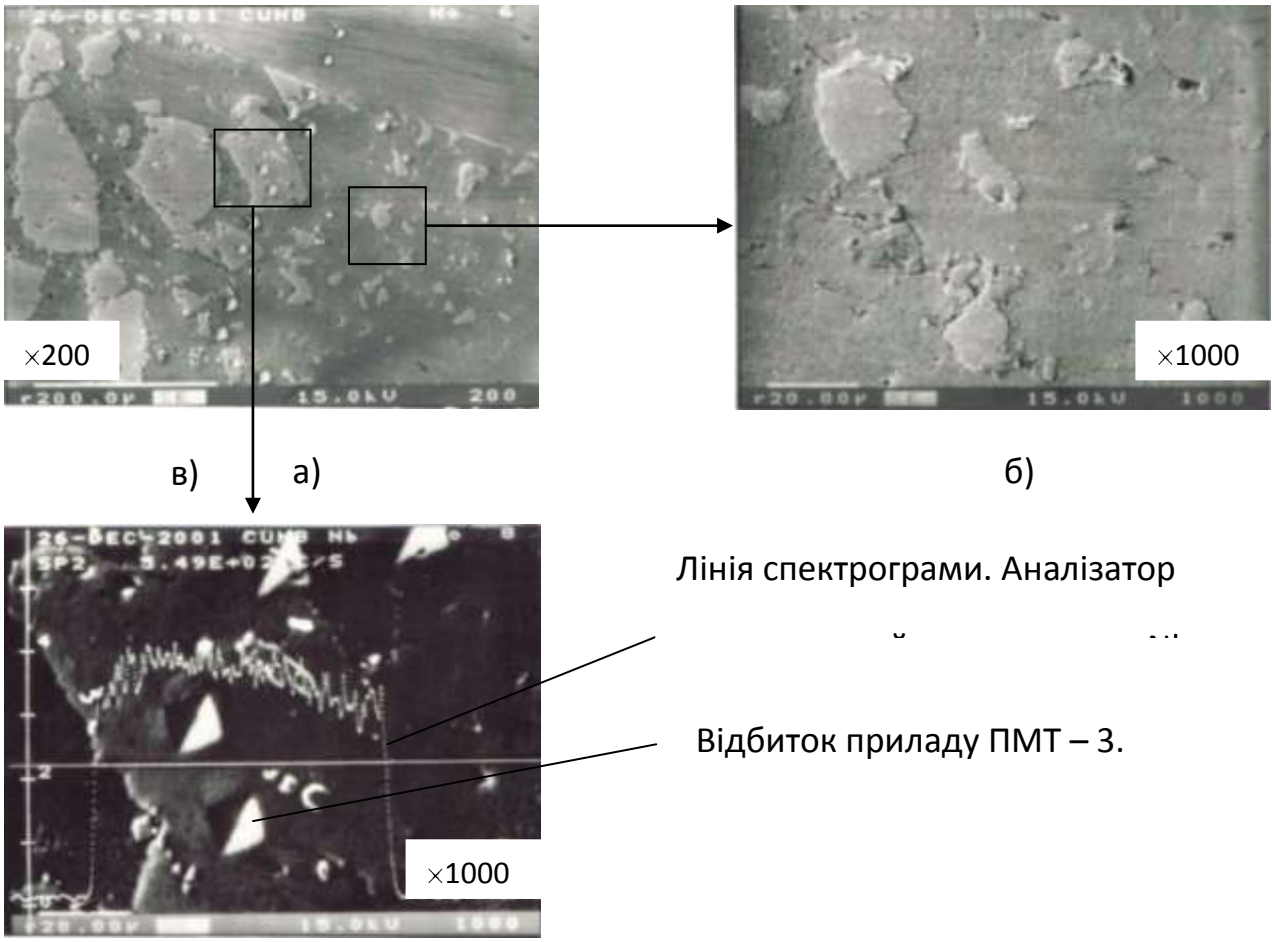



**Рис. 5. Мікроструктура робочої поверхні контактів. Матеріал 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%Y2O3**

а) – розподілення мікротвердості по площині перерізу контакту;
б) – включення частинок Zr і Y2O3; в) – включення частинок Nb

## Висновки

1. Катодні факели з нерухомого контакту активніше руйнують рухомий контакт, тому можна рекомендувати на рухомий контакт більш ерозійностійкий матеріал.

2. Значний об'ємний вміст графіту в стандартних композиціях Cu-C запобігає зварюванню контактних поверхонь під впливом дугового розряду як за рахунок віддувного ефекту, який пов'язаний з утворенням великих об'ємів летючих оксидів (CO, $CO_2$), так і за рахунок плівки, яка осідає з парової фази на робочі поверхні контактів. При цьому порушується і без того слабка міцність зчеплення ділянок мідного каркасу, що призводить до великих локальних перегрівань міді і, отже, до значного руйнування контакт-деталі.

3. Ерозійне зношування контактів пускачів відбувається при дії плазмових струменів електричної дуги змінного струму, що морфологічно підтверджується фотознімками робочої поверхні контактів.

## Список літератури


1. А.с. №1677723 СРСР, МКИ$^5$ Н 01 Н 1/02, С 22 С9/00. Спечений матеріал на основі міді для електричних контактів / Донцова Т. О., Братерська Г. М., Коханівський С. П., Наливайко В. А., Коробський В. В., Григор'єв А. А. (СРСР); УСГА. – № 4755177/02 ; заявл. 01.11.89 ; опубл.15.09.91, Бюл. №34. – 2 с.
2. Коробський В. В. Спеціальні дослідження робочих поверхонь контактів електромагнітних пускачів ПМЛ-1100 / В. В.Коробський // Наук. вісн. НУБІП. Серія "Техніка та енергетика в АПК", Вип. № 174, ч. 2. – 2012. – С. 120–126.
3. Крячко Л. А. Особенности структурообразования и поведения при эксплуатации слаботочных электроконтактных материалов, содержащих фторид кальция / Л. А.Крячко, В. Н Падерно, В. И. Коваленко // Порошковая металлургия. – 1992. – № 9. С. 84–88.
4. Матеріали металеві, спечені, крім твердих сплавів. Визначення уявної твердості матеріалів в основному з рівномірною твердістю у перерізі : ДСТУ 3668-97 (ISO 4498-90).– [Чинний від 01.07.1999].– К. : Держспоживстандарт України, 1997. – 8 с.
5. Мелашенко И. П. Металлокерамические размыкаемые контакты с мелкодисперстной структурой / И. П. Мелашенко, В. М.Малышев, Д. В.Румянцев // Электротехнические металлокерамические изделия. – М. : ВНИИЭМ, 1965. – С. 57–61.
6. Пат. № 1790821 СРСР, МКИ$^5$ Н 01 Н 1/02, С 22 С 9/00. Спечений електроконтактний матеріал на основі міді / Братерська Г. М., Коханівський С. П., Донцова Т. О., Наливайко В. А., Сагач М. Ф., Коробський В. В. (СРСР) ; УСГА і ІПМ АН УРСР ; заявл. 22.05.91. (для службового користування). Відкритим друком не опубліковано.
7. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Издательство иностранной литературы, 1961. – 464 с.


# ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ


***В. В. Коробский, В. О. Гураль***



**Аннотация.** *Приведены результаты исследования морфологии контактных поверхностей металлокерамических контакт-деталей на основании меди с примесями металлов и других термодинамически стойких соединений. Проведен рентгеноспектральный и металлографический анализ контактных поверхностей, который способствовал выявлению закономерностей эрозионного разрушения разрывных мостиковых контактов на основаниии Си.*



**Ключевые слова:** ***контакт-деталь, контактный материал, эрозионный износ, морфология, металлографический анализ, спектры излучения***

## STUDY CONTACTING SURFACE MORPHOLOGY USING AN ELECTRON MICROSCOPE

***V. Korobsky, V. Gural***

**Annotation.** *The results of the study the morphology of the contact surfaces of sintered contact components on the basis of copper and metal impurities and other thermodynamically stable compounds. Spend X-ray and metallographic analysis of the contact surfaces, which helped to identify patterns of erosion frangible bridge contacts on the basis of Cu.*

**Key words:** ***contact-details, contact material, erosive wear, morphology, metallographic analysis, emission spectra***

УДК 621.311

## ТЕХНОЛОГИИ И КОМПОНЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

***Н. С. Филиппченкова, аспирантка****
***В. А. Панченко, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хазяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: pancheska@mail.ru***

**Аннотация.** *Рассмотрены технологии изготовления, характеристики материалов и основных конструктивных элементов солнечных теплофотоэлектрических модулей. Проведён сравнительный анализ технологий, используемых при изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей. Определены условия эффективной работы фотоэлектрических преобразователей, выявлены основные требования, предъявляемые к компонентам и режимам работы теплофотоэлектрических модулей. Показана необходимость в проведении исследований, позволяющих повысить эффективность теплофотоэлектрических модулей, разработать оптимальную конструкцию и обеспечить работу фотоэлектрических преобразователей в наиболее благоприятных условиях.*

**Ключевые слова:** ***энергоснабжение, солнечный коллектор, фотоэлектрическая установка, солнечный теплофото-электрический модуль***

---

*Научный руководитель В.А. Панченко.

*© С. Филиппченкова, В. А. Панченко, 2016*

## STUDY CONTACTING SURFACE MORPHOLOGY USING AN ELECTRON MICROSCOPE

***V. Korobsky, V. Gural***

**Annotation.** *The results of the study the morphology of the contact surfaces of sintered contact components on the basis of copper and metal impurities and other thermodynamically stable compounds. Spend X-ray and metallographic analysis of the contact surfaces, which helped to identify patterns of erosion frangible bridge contacts on the basis of Cu.*

**Key words:** ***contact-details, contact material, erosive wear, morphology, metallographic analysis, emission spectra***

УДК 621.311

## ТЕХНОЛОГИИ И КОМПОНЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

***Н. С. Филиппченкова, аспирантка****
***В. А. Панченко, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хазяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: pancheska@mail.ru***

**Аннотация.** *Рассмотрены технологии изготовления, характеристики материалов и основных конструктивных элементов солнечных теплофотоэлектрических модулей. Проведён сравнительный анализ технологий, используемых при изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей. Определены условия эффективной работы фотоэлектрических преобразователей, выявлены основные требования, предъявляемые к компонентам и режимам работы теплофотоэлектрических модулей. Показана необходимость в проведении исследований, позволяющих повысить эффективность теплофотоэлектрических модулей, разработать оптимальную конструкцию и обеспечить работу фотоэлектрических преобразователей в наиболее благоприятных условиях.*

**Ключевые слова:** ***энергоснабжение, солнечный коллектор, фотоэлектрическая установка, солнечный теплофото-электрический модуль***

---

*Научный руководитель В.А. Панченко.

*© С. Филиппченкова, В. А. Панченко, 2016*

Во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) уже несколько десятилетий проводятся исследования солнечных фотоэлектрических и теплофотоэлектрических установок. Такие установки создаются как в планарном исполнении, так и в составе с концентраторами солнечного излучения. На рис. 1 представлен один из теплофотоэлектрических приёмников концентраторной солнечной установки [1].

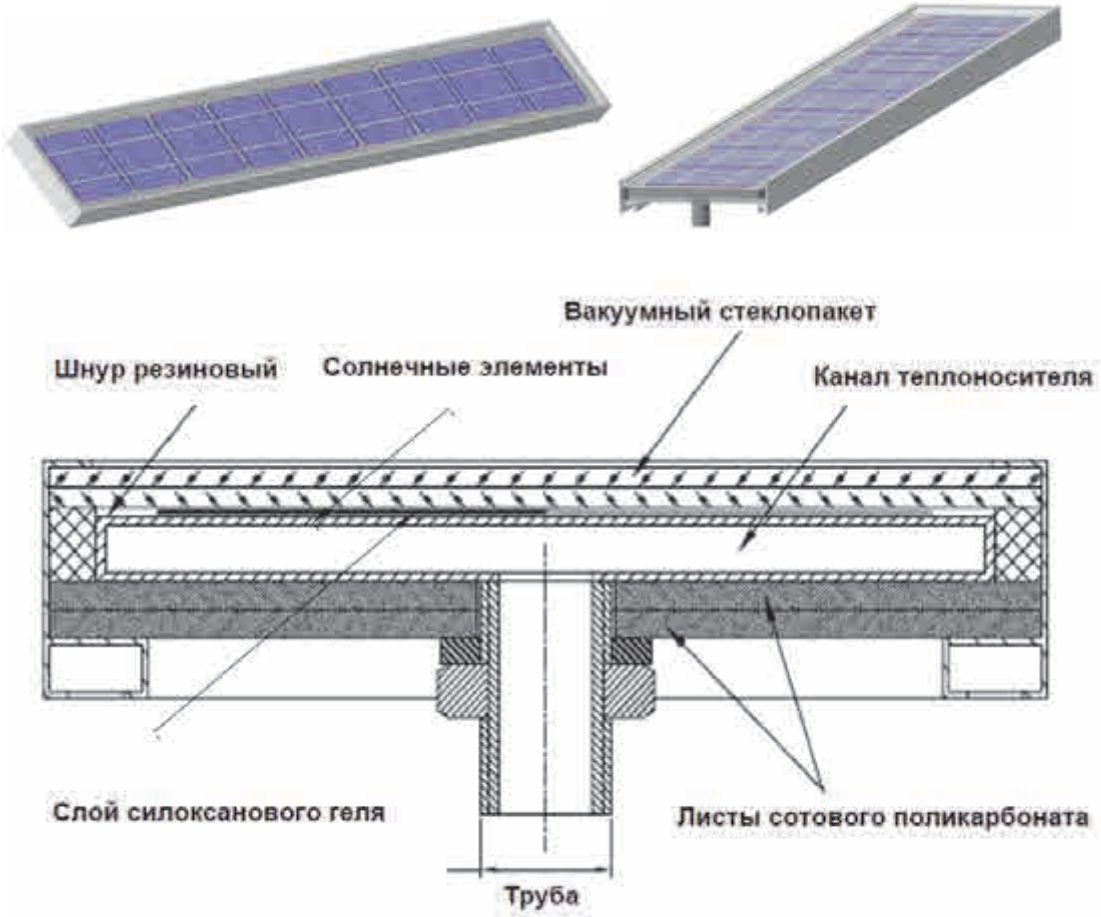



**Рис. 1. Общий вид теплофотоэлектрического приёмника и его поперечное сечение**

В качестве герметизирующего и капсулирующего материала солнечных элементов в подобных теплофотоэлектрических модулях используется разработанный в ВИЭСХ полисилоксановый двухкомпонентный кремнийорганический оптически прозрачный низкомодульный гель [2, 3], толщина слоя которого может варьироваться в зависимости от необходимости и расчётных характеристик от 0,1 мм до 2 мм и более.

Цель исследований – анализ технологий и компонентов, используемых при изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей.

**Результаты исследований.** Сравнительные характеристики солнечных модулей, изготовленных по технологиям капсулирования компаундом (рис. 2) и ламинирования со стандартным термопластичным заполнителем на основе сополимера EVA (этилен – винилацетата) представлены в табл. 1 [2, 3].

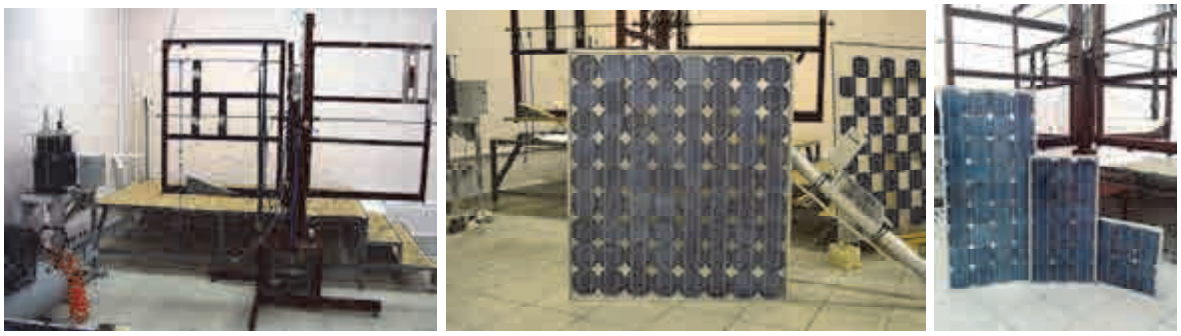


**Рис. 2. Установка для заливки двухкомпонентного полисилоксанового компаунда и изготовленные с её помощью солнечные модули**

**1. Сравнительные характеристики технологических процессов герметизации компаундом (силиконовый гель) и ламинирования (EVA)**

| Параметр, характеристика | EVA (этиленвинилацетат) | Полисилоксановый компаунд |
|---|---|---|
| Температурный диапазон эксплуатации материала-заполнителя | - 40 ÷ + 85 °C | - 60 ÷ + 260 °C |
| Стойкость к ультрафиолету | низкая | высокая |
| Срок службы модуля без концентрации солнечной энергии (умеренный и холодный климат, сухой тропический климат) | 20–25 лет | 40 лет |
| Срок службы модуля в установке с концентрацией солнечного излучения равной 3,5 крат | 0,5–1 год | не менее 20 лет |
| Коэффициент преломления | 1,482 | 1,406 |
| Прозрачность для солнечного излучения с различными длинами волн | 8 % ($\lambda$ = 360 нм)<br>62 % ($\lambda$ = 400 нм)<br>91 % ($\lambda$ = 600 ÷ 1000 нм) | 90 % ($\lambda$ = 360 нм)<br>92 % ($\lambda$ = 400 нм)<br>93 % ($\lambda$ = 600 ÷ 1000 нм) |
| Корродирующий агент при изготовлении | уксусная кислота | нет |
| Корродирующий агент при старении | уксусная кислота | нет |
| Выделение вредных летучих веществ в процессе герметизации модуля | Оксиды углерода, активный кислород, уксусная кислота | нет |
| Механическое напряжение<br>при изготовлении<br>при старении | <br>есть<br>есть | <br>нет<br>нет |
| Модуль упругости | 10,0 N/мм$^2$ | 0,006 N/мм$^2$ |
| Линейный коэффициент теплового расширения | 4,0 x $10^{-4}$ $K^{-1}$ | 2,5 x $10^{-4}$ $K^{-1}$ |
| Потребление электроэнергии при изготовлении модуля | 40 кВт·ч | 5 кВт·ч |

Из таблицы виден ряд отличительных положительных моментов при использовании технологии капсулирования солнечных элементов двухкомпонентным компаундом по сравнению со стандартной технологией ламинирования.

При изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей могут быть использованы энергосберегающие вакуумные стеклопакеты [4]. Они предназначены для герметизации солнечных элементов при изготовлении солнечных модулей и создания теплосберегающих прозрачных экранов в конструкциях зданий и теплиц в виде различных стеклянных покрытий (оконные проёмы, лоджии, зимние сады, оранжереи и т. п.).

Использование вакуумных паяных стеклопакетов позволяет в значительной мере решить проблемы энергосбережения. В ВИЭСХ совместно с предприятиями электронной промышленности разработаны принципиально новые вакуумные стеклопакеты, обладающие уникальными свойствами. В новых стеклопакетах нет клееной рамки, а стёкла соединены друг с другом по торцам сваркой или пайкой. В результате, срок службы, определяемый ресурсом сохранения герметичности, составляет 40–50 лет, вакуумный зазор составляет 40 мкм, а толщина – 6 мм. Воздух в пространстве между стеклами заменён на вакуум, что значительно улучшает теплоизолирующие и шумопоглощающие свойства. В табл. 2 представлены сопротивления теплопередачи различных материалов и конструкций.

**2. Сопротивления теплопередачи различных материалов и конструкций [4]**

| Наименование | Толщина, мм | Сопротивление теплопередачи, м2·°К/Вт |
|---|---|---|
| Один лист стекла | 6 | 0,17 |
| Два листа стекла с зазором 16 мм | 30 | 0,37 |
| Вакуумный стеклопакет | 6 | 0,44 |
| Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на одном стекле | 6 | 0,85 |
| Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стёклах | 6 | 1,2 |
| Двойной вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах | 12 | 2,0 |
| Кирпичная стена толщиной 2,5 кирпича | 64 | 1,2 |

Из табл. 2 видно, что при наличии ИК-покрытия на стёклах сопротивление теплопередачи может быть увеличено в 10 раз, по сравнению с одинарным остеклением.

Фотоприёмник теплофотоэлектрического солнечного модуля – абсорбер с каналом теплоносителя, в котором происходит нагрев этого теплоносителя, выполняется из стали. Стенки канала теплоносителя представляют собой стальные листы толщиной 1,5 мм по всей площади с

коэффициентом теплопроводности $\lambda_{мат.абс.}$ = 52 Вт/(м·К) (теплопроводность стали) [5]. Использование алюминия в качестве материала для абсорбера с точки зрения лучшей теплопроводности предпочтительнее (теплопроводность алюминия $\lambda_{Al}$ = 203,5 Вт/(м·К)), однако, следует учитывать высокую стоимость алюминия и трудности при изготовлении изделий из него – алюминий трудно поддаётся сварке. Сварка алюминия и его сплавов – это трудоёмкая и технологически сложная операция, требующая наличия определённых знаний и умений. На поверхности алюминиевых изделий всегда присутствует окисная пленка $Al_2O_3$, которая имеет температуру плавления около 2040 °С, в то время как плавление самого металла осуществляется при температуре 660 °С. Высокая теплопроводность алюминия вызывает необходимость использования большого значения рабочего тока. Оно должно быть в 1,5–2 раза больше, чем ток для сварки стальных изделий [6].

В табл. 3 приведено сравнение основных характеристик теплоизолирующих материалов, которые применяются в конструкции солнечных теплофотоэлектрических модулей (сотовый поликарбонат (СПК), монолитный поликарбонат (МПК), вспененный полиэтилен, пенопласт, экструдированный пенопласт) [7].

**3. Сравнение основных характеристик теплоизолирующих материалов**

| Свойства | СПК | МПК | Вспененный полиэтилен | Пено-пласт | Экструдирован-ный пенопласт |
|---|---|---|---|---|---|
| Плотность, кг/м$^3$ | 1200 | 1200 | 30–90 | 18–35 | 28–38 |
| Температура применения, °С | от -60 до +130°С | от -60 до +130°С | от -80 до +105°С | от -200 до +85°С | от -50 до +75° |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С | 0,2 | 0,3 | 0,032–0,037 | 0,037 | 0,03 |
| Прочность на сжатие, МПа | 80–100 | 80–100 | 0,35 | 0,25–0,35 | 0,25 |
| Предел прочности, МПа | 95 | 60–70 | - | 0,35–0,5 | 0,4–0,7 |
| Модуль упругости, МПа | 2250 | 2200–2300 | 0,26–0,77 | - | 15 |
| Горючесть, группа | В1 | Г1 | Г2 | Г1-Г2 | Г3 |

В качестве теплоизоляционного материала в разработанном теплофотоэлектрическом модуле используются два листа прозрачного сотового поликарбоната толщиной 4 мм каждый с коэффициентом теплопроводности λсот. = 0,2 Вт/(м·К) [8]. Сотовый поликарбонат отличается по строению от монолитных листов – он сформирован из двух листов, наложенных друг на друга и объединённых ребрами жесткости,

которые образуют полые каналы – "соты". Конструкции из сотового поликарбоната имеют низкий коэффициент теплопроводности, поскольку наполнены воздухом, и служат хорошим теплоизолятором. Сотовый поликарбонат обладает исключительно высокой стойкостью к неблагоприятным условиям внешней среды. Коэффициент линейного термического расширения для данного материала составляет 0,0065 мм/м°С. При горении поликарбонат не выделяет газов токсичных и опасных для человека и животных [9]. В табл. 4 представлены основные характеристики сотового поликарбоната.

**4. Основные характеристики сотового поликарбоната**

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Плотность материала, кг/м$^3$ | 1200 |
| Предел прочности при растяжении, МПа | 60 |
| Относительное удлинение при разрушении, % | 95–120 |
| Предел прочности при изгибе, МПа | 95 |
| Модуль упругости при изгибе, МПа | 2250 |
| Твердость по Роквеллу | 95 |
| Максимальная температура эксплуатации, $^o$C | 130 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) | 0,2 |
| Температура размягчения по Вика, $^o$C | 150 |
| Температура устойчивости под нагрузкой, $^o$C (0,46 МПа) | 136–144 |
| Температура устойчивости под нагрузкой, $^o$C (1,8 МПа) | 124131 |
| Воспламеняемость (DIN 4102) | B1 |
| Светопропускание, % (для прозрачных марок) | 77-88 |

Для охлаждения солнечных элементов в солнечном теплофотоэлектрическом модуле используется теплоноситель, циркулирующий в канале фотоприёмника – абсорбера. Основными требованиями, предъявляемыми к теплоносителю, являются:

- способность переносить максимум тепла за короткое количество времени по периметру рабочего участка;
- минимум теплопотерь;
- небольшая вязкость, так как этот показатель влияет на скорость прокачки;
- теплоноситель не должен быть причиной возникновения коррозии составных частей и механизмов системы, иначе возникнет ограничение при их выборе;
- теплоноситель должен быть безопасным для потребителей, то есть не превышать нормы по температуре возгорания или токсичности;
- важным фактором является также стоимость теплоносителя: он должен быть или сравнительно дешевым, или, в случае дороговизны, обладать свойствами, позволяющими использовать его долгое время без замены [10].

С наступлением периодов с отрицательной температурой окружающей среды становится актуальным использование "незамерзайки" – незамерзающей жидкости для системы циркуляции теплоносителя [11].

Трубы, наполненные подобным теплоносителем, не лопнут при низкой температуре. Носителем тепловой энергии данного типа является антифриз. Как правило, он рассчитан на работу до температуры -30 °С или -65 °С. Если температура опускается ниже нормы, антифриз, в отличие от воды, не твердеет, а переходит в гелеобразное состояние. Возвращаясь в жидкое состояние, он не теряет своих первоначальных свойств и не несет угрозы для теплосистемы. Для удаления накипи или очагов коррозии производители добавляют различные присадки – специальные ингибиторы. Благодаря им, период службы системы циркуляции теплоносителя увеличивается. Однако следует помнить, что антифриз – не универсальная жидкость, и присадки подходят только для определенных материалов конструкции. Некоторые из них способны разрушить полимерные трубы, другие – вызвать коррозию электрохимического типа. В табл. 5 приведены сравнительные характеристики антифризов.

**5. Сравнительные характеристики антифризов компании ОАО «Технoформ» (Россия) [10]**

| Характеристика, размерность | Концентрат Hot Stream C | Hot Stream 65 | Hot Stream 30 | Hot Stream 20 | Вода |
|---|---|---|---|---|---|
| Концентрация объёмная, % | 100 | 66 | 44 | 34 | - |
| Концентрация массовая, % | 100 | 69 | 48 | 37 | - |
| Температура кристаллизации, °С | -15 | -65 | -30,2 | -20,2 | 0 |
| Температура потери текучести, °С | не измеряется | не измеряется | -37,3 | -25,9 | 0 |
| Температура кипения (при 1 атм), °С | Более +170 | +116 | +108 | +105 | +100 |
| Плотность при 20°С, г/см$^3$ | 1,111 | 1,084 | 1,062 | 1,047 | 0,998 |
| Теплоёмкость при 20°С, кДж/кг К | 2,4 | 3,1 | 3,5 | 3,7 | 4,2 |
| Теплопроводность при 20°С, Вт/м К | 0,27 | 0,38 | 0,42 | 0,46 | 0,60 |
| Кинематическая вязкость при 20°С, мм$^2$/с | 28 | 7,2 | 3,6 | 2,7 | 1,0 |
| Электропроводность при 20°С, мкСм/см | 500 | 2000 | 2500 | 2500 | 0–1 |
| Поверхностное натяжение, мН/м | 48 | 53 | 56 | 60 | 73 |
| Коэффициент расширения при 20°С, %/К | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| Показатель преломления при 20°С | 1,4300 | 1,4005 | 1,3820 | 1,3695 | 1,3330 |
| pH при 20°С | 8,6 | 8,6 | 8,5 | 8,3 | 7–8 |

У антифризов, в сравнении с водой, кроме преимуществ, можно выявить и ряд недостатков:

– повышенная вязкость требует оснащения оборудования мощным циркуляционным насосом;

– более низкая теплоёмкость, следовательно, количество отдаваемого тепла меньше;

– более тщательно следует герметизировать разъёмные соединения;

– требуются радиаторы, которые по объёму на 50 % больше, чем аналогичные для воды;

– необходим расширительный закрытый бак, так как во время нагрева происходит повышенное расширение;

– токсичные вещества (например, этиленгликоль) в составе антифризов ограничивают их применение в целях безопасности и экологичности.

Преимущественное использование воды объясняется её наивысшей среди всех жидкостей теплоёмкостью и высокой плотностью, вода отличается от синтетических веществ токсикологическими и экологическими свойствами, она абсолютно безопасна для людей. В случае утечки, она не причинит вреда, её легко восполнить, залив в систему недостающее количество воды. У данного теплоносителя нет конкурентов и по стоимости – более дешёвой жидкости нет.

## Выводы

Необходимо отметить, что в настоящий момент технологии производства солнечных модулей являются довольно освоенными и отработанными, а большинство исследований связано с изучением теплофотоэлектрических модулей, созданных на основе традиционных солнечных коллекторов. С другой стороны, есть необходимость особенного подхода к выбору конструкций, материалов и режимов работы теплофотоэлектрических модулей. В этой связи, возникает потребность в проведении исследований, позволяющих повысить эффективность теплофотоэлектрических модулей, выработать оптимальную конструкцию и, по возможности, обеспечить работу фотоэлектрических преобразователей в наиболее благоприятных условиях.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что, подходя к вопросу подбора основных конструкционных материалов и технологий для создания теплофотоэлектрических солнечных модулей, следует предъявлять ряд важных требований к материалам и сочетанию различных свойств каждого компонента ввиду сложности конструкции данного типа солнечных модулей.

## Список литературы

1. Пат. № 2546332 РФ. Гибридный фотоэлектрический модуль / Стребков Д. С., Иродионов А. Е., Персиц И. С., Филиппченкова Н. С. – № 2013154732/07 ; заявл. 11.12.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.

2. Стребков Д. С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы / Д. С. Стребков, И. С. Персиц, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3 (8). – С. 154–158.

3. Панченко В. А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, И. С. Персиц // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 55–60.

4. Пат. № 2382162 РФ. Вакуумированный стеклопакет с индикатором / Митина И. В., Стребков Д. С., Трушевский С. Н., Алехина М. Б., Ануров С. А. – № 2008151043/03 ; заявл. 24.12.2008 ; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5.

5. Электронный ресурс URL: http://www.xiron.ru/content/view/58/28/ (дата обращения 04.03.2016).

6. Электронный ресурс URL: http://moyasvarka.ru/process/texnologiya-svarki-alyuminiya.html (дата обращения 03.03.2016).

7. Технические характеристики вспененного полиэтилена. ISOLUX group. URL: http://www.tsstrade.ru/catalogue/insulation/polietilen/teplofol/ (дата обращения: 06.02.2016).

8. Электронный ресурс URL: http://polikarbonatstroy.ru/osobennosti/teploprovodnost-polikarbonata.html (дата обращения 03.03.2016).

9. Электронный ресурс URL: http://srbu.ru/stroitelnye-materialy/237-tekhnicheskie-kharakteristiki-sotovogo-polikarbonata.html (дата обращения 03.03.2016).

10. Электронный ресурс URL: http://aqua-rmnt.com/otoplenie/radiatory/teplonositel-dlya-sistem-otopleniya.html (дата обращения 01.02.2016).

11. Электронный ресурс URL: http://www.cool-stream.ru/hotstream/ (дата обращения 05.01.2016).

## ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМПОНЕНТИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

***Н. С. Філіппченкова, В. А. Панченко***

**Анотація.** *Розглянуто технології виготовлення, характеристики матеріалів і основних конструктивних елементів сонячних теплофотоелектричних модулів. Проведено порівняльний аналіз технологій, що використовуються при виготовленні сонячних теплофотоелектричних модулів. Визначено умови ефективної роботи фотоелектричних перетворювачів, виявлено основні вимоги, що пред'являються до компонентів і режимів роботи теплофотоелектричних модулів. Показано необхідність проведення досліджень, що дають змогу підвищити ефективність теплофотоелектричних модулів, розробити оптимальну конструкцію і забезпечити роботу фотоелектричних перетворювачів у найсприятливіших умовах.*

**Ключові слова:** ***енергопостачання, сонячний колектор, фотоелектрична установка, сонячний теплофотоелектричний модуль***

# TECHNOLOGIES AND COMPONENTS USED IN THE MANUFACTURE OF SOLAR HEAT PV MODULES

***N. Filippchenkova, V. Panchenko***

**Annotation.** *The article deals with the manufacturing processes, characteristics of the materials and the basic design elements of solar photovoltaic thermal modules. Spend a survey comparative analysis of technologies used in the manufacturing of solar photovoltaic thermal modules. Identified the conditions for the efficient operation of photovoltaic cells, identified the main requirements for the components and operation modes of solar photovoltaic thermal modules. Shown the necessity in studies for improving the efficiency of the solar photovoltaic thermal modules to develop an optimal design and ability to provide photovoltaic cells work in the most favorable conditions.*

**Key words:** ***energy power supply, solar collector, photovoltaic installation, solar photovoltaic thermal module***

УДК 004:631.153.3

# АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ ГЕОПОРТАЛІВ ЯК ОСНОВНОЇ СКЛАДОВОЇ ГІС ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

***М. І. Васюхін, доктор технічних наук***
***Ю. Ю. Іваник, асистент***
***О. В. Сініцин, аспірант***
***e-mail: nni.energy@gmail.com***

**Анотація.** *Розглянуто концепцію та архітектуру побудови геопорталів як основної складової геоінформаційної системи прецизійного землеробства. Виявлено ряд недоліків розглянутих геопорталів. Запропоновано програмний засіб рендерингу гетерогенних даних як дискретного географічного об'єкта.*

**Ключові слова:** ***прецизійне землеробство, ГІС, геопортал, гетерогенні дані, INSPIRE***

Прецизійне землеробство – це новітня система в аграрній галузі, яка застосовує наукоємні технології, останні досягнення техніки та інтелектуальні методи управління. Її фундаментальною частиною є розвиток і адаптація стратегії та практики ведення сільського господарства в сучасних умовах. Головні завдання, що постають при такому підході, – виміряти, оцінити, оптимізувати й використати на практиці фактори, що впливають на продуктивність рослин, а саме: водно-фізичні та хімічні властивості ґрунту, ландшафтні особливості сільськогосподарських ділянок, сорти насіння, строки сівби і збирання, засоби боротьби з хворобами рослин, шкідниками, облік агрокліматичних умов біологічного розвитку тощо [1].

Інтегруючою основою технології прецизійного землеробства є геоінформаційні системи (ГІС), що дають змогу знімати, накопичувати та опрацьовувати інформацію, що характеризує, наприклад, посіви або ріллю тощо [2].

Такі ГІС містять дві бази даних: картографічну (графічну) та семантичну (аналітичну, атрибутивну), а також підсистеми маніпулювання цими даними.

Картографічна база даних формується на основі однієї або декількох електронних карт, які вводяться в комп'ютер методом дигіталізації (оцифровки), сканування твердих носіїв або іншим способом (координати точок з клавіатури комп'ютера, дані дистанційного зондування землі тощо).

---

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М. І. Васюхін

*© М. І. Васюхін, Ю. Ю. Іваник, О. В. Сініцин, 2016*

Семантична база даних включає текстові та цифрові записи, таблиці, схеми, малюнки, що органічно пов'язані з картографічною базою даних [3].

Більшість поширених автоматизованих систем управління орієнтовані на підтримку обліку ресурсів, планування й звітність, частина їх підтримує модулі геопросторових даних і технологію точного землеробства. Але вітчизняні комплексні системи та сервіси з інтелектуальними ГІС-модулями та віддаленим централізованим доступом до них на сьогодні практично відсутні [4].

Проведений аналіз свідчить, що ГІС є найбільш ефективним інструментом для вирішення задачі раціонального використання земельних ресурсів.

Потрібно забезпечити умови для несуперечливого комбінування просторових даних, отриманих із різних джерел, їх вільного розповсюдження між користувачами, а також для розподілу просторових даних, отриманих на одному адміністративному рівні, на всі інші рівні. Просторові дані повинні бути доступні на умовах, які не обмежують їх широкого використання, забезпечують простий пошук і оцінку придатності для конкретної мети, а також мати чітко прописані правила та обмеження використання. Відповідно до пункту 6 директиви INSPIRE, просторові дані мають зберігатися й підтримуватися на належному рівні та бути доступними [5].

Така тенденція призводить до необхідності інтеграції різних типів даних в модель гетерогенних даних (далі – ГД), для комплексного вирішення широкої номенклатури задач.

Над даним питанням працюють провідні державні організації та ВНЗ (НДІГК, Центр ДЗК, Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, НУБіП України, КНУБА, НАУ та ін.)

Провідні спеціалісти у сфері ГІС займаються розробкою, апробацією та реалізацією різних методів і засобів обробки та рендерингу даних у вигляді геоінформаційних систем та геопорталів, які їх представляють [6].

Проаналізувавши концепцію та архітектуру побудови геопорталів [7–9] як складової геоінформаційної системи в галузі АПК та роботи ряду вчених [4, 6, 10, 11], слід зазначити, що вони мають ряд недоліків, а саме:

- комплексна система і геопортал з інтелектуальними ГІС-модулями та віддаленим централізованим доступом, що підтримує модулі геопросторових даних і технологію точного землеробства, на сьогодні в Україні не розроблені;
- існуючі сервіси (геопортали), не повною мірою відповідають принципам Земельної реформи України;
- національна інфраструктура геопросторових даних (далі – НІГД) досі не повністю розроблена та не інтегрована в інфраструктуру просторової інформації ЄС (INSPIRE).

**Мета досліджень –** аналіз концепції та архітектури побудови геопорталів як складової геоінформаційної системи в галузі АПК та розробка програмного засобу інтеграції та рендерингу ГД для ГІС прецизійного землеробства.

**Матеріали та методика досліджень.** У даній статті буде проаналізовано концепцію та архітектуру побудови геопорталів, що мають подібну архітектуру, але позиційні та атрибутивні дані, а також метадані, у кожної геоінформаційної системи та геопорталу, який її представляє, різний.

Для реалізації модуля обробки та рендерингу ГД для ГІС прецизійного землеробства, запропоновано інтеграцію: ортофотоплану ділянки місцевості (векторна та растрова карта), прикладна програма, написана мовою розмітки гіпертексту HTML 5 з підтримкою можливостей каскадної таблиці стилів CSS в редакторі Notepad++.

**Результати досліджень.** На рис. 1 подано архітектуру геопорталу Державної геодезичної мережі (далі – ДГМ) розробленого в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії України.

**Рис. 1. Архітектура геопорталу ДГМ**

У межах даного дослідження проаналізовано засоби рендерингу геопросторових об’єктів за допомогою декількох інформаційних сервісів, а саме: «Геопортал ДГМ» [7], «Публічна кадастрова карта України» [8], «Веб-портал системы агромониторинга сельскохозяйственных культур» [9]. За допомогою інструментів вищезгаданих веб-сервісів, було проаналізовано реалізацію представлення території с. Пшеничне Васильківського р-ну Київської обл. з прилеглими навколишніми полями.

На рис. 2 зображено інтерфейс користувача програмного засобу рендерингу геопросторових об’єктів за допомогою веб-ресурсу «Геопортал ДГМ».

Цей геопортал є складовою НІГД, і призначений для підтримки інтероперабільності різноманітних геопросторових даних на основі використання єдиної координатної основи України.

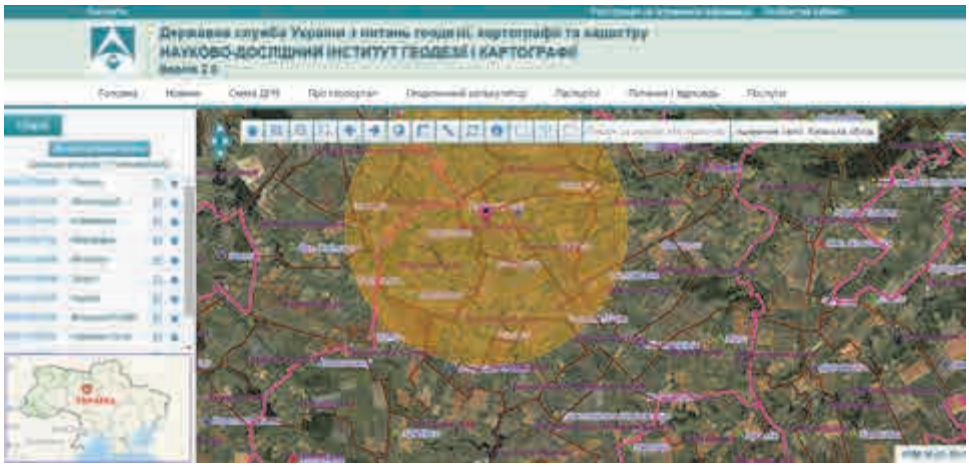



**Рис. 2. Вигляд інтерфейсу геопорталу ДГМ**

Геопортал ДГМ підтримує формування та візуалізацію електронних карт з такими основними шарами:

- електронні топографічні карти в масштабі 1:100 000;
- геодезичні пункти Державної геодезичної мережі 1–4 класів;
- нівелірні пункти I та II класів;
- відомості про лінійно-кутові побудови геодезичних мереж 1–4 класів;
- рамки трапецій за міжнародним розграфленням аркушів топографічної карти;
- межі адміністративно-територіальних одиниць України;
- супутникові зображення на територію України з картографічного сервісу компанії *"Microsoft Bing Maps"*.

Геопортал містить геодезичний калькулятор, який забезпечує перетворення й трансформування координат у системах СК-42, СК-63, УСК-2000, WGS 84 [7].

Інтерфейс користувача програмного засобу рендерингу геопросторових об’єктів за допомогою веб-ресурсу «Публічна кадастрова карта України» зображено на рис. 3. Публічна кадастрова карта (далі – ПКК) це інформаційний портал, на якому оприлюднюються відомості Державного земельного кадастру.

Зліва у робочому вікні рис. 3 відображується «Фільтр по регіону», який дає змогу здійснювати швидку навігацію територією України. Справа у робочому вікні розміщено панель «Шари», за допомогою якої можна здійснювати навігацію між картографічними матеріалами та виводити на екран комбіновану інформацію з різних інформаційних шарів. Навігація між шарами (картографічними матеріалами) здійснюється шляхом проставляння чекбоксів навпроти кожного шару.

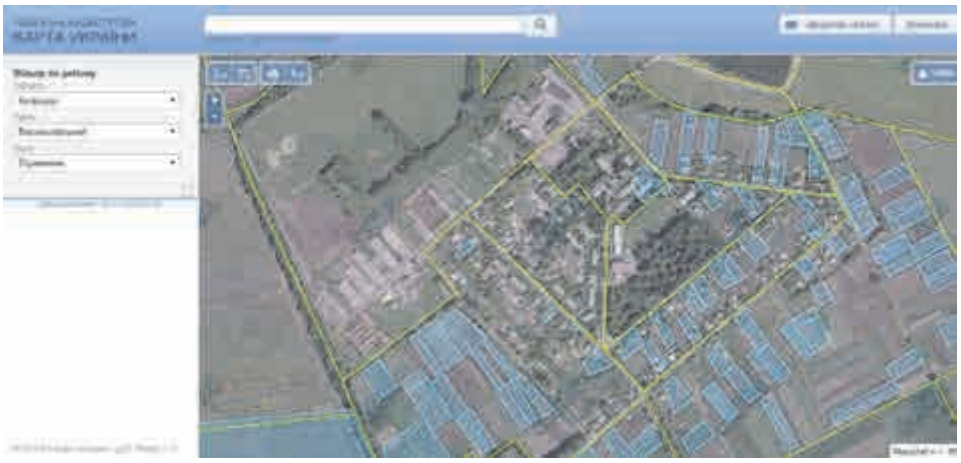


**Рис. 3. Вигляд інтерфейсу геопорталу «Публічна кадастрова карта України»**

Інформацію про межі адміністративно-територіальних одиниць (областей, районів), кадастровий поділ та місце розташування земельних ділянок, а також інформацію про ґрунти, можна *додати до проекту ArcMap* або до проекту *QGIS* як *WMS map*. Зверху у робочому вікні розміщено рядок пошуку за кадастровим номером та інструменти, які забезпечують можливість навігації по ПКК, визначення місцеположення на карті, а також інструмент вимірювання відстаней між об'єктами та площ.

На ПКК доступна форма зворотного зв'язку, що дає змогу зацікавленій особі повідомити відповідний орган земельних ресурсів про помилки, виявлені в оприлюднених відомостях Державного земельного кадастру [8].

Інтерфейс користувача програмного засобу рендерингу геопросторових об'єктів за допомогою веб-ресурсу агромоніторінга сільськогосподарських культур на замовлення Міністерства агрополітики, який розроблено в Інституті космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, подано на рис. 4.

Геопортал забезпечує надання геоінформаційних продуктів і гнучку візуалізацію вмісту за допомогою динамічно генерованих шарів. Система надає інформацію про стан сільськогосподарських культур та аномалій розвитку за супутниковими даними.

Характеристика послуг геопорталу:

- оперативна супутникова інформація для всієї території України;
- узагальнення інформації по адміністративних одиницях (областях і районах);
- визначення аномалії розвитку – відхилення від довгострокового середнього;
- прогнозування врожайності;
- автоматичне завантаження нових даних і продуктів та розміщення їх в базі даних;
- можливість генерації звітів;
- авторизований доступ.

**Рис. 4. Вигляд інтерфейсу геопорталу агромоніторінга сільськогосподарських культур Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України**

Послуги надаються через *Web*-інтерфейс[9].

Для розв'язання задачі рендерингу ГД у вигляді моделі дискретного географічного об'єкта розроблено геопортал, *DOM*-модель індексної сторінки якого подано на рис. 5. *DOM (Document Object Model)* – об'єктна модель, використовувана для *XML* / *HTML*-документів, основний інструмент роботи і динамічних змін на сторінці. Згідно з *DOM*-моделлю, документ є ієрархією. Кожен *HTML*-тег утворює окремий елемент-вузол, кожен фрагмент тексту, текстовий елемент тощо.

Простіше кажучи, *DOM* – це уявлення документа у вигляді дерева тегів. Це дерево утворюється за рахунок вкладеної структури тегів плюс текстові фрагменти сторінки, кожен з яких утворює окремий вузол [12].

```
<!DOCTYPE html>
<html>
▼<head>
    <meta charset="UTF-8"></meta>
    <link media="screen" href="style.css" rel="stylesheet"></link>
    <!--[if lt IE 9]> <div style=' clear: both; height: 21…-->
    <title>Геопортал</title>
  </head>
▼<body>
  ▼<div class="wraper">
    ▼<header>
      ▶<h1 id="header"></h1>
      </header>
    ▼<aside>
      ▶<nav></nav>
        <h3>Корисні посилання:</h3>
      ▶<a target="_blank" href="http://www.icyb.kiev.ua/"></a>
      ▶<a target="_blank" href="http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta"></a>
      ▶<a target="_blank" href="http://land.gov.ua/"></a>
      ▶<a target="_blank" href="http://dzk.gov.ua/"></a>
      </aside>
    ▼<section class="content">
        <img class="parsel" width="1120" height="553" usemap="imgmap20141112211644" src="img/ukr.png"
        ></img>
      ▶<map id="imgmap20141112211644" name="imgmap20141112211644"></map>
      </section>
      <div class="clr"></div>
    ▶<div class="yakor"></div>
      <div class="clr"></div>
    ▶<footer></footer>
    </div>
  </body>
</html>
```

**Рис. 5. DOM-модель індексної сторінки геопорталу інтеграції ГД у ГІС прецизійного землеробства**

На рис. 6, 7 представлено інформаційні шари геопорталу інтеграції ГД у ГІС прецизійного землеробства.

Геопортал підтримує інтеграцію ГД для формування та візуалізації двомірних і тримірних (рис. 8) моделей дискретних географічних об'єктів і, за потреби, неперервні об'єкти з такими основними шарами: растрові й векторні карти різної тематики та масштабів; межі адміністративно-територіальних одиниць України; супутникові зображення на територію України; профілі ґрунтів, повздовжні й поперечні профілі автодороги, атрибутивні дані та метадані. Також, за потреби, з даного геопорталу можна завантажити вищеперелічені об'єкти у векторному та растровому форматах.

**Рис. 6. Приклад інтерфейсу геопорталу інтеграції ГД в ГІС прецизійного землеробства (інформаційний шар – Васильківський район)**

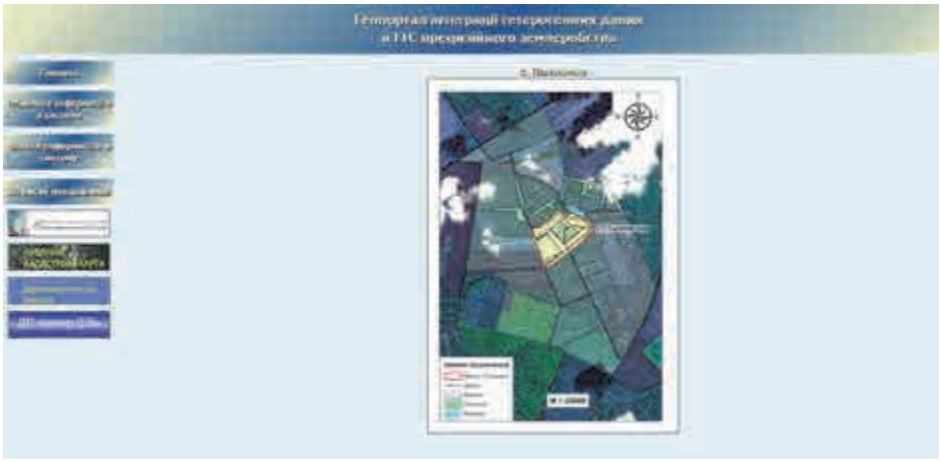


**Рис. 7. Приклад інтерфейсу геопорталу інтеграції ГД в ГІС прецизійного землеробства (інформаційний шар – село Пшеничне)**

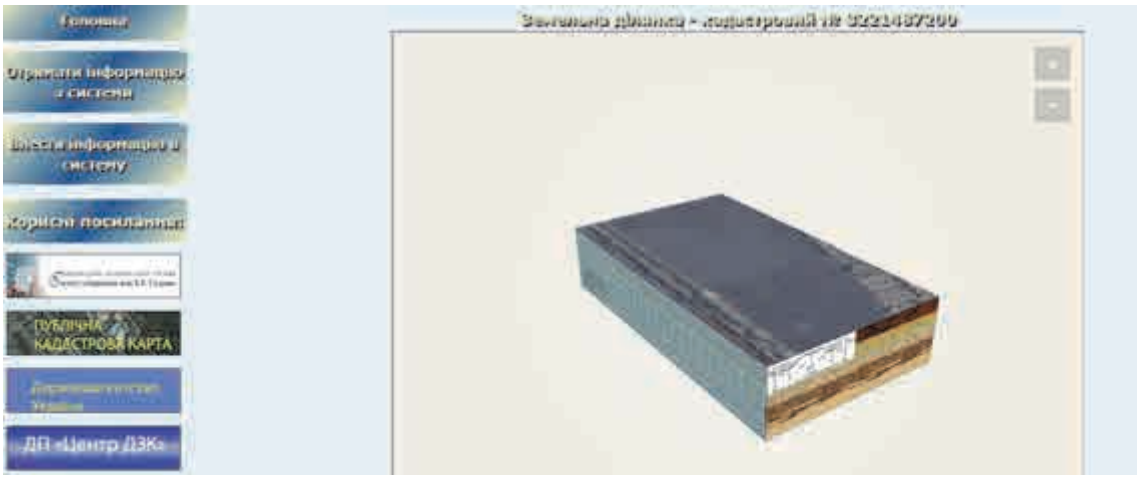



**Рис. 8. Геопортал інтеграції ГД в ГІС прецизійного землеробства (інформаційний шар – тримірна модель дискретного географічного об'єкта)**

## Висновки

У статті здійснено порівняльний аналіз концепції та архітектури побудови геопорталів, як основної складової геоінформаційної системи прецизійного землеробства та розроблено програмний засіб інтеграції й рендерингу ГД для формування та візуалізації двомірних і тримірних моделей дискретних географічних об'єктів, що забезпечує, з одного боку, можливість користувачу без спеціальних навичок отримати доступ до актуальних відомостей про геопросторові об’єкти, а з другого – дасть поштовх для розробки та інтеграції національної інфраструктури геопросторових даних в інфраструктуру просторової інформації ЄС *(INSPIRE)*.

## Список літератури

1. Васюхін М. І., Касім А. М., Ткаченко О. М., Долинний В. В., Іваник Ю. Ю. Технологія отримання картографічних даних для геоінформаційної системи прецизійного землеробства // Проблеми інформаційних технологій. – № 1 (015). – 2014. – С. 64–69.

2. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях. – М. : Мелиоводинформ, 2009. – 112 с.

3. Звіт про науково-дослідну роботу «Теоретичні основи і технологія побудови геоінформаційної системи прецизійного землеробства»: етап 3 (заключний). – № держреєстрації 0113 003858. – К., 2015. – 80 с.

4. Васюхін М. І. Модуль підтримки прийняття рішень для автоматизованої системи управління в рослинництві та перспективи використання в системі електронного дорадництва / Васюхін М. І., Ткаченко О. М., Іваник Ю. Ю. // Науковий вісник НУБіП України № 194 (частина третя) / Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2014. – С. 197–207.

5. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). – 180 c.

6. Васюхін М. І., Використання інформаційних технологій у землекористуванні / М. І. Васюхін, О. В. Сініцин // Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених "Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта "2015", 19–20 листопада 2015 року, Київ, НУБіП України. – К. : НУБіПУкраїни, 2015. – С. 220–222.

7. Офіційний сайт НДІГК [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dgm.gki.com.ua/ua/b-zagalni-polojennja-b

8. Офіційний сайт Публічна кадастрова карта України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta

9. Геопортал системи агромоніторінга сільськогосподарських культур на замовлення Міністерства агрополітики, розробленого в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://agro-demo.ikd.kiev.ua/index-en.php?lang=ua

10. Опенько І. А. Порівняльний аналіз оприлюднення земельно-кадастрових відомостей у зарубіжних країнах та в Україні / І. А. Опенько // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2013. – № 3. – С. 80–87.

11. Переваги та недоліки різних систем координат та геодезичних проекцій під час ведення земельного кадастру / П. Черняга, С. Кубах // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. 2. – С. 62–66.

12. Флэнаган Д. JavaScript. Подробное руководство / пер. с англ. – СПб : СимволПлюс, 2008. – 992 с., ил.

## АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОПОРТАЛОВ КАК ОСНОВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГИС ПРЕЦИЗИОННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

***М. И. Васюхин, Ю. Ю. Иваник, А. В. Синицын***

**Аннотация.** *Рассмотрена концепция и архитектура построения геопорталов как основной составляющей геоинформационной системы прецизионного земледелия. Выявлен ряд недостатков рассмотренных геопорталов. Предложено программное средство визуализации гетерогенных данных в виде дискретного географического объекта.*

**Ключевые слова:** ***прецизионное земледелие, ГИС, геопортал, гетерогенные данные, INSPIRE***

## THE ANALYSIS OF THE CONCEPT OF CONSTRUCTION GEOPORTAL AS A KEY COMPONENT OF GIS PRECISION AGRICULTURE

***M. Vasyuhin, Y. Ivanyk, A. Sinitsyn***

**Annotation.** *In this paper, the concept and architecture of geoportals, as the main component of geographic information systems precision agriculture. Revealed a number of shortcomings discussed geoportal. The proposed software tool visualization of heterogeneous data in the form of a discrete geographical entity.*

**Key words:** ***precision agriculture, GIS, geoportal, heterogeneous data, INSPIRE***

УДК 551.50

# К РАЗВИТИЮ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА И ТИПОРАЗМЕРА ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ МЕСТНЫХ ВЕТРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

***В. В. Николаев, директор***
***АНО НИЦ "АТМОГРАФ", г. Москва. Россия***
***e-mail: kharval@mail.ru***

**Аннотация:** *Изложены результаты разработки и апробации методических основ и численной методики определения оптимальной комплектации и типоразмеров гибридных энергетических систем на базе дизельгенераторных (ДГУ) и ветроэлектрических (ВЭУ) установок для покрытия заданных графиков нагрузок. Отображены результаты расчетов экономических и эксплуатационных характеристик гибридного комплекса для локальных условий поселка Тикси.*

**Ключевые слова:** ***график нагрузки, дизельная электростанция, ветроэлектрическая установка, ветро-дизельный энергокомплекс, фотоэлектрическая установка, гибридная энергетическая система, автономное энергоснабжение***

Последние 30 лет в мире происходит широкомасштабное развитие ветроэнергетики. В разных странах экономические, политические, ресурсные и другие локальные факторы определяли темпы и технологии развития, схемы государственной поддержки и другие особенности. Наиболее распространенными направлениями применения ветроэнергетики в мире является использование их в рамках единой энергосети (более 95 % установленных мощностей ВЭУ), а также в гораздо меньшей степени для энергообеспечения изолированных потребителей.

В настоящее время более 65 % территории России не охвачены единой энергетической сетью, и основой снабжения электрической энергией (ЭлЭн) потребителей в этих районах являются дизельные электростанции (ДЭС). Актуальность работы обусловлена большими перспективами совместного использованиями ДЭС с ВЭУ с целью сбережения дорогостоящего дизельного топлива (ДТ) и повышения надежности и эффективности энергоснабжения потребителей малой и средней мощности (до 5–10 МВт).

**Цель исследований** – разработка методики определения оптимального состава и типоразмера ветродизельных энергокомплексов с учетом местных ветроклиматических условий.

**Материалы и методика исследований.** Использование ВЭУ в составе ВДК (ветродизельный комплекс) перспективно во многих северных и дальневосточных районах России с богатыми ветровыми

© *В. В. Николаев, 2016*

ресурсами [1, 2], распределение которых по территории России иллюстрируется рис. 1 с картой среднегодовых значений коэффициентов использования номинальной мощности ($К_{ИУМ}$) ВЭУ V 44 номинальной мощности 600 кВт с высотой башни 50 м датской компании *VESTAS*, построенная по методике работы [1].

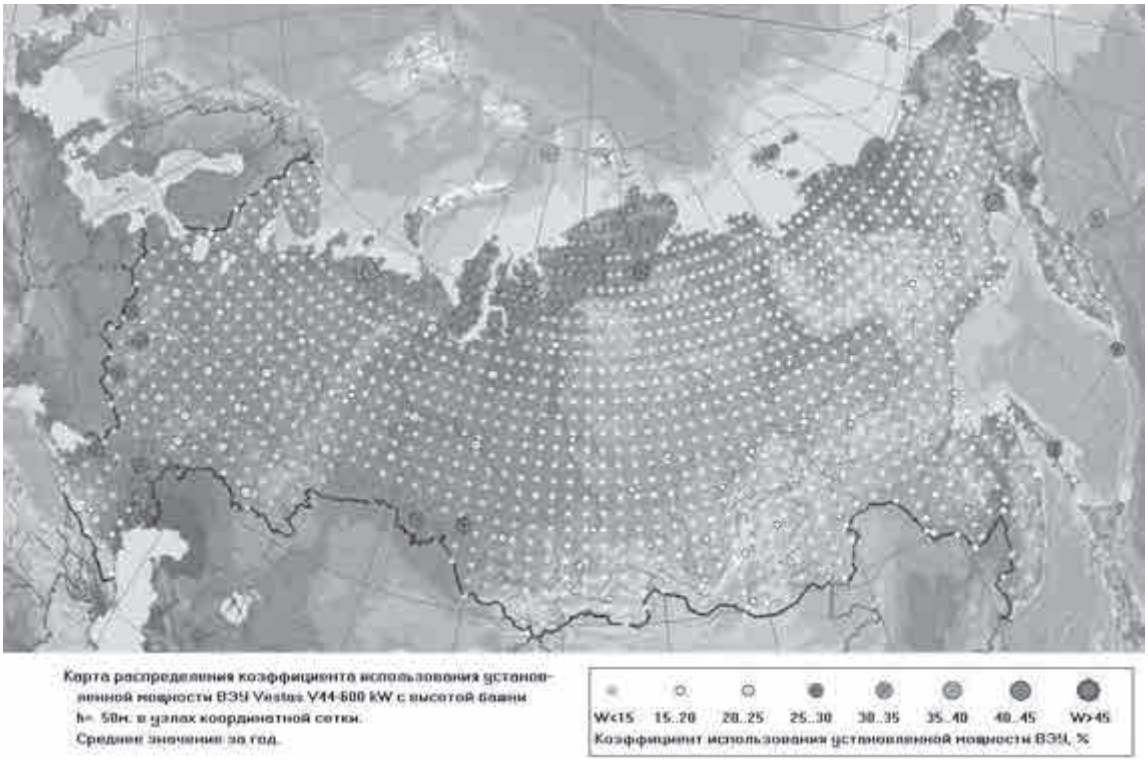



**Рис. 1. Распределение по территории России $К_{ИУМ}$ (%) ВЭУ V 44 600 кВт**

Согласно рис. 1, в полярных и дальневосточных районах значения $К_{ИУМ}$ современных ВЭУ превышают значения 25 %, обеспечивая себестоимость выработки ЭлЭн на ВЭС менее 5 руб/кВт·ч даже при высоких удельных капитальных затратах (до 2500 долларов за кВт и более). При типичной для российских северных регионов топливной составляющей выработки ЭлЭн на ДЭС до 8–10 руб/кВт·ч и более, комплектация ДЭС с ВЭУ, как это показано в ряде работ [2–5], экономически целесообразна. При ежегодном объеме “северного завоза” ДТ для ДЭС порядка 2 млн тонн стоимостью более 80 млрд рублей экономия топлива при использовании ВДК с высоким уровнем замещения мощности ДГУ (до 100 %) и при 25–30 %-м замещении выработки ДГУ может достигать 500 600 тыс. тонн и 20–30 млрд рублей.

Эффективность работы ВДК зависит как от локальных ветроклиматических условий, так и от количества, мощностей, технических и эксплуатационных характеристик действующих в составе комплекса ДГ и ВЭУ и их расстановки по заданной территории. Определение ветровых ресурсов возможно с помощью различной информации: данных многолетних измерений скоростей ветра на

метеорологических и аэрологических станциях и высотных мачтах, данных краткосрочных (1–2 года) измерений ветра на специализированных ветроизмерительных комплексах (ВИК), спутниковых данных и пр. Для оценки и прогнозирования эксплуатационных параметров ВЭУ на заданной территории могут быть использованы различные методики, из которых наиболее известными и распространенными в России являются авторитетная в мире методика *WaSP* разработки датского института *RISO* и отечественная методика ФЛЮГЕР XXI разработки ЦАГИ-НИЦ "АТМОГРАФ".

При отсутствии измерений ветровых характеристик на заданной территории необходимо прибегать к интерполяционным методам их определения, позволяющим получить достаточно точные оценки при условии равнинного рельефа, наличия многолетних измерительных данных на близлежащих метеостанциях, находящихся на расстоянии не более 50 км от интересующей территории [6] (при более сложных условиях рельефа и других факторах это расстояние сокращается до 2–5 км). Использование же спутниковых данных возможно только для предварительной оценки ветровых ресурсов, и не рекомендовано для определения рабочих характеристик ВЭУ.

В рамках действующего почти во всех странах Европы «зеленого тарифа», операторы электроэнергии обязаны, в первую очередь, покупать ЭлЭн энергоисточников на базе ВИЭ по фиксированной цене за выработанный кВт·час. Поэтому для инвесторов ВЭС, подключенных к единой энергосети, наиболее важны, помимо капитальных и эксплуатационных затрат, точные оценки суммарных объемов выработанной ЭлЭнза весь жизненный цикл проекта для принятия решения о его экономической целесообразности. При этом недельные, сезонные или даже годовые изменения в выработке ЭлЭн комплекса не так значительны для их владельцев. Концепцией методики *WaSP* является использование среднегодовых параметров ветра, плотности воздуха, подстилающей поверхности, и, как результат, оценки среднегодовых параметров выработки энергии ВЭУ. Ввиду изложенных выше причин, эта особенность не является ограничивающей для использования методики при проектировке крупных сетевых ВЭС. Но для эффективного совместного использования ВЭУ и ДЭС для энергообеспечения изолированных потребителей необходимо как можно более точно прогнозировать не только среднегодовые значения выработки электроэнергии, но и ее распределение внутри года, сезонов, месяцев, и даже суток, принимая в расчет потребности в ЭлЭн в конкретный временной промежуток.

Для оценки параметров работы ВЭУ методика *WaSP*, помимо ветровых характеристик, использует такие данные, как карты рельефа региона, подстилающей поверхности, а также крупных объектов, затеняющих ветер (в том числе и самих ВЭУ). С появлением 11-й версии *WaSP*, стало доступным моделирование не только с помощью линейных моделей, описывающих эффекты усиления и ослабления ветра по

направлениям, в зависимости от описанных выше причин, но и с помощью модели вычислительной гидродинамики (*CFD*). С точки зрения оптимизации расстановки ВЭУ на местности, для получения наибольшей выработки энергии, расчетный модуль *WaSP* зарекомендовал себя как наиболее точный и широко используемый в мире.

Количество вариантов при определении оптимального состава ВДК даже опытными проектировщиками при наличии многих факторов составляет несколько тысяч, что вызывает необходимость привлечения численных методик анализа. Для решения этой задачи необходимо учитывать ряд ветровых факторов, наиболее проблемными и важными их которых, ранее выявленными авторами [7–10] и анализируемыми разработанной методикой, являются:

- наличие суточного и часового хода ветровых характеристик, зависящего от высоты над поверхностью;
- годовой и сезонный ход и высотное распределение вероятностей ветровых штилей различной продолжительности;
- наличие короткопериодных (порядка 10 минут) колебаний скорости ветра и, соответственно, мощности ВЭС, приводящих к частой смене режима работы ДГУ, его отключениям и включениям, чреватым потерей ресурса и преждевременному износу;
- возможность различного временного осреднения (среднего годового, сезонного, месячного) при моделировании функций распределения скоростей и направлений ветра или (при наличии) использовании эмпирических повторяемостей характеристик ветра;
- недостоверность корреляции скоростей ветра, определяемых по многолетним метеорологическим данным и данным краткосрочных 1–2-х годовых измерений, полученным в разные периоды наблюдений;
- региональная и локальная специфика высотных распределений (профилей) скорости и направления ветра;
- наличие значительных в различные сезоны и в различных районах суточных и сезонных колебаний плотности воздуха;

Как показали оценки, учет этих факторов или его отсутствие, может существенно влиять на точность определения ветроэнергетического потенциала, на выбор типоразмера и состава и соотношения генерирующих мощностей в составе ВДК, и существенно повышать достоверность итогового эффекта или искажать его.

**Результаты исследований.** Разработанная авторами методика численно реализована в программный комплекс "ВОСТОК" (НИЦ "АТМОГРАФ"), совмещенный с базой многолетних метеорологических и аэрологических данных "ФЛЮГЕР" (НИЦ "АТМОГРАФ"), позволяющей моделировать характеристики ветра в любой точке территории России с заданными координатами с учетом всех упомянутых выше факторов. При разработке методики были совмещены наиболее эффективные подходы и алгоритмы зарубежных и собственных методик определения ветроэнергетического потенциала, а также создан и качественно доработан ряд расчетных модулей, позволяющих получить детальные и

информативные прогнозы экономических и эксплуатационных характеристик ВДК.

Методика позволяет рассчитывать энергетические показатели ВЭС, используя базу данных ВЭУ с известными техническими и рабочими характеристиками, а также проводить сравнительный анализ с целью выбора оптимальной базовой ВЭУ.

В качестве критериев оптимальности при выборе состава ВДК в данной методике рассматриваются минимальный расход ДТ и максимум его замещения, минимум себестоимости ЭлЭн ВДК, минимальный период окупаемости и прочие экономические показатели проектов ВДК.

В разрабатываемой численной методике графики и табличные значения потребления и выработки энергии ВДК, с учетом выработки энергии ВЭУ, могут задаваться математическими моделями либо (при наличии) реальными распределениями изменчивости годового, сезонного, суточного, часового и внутричасового (10-минутного) масштаба.

Для обеспечения энергосистемы необходимой мощностью предусмотрено комплектование ВДК любым заданным набором ДГУ различных типоразмеров. Суммарная номинальная мощность ВДК выбирается с задаваемым запасом (25–30 %-ном) от максимальной нагрузки, приходящейся в России обычно на зимний период.

Зависимость удельного (на 1кВт·ч) расхода ДТ в зависимости от режима работы ДГУ (в % от номинала) задается либо математической моделью, либо (при наличии) фактической расходной характеристикой.

Программный комплекс "ВОСТОК" апробирован при обосновании инвестиций и разработке ТЭО ряда проектов ВДК, например, ВДК в поселке Новиково (Сахалинской области), в порте Тикси (Саха-Якутия).

На рис. 2–4 приведены в графическом виде результаты методических исследований на примере ветроклиматических условий пос. Тикси (Саха-Якутия) замещения дизельного топлива (ДТ) на ДЭС, себестоимости электроэнергии (ЭлЭн) ВДК и периодов окупаемости, полученных с использованием программного комплекса "ВОСТОК" при разных соотношениях номинальных мощностей ДЭС и различных моделях ВЭС. Расчеты проводились для разных наборов данных измерений скорости ветра. Целью методических расчетов явилась отработка и дальнейшее развитие методических подходов к выбору оптимального состава и типоразмера ВДК с учетом местных ветроклиматических и других условий, а также повышение эффективности алгоритмов численной реализации методики программного комплекса.

Все представленные ниже расчеты проведены с шагом 0,25 по параметру $P_{ВЭС}/P_{ДЭС}$, равному отношению номинальных мощностей ДЭС и ВЭС. Расчеты проведены в предположении 20-летнего ресурса ВДК при одновременном вводе новых ВЭС разной комплектации и ДЭС из пяти ДГУ следующей мощности, приведенной к максимуму средней нагрузки: ДГУ 1 – 0,700, ДГУ 2 – 0,300, ДГУ 3 – 0,105, ДГУ 4 – 0,037, ДГУ 5 – 0,13.

В табл. 1 представлены результаты исследования влияния стоимостных характеристик ДЭС (капитальных и эксплуатационных затрат и стоимости дизельного топлива) на технико-экономические показатели ДЭС и выбор оптимальной комплектации и типоразмеров ДГ. Данные табл. 1 получены в предположении схожести расходных характеристик всех ДГ и, как следствие, с равным расходом топлива для всех приведенных вариантов. Ресурс всех ДГ равен 90 тыс. часов до первого капитального ремонта, обеспечивая их 20-летнюю работу без замены, не нарушая при этом общности полученных в сделанных предположениях результатов для случаев с их одно- или более кратной заменой на протяжении 20-летней работы ДЭС. Расчет периодов окупаемости проведен при равной для всех вариантов закупочной цене на вырабатываемую электроэнергию, равной 0,113 $/кВт·ч (9 руб/кВт·ч).

**1. Зависимость от капитальных (*CAPEX*) и эксплуатационных (*OPEX*) затрат и стоимости дизельного топлива технико-экономических показателей ДЭС с соотношением мощностей ДГ 0,7:0,3:0,105:0,037:0,013**

| | OPEX = 0,02 $/кВт·ч | | | CAPEX = 600 $/кВт | | | OPEX = CAPEX= | 0,020600 | $/кВт·ч $/кВт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CAPEX | | | OPEX | | | Цена топлива | | $/тонн |
| | 500 | 600 | 700 | 0,010 | 0,020 | 0,030 | 600 | 700 | 761 |
| Себестоимость ЭлЭн, $/кВт·ч | 0,086 | 0,087 | 0,088 | 0,082 | 0,087 | 0,090 | 0,087 | 0,099 | 0,110 |
| Период окупаемости, лет | 4,54 | 5,63 | 6,81 | 4,79 | 5,63 | 6,46 | 5,63 | 10,2 | 20,3 |

Из расчетов, частично представленных в табл. 1, следует незначительный рост себестоимости ЭлЭн ДЭС с увеличением их удельных капитальных затрат (с 0,086 до 0,088 $/ кВт·ч при росте капзатрат с 500 до 700 $/ кВт) и эксплуатационных затрат (с 0,082 до 0,090 $/ кВт·ч при росте затрат с 0,01 до 0,03 $/ кВт·ч) и заметный рост себестоимости ЭлЭн с ростом цен на дизельное топливо (с 0,087 до 0,110 $/кВт·ч при росте цен на ДТ с 600 до 800 $/т).

Более существенное влияние рассмотренные факторы оказывают на периоды окупаемости ДЭС. Рост капитальных затрат (с 500 до 700 $/ кВт) и эксплуатационных (с 0,01 до 0,03 $/ кВт·ч) приводит, согласно расчетам, к росту сроков окупаемости ДЭС примерно в 1,4–1,6 раза.

Но, наиболее сильным фактором является рост цен на дизельное топливо. При его росте с 600 до 700 $/т сроки окупаемости ДЭС увеличиваются примерно вдвое, а при цене ДТ > 760 $/т (вполне реальные цены для удаленных поселков северных и дальневосточных

территорий России) при выбранных расчетных параметрах ДЭС не окупаются за 20-летний период.

По мнению автора, одним из важнейших, но недостаточно изученных, является вопрос о достоверности и эффективности совместного использования для долгосрочного (до 20 лет) прогноза показателей ВДК – данных многолетних измерений ветра на государственных метеорологических и аэрологических станциях и краткосрочных (1–2 года) измерений ветра на ВИК.

Данные показателей ВДК, рассчитанных по метеоданным и данным ВИК в два разных периода времени для соответствующих ДГ с соотношением мощностей 0,65:0,35:0,123:0,043:0,015, представлены на рис. 2–5.

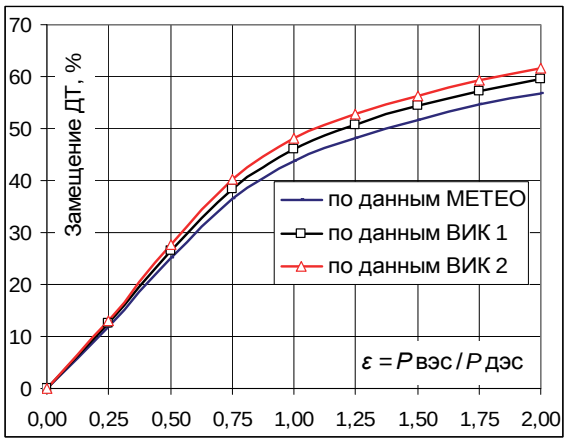



**Рис. 2. Зависимость замещения ДТ от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

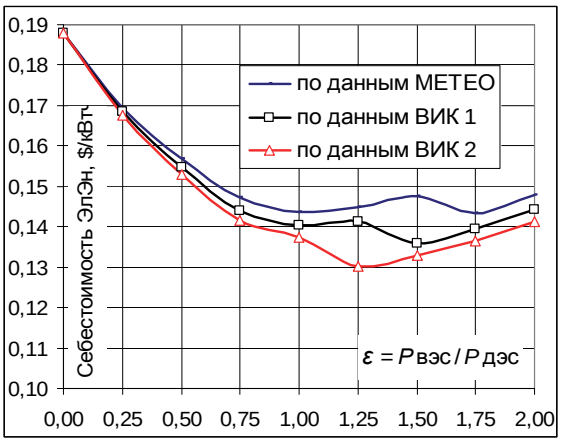



**Рис. 3. Зависимость себестоимости ЭлЭн ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

Показатели ВДК рассчитаны по данным многолетних (с 1960 г.) измерений ветра на метеорологической (на высоте 10 м) и аэрологической (на высотах 100, 200, 300 и 600 м) станциях г. Керчи (Республика Крым) и измерений ветра на ВИК в районе г. Темрюк в 10 км от г. Керчи, проводившимися с сентября 2012 г. по март 2014 г.

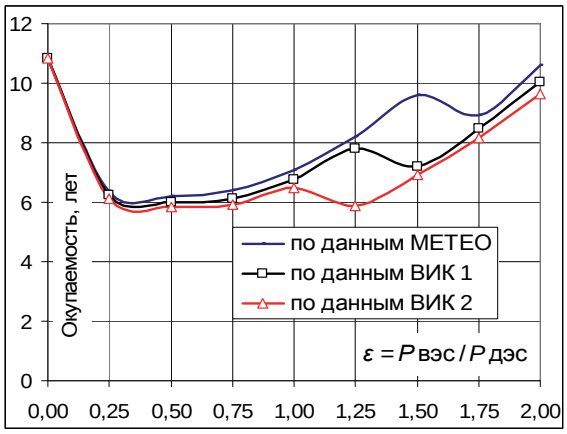



**Рис. 4. Зависимость периода окупаемости ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

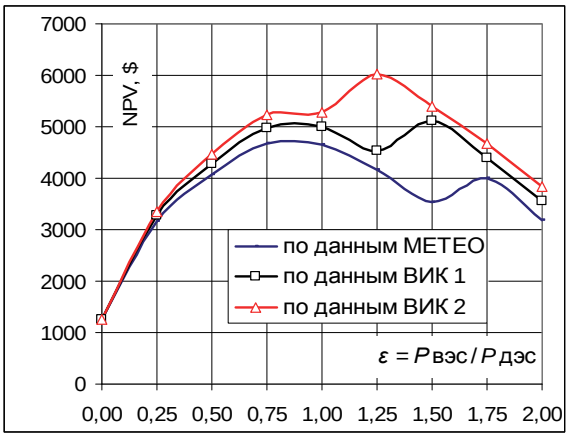



**Рис. 5. Зависимость чистой приведенной стоимости ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

Данные ВИК, с целью анализа межгодовой изменчивости ветра и, соответственно, мощности ВЭУ, были разбиты на два равных годовых периода: с сентября 2012 г. по август 2013 г. (обозначаемых индексом ВИК 1) и с апреля 2013 по март 2014 г. (ВИК 2).

Согласно рис. 2–5, разница в показателях ВДК в г. Керчи, рассчитанных по данным многолетних метеорологических и аэрологических измерений и по данным ВИК за разные временные периоды оказывается существенной количественно и качественно. Количественные расхождения по положению минимума себестоимости ЭлЭн составляют до 8%, а по замещению (экономии) ДТ и срокам окупаемости, соответствующим минимумам себестоимости ЭлЭн ВДК – до 20 %. К качественным различиям относится заметное смещение минимумов графиков себестоимости ЭлЭн ВДК и появление на них вторичных экстремумов, связанных с изменением капитальных затрат на ДЭС при изменении количества замен ДГ, вызванных выработкой их ресурсов.

Согласно анализу, установленные различия обусловлены спецификой высотных профилей и межгодовой изменчивостью скорости ветра. Таким образом, данные одно-двухгодовых измерений на ВИК не гарантируют достоверного прогноза показателей ВДК.

Важнейшим результатом технико-экономического обоснования ВДК является выбор базовых ВЭУ. Энергетическая и экономическая эффективность ВДК определяются, как было показано в предыдущем разделе, высотой башни ВЭУ и аэродинамическим совершенством ветроколеса и системы управления ВЭУ. На рис. 6–9 проиллюстрированы результаты анализа эффективности ВДК на базе трех ВЭУ разных производителей: *Fuhrlander FL* 2500-100 со штатной высотой башни $H_Б$ = 100 м; *Ecotecnia* 100-3,0 МВт (Испания) со штатной высотой башни $H_Б$ = 100 м и *Gamesa* 52 850 кВт (Испания) со штатной высотой башни $H_Б$ = 55 м и с гипотетической высотой башни 100 м (для сравнения ее аэродинамической эффективности с первыми двумя ВЭУ).

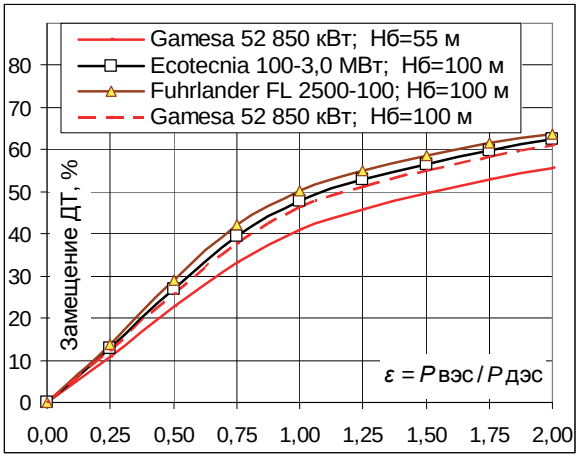



**Рис. 6. Зависимость замещения ДТ от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

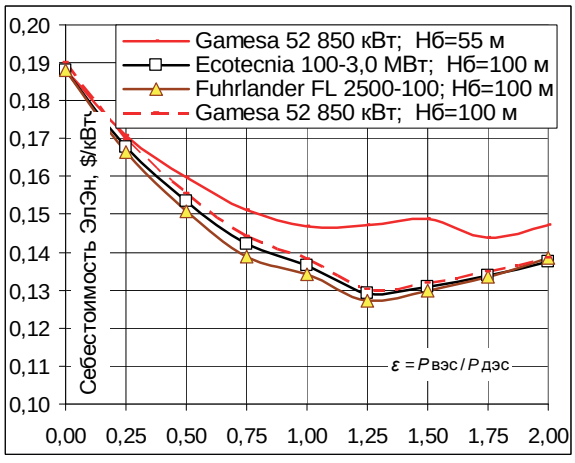



**Рис. 7. Зависимость себестоимости ЭлЭн ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

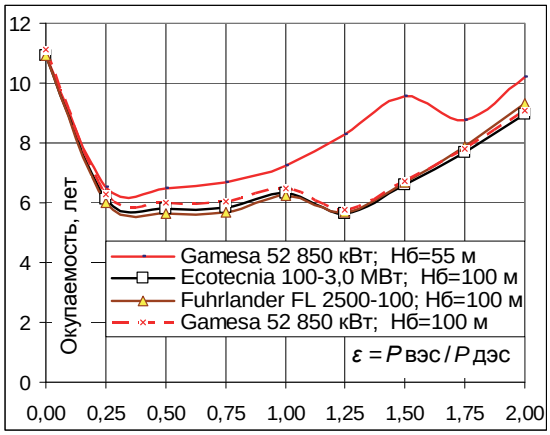



**Рис. 8. Зависимость периода окупаемости ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

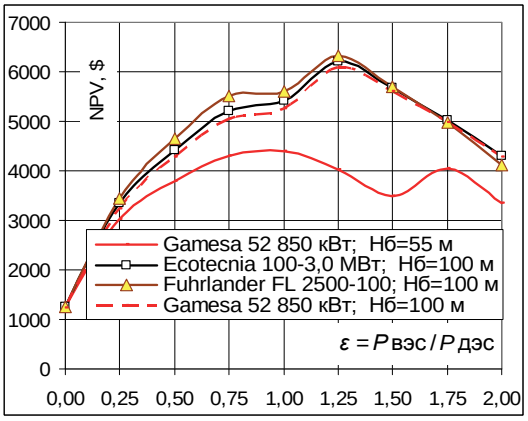



**Рис. 9. Зависимость чистой приведенной стоимости ВДК от соотношения мощностей ВЭС и ДЭС**

Приведенные графики иллюстрируют факт заметного различия показателей эффективности ВДК, в зависимости от выбора базовых ВЭУ, с их штатной комплектацией. Согласно расчетам, при следующих из рисунков малых различиях показателей ВДК при их комплектовании первыми двумя ВЭУ с одинаковой 100-метровой высотой башен отмечаем существенные различия для случая *Gamesa* 52 850 кВт, что обусловлено меньшей высотой ее штатной башни, равной 56 м, и, соответственно, меньшей скоростью ветра на этой высоте. При гипотетической высоте башни ВЭУ *Gamesa* 52, равной 100 м, эффективность ВДК на ее базе приближалась бы к эффективности ВДК на базе ВЭУ *Ecotecnia* 100–3,0.

И, наконец, показатели ВДК существенным образом зависят от состава ДГУ в ВДК и от выбора их мощности, о чем свидетельствуют графики рис. 10, относящиеся к трем вариантам состава и мощностей ДГУ для ВДК, приведенных к максимуму годовой нагрузки:

вариант 1) ДГУ 1 - 0,8; ДГУ 2 - 0,28; ДГУ 3 - 0,1; ДГУ 4 - 0,034

вариант 2) ДГУ 1 - 0,65; ДГУ 2 - 0,35; ДГУ 3 - 0,083; ДГУ 4 - 0,027

вариант 3) ДГУ 1 - 0,5; ДГУ 2 - 0,5; ДГУ 3 - 0,083; ДГУ 4 - 0,027

Показатели эффективности вариантов рассчитаны с учетом зависимости потребления топлива каждого ДГУ от отношения средней часовой нагрузки ДГУ к его номинальной мощности.

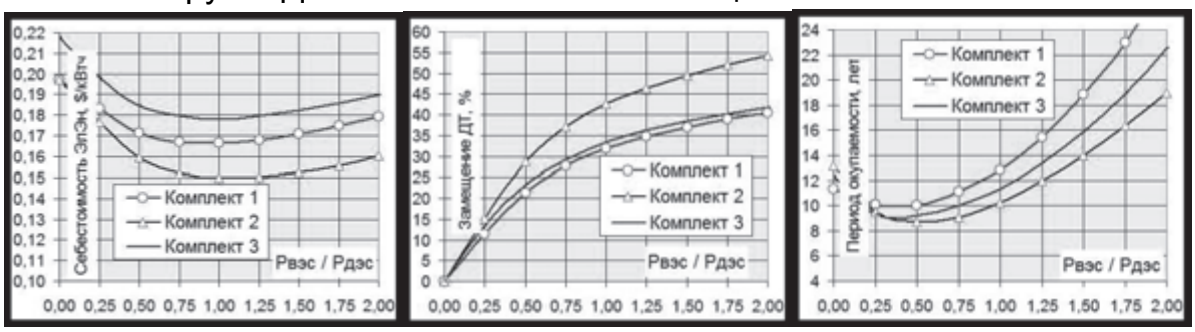



**Рис. 10. Зависимость показателей ВДК от соотношения номинальных мощностей ДГУ при разной комплектации ДЭС: себестоимости ЭлЭн (слева); замещение ДТ на ДЭС (по центру); периода окупаемости (справа)**

Приведенный пример демонстрирует возможность снижения расхода ДТ до 20 % и более за счет выбора состава и мощности ДГ, комплектующих ДЭС.

## Выводы

Проведенные расчеты подтверждают значимость следующих факторов при определении оптимальных составов ветродизельных комплексов:

- общий локальный ветроэнергетический потенциал в месте установки ВДК, распределение его в течение года, строение вертикального профиля скорости ветра;
- стоимость ДТ в регионе использования ВДК;
- количество и соотношение мощностей ДГ в составе ВДК, их технические характеристики (общий эксплуатационный ресурс, расходные характеристики), эксплуатационные и капитальные затраты на них;
- ветровой класс используемых ВЭУ, модели, высоты башен, их количество в составе ВДК, их экономические показатели.

Таким образом, определение и учет исследованных факторов сопряжен с возможными и значительными погрешностями, которые в совокупности могут приводить к ошибкам прогноза показателей ВДК до 100 % и более и тем самым ограничивать эффективность их проектирования и использования.

## Список литературы


1. Николаев В. Г. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов РФ и методические основы их определения / В. Г. Николаев, С. В. Ганага, Ю. И. Кудряшов. – М. : Атмограф, 2008.
2. Николаев В. Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России / В. Г. Николаев. – М. : Атмограф, 2011.
3. Николаев В. В. Методические подходы к оптимизации состава и типоразмера ветродизельных энергокомплексов с учетом местных ветроклиматических условий / В. В. Николаев, В. В. Харченко // Труды Международного Конгресса REENCON XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность». – М., 2015.
4. Грибков С. В. Ветродизельные и ветро-солнечно-дизельные комплексы гарантированного электроснабжения как основа распределенной энергетики России / С. В. Грибков, П. П. Безруких // Труды Международного Конгресса REENCON XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность». – М., 2015.
5. Елистратов В. В. Ветродизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России / В. В. Елистратов, М. А. Конищев // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". – Саров, 2014. – № 11 (151).
6. Niels G. Mortensen, Morton Nielsen, Mark C. Kelly. WaSP 11 course notes. Schultz Grafisk, 2014.
7. Васьков А. Г. Факторы эффективности ветродизельного комплекса / А. Г. Васьков, Г. В. Дерюгина, М. Г. Тягунов, Д. А. Чернов // Сборник трудов XII

ежегодной международной научно-практической конференции "Возобновляемая и малая энергетика – 2015". – М., 2015.

8. Николаев В. В. Исследование микромасштабных флуктуаций ветра применительно к созданию ветродизельных комплексов / В. В. Николаев // Труды 5-й международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве». – М., 2014.

9. Николаев В. В. Исследование нестабильности работы дизельных генераторов в ветродизельных комплексах с учетом микромасштабных флуктуаций ветра / В. В. Николаев, В. В. Харченко // Труды XII Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика – 2015". – М., 2015.

10. Николаев В. В. К вопросу оптимизации состава и типоразмера дизельных генераторов в составе малых локальных микросетей / В. В. Николаев, В. В. Харченко // Сборник трудов XII Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика – 2015". – М., 2015.

## ДО РОЗВИТКУ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ Й ТИПОРОЗМІРІВ ВІТРОДИЗЕЛЬНОГО ЕНЕРГОКОМПЛЕКСУ З УРАХУВАННЯМ МІСЦЕВИХ ВІТРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ

***В. В. Ніколаєв***

**Анотація.** *Викладено результати розробки та апробації методичних основ і чисельної методики визначення оптимальної комплектації та типорозмірів гібридних енергетичних систем на базі дизельгенераторних (ДГУ) і вітроелектричних (ВЕУ) установок для покриття заданих графіків навантажень. Відображено результати розрахунків економічних та експлуатаційних характеристик гібридного комплексу для локальних умов селища Тіксі.*

**Ключові слова:** ***графік навантаження, дизельна електростанція, вітроелектрична установка, вітродизельний енергокомплекс, фотоелектрична установка, гібридна енергетична система, автономне енергопостачання***

## OPTIMIZATION OF CHARACTERISTICS AND COMPOSITION OF THE HYBRID ENERGY SYSTEMS BASED ON DIESEL GENERATORS

***V. Nikolaev***

**Annotation.** *This paper presents the results of development and testing of algorithms and numerical methods for determining the optimal configuration and sizes of hybrid energy systems based on diesel energy generators and wind turbines to meet specified load graphs. The calculated results of technical and economical characteristics of the hybrid complex for local conditions of Tiksi village are represented.*

**Key words:** ***load curve, diesel generator, wind turbine, wind-diesel power system, photovoltaic system, a hybrid power system, independent power supply***

УДК 536.24

# КАВІТАЦІЙНІ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРИ, ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПИ ЇХ РОБОТИ

***В. Г. Горобець, доктор технічних наук***
***М. Г. Дідченко, аспірант****
***e-mail: gorobetsv@ukr.net***

**Анотація.** *Проведено аналіз літературних джерел, присвячених вивченню та розробці кавітаційних теплогенераторів. Розглянуто наявні конструкції та принципи їх роботи, проведено аналіз конструктивних особливостей кавітаторів, запропонованих різними авторами. Показано, що необхідні подальші наукові дослідження з вивчення основних механізмів перетворення механічної (електричної) у теплову енергію.*

**Ключові слова:** ***кавітаційний теплогенератор, конструкція, принцип роботи, механічна і теплова енергія***

Кавітаційні генератори теплової енергії – перспективний напрям нових видів енергетичного обладнання, який має свої переваги порівняно з відомими розробками. Принцип роботи кавітаційних теплогенераторів полягає в перетворенні механічної (електричної) енергії в теплову. Він базується на тому факті, що за великої швидкості обертання ротора, який знаходиться в об'ємі статора і представляє собою плоский диск циліндричної форми з отворами або виступами на поверхні, за рахунок в'язкісних сил тертя та інших фізичних процесів відбувається нагрів рідини до температур, близьких до температури кипіння. Отримана гаряча вода може бути використана для опалення та гарячого водопостачання будівель різного призначення. Процеси, які відбуваються в кавітаторах ще недостатньо досліджені, не розроблені оптимальні конструкції кавітаторів, при яких процес перетворення механічної енергії у теплову буде протікати з максимальною інтенсивністю за мінімальних втрат теплоти в навколишнє середовище. У статті розглянуто існуючі конструкції теплових кавітаторів та проаналізовано їх роботу, що є базисом для проведення подальших досліджень та вдосконалення цих конструкцій.

**Мета досліджень –** аналіз існуючих конструкцій кавітаційних теплогенераторів і викласти принципи їх роботи з метою вдосконалення конструкцій кавітаторів та визначити напрями подальших наукових досліджень процесів, що в них відбуваються.

**Результати досліджень**. Принцип роботи кавітаційних теплогенераторів запропонував ще на початку XIX століття австрійський винахідник Віктор Шаубергер, який працював в області практичної

*Науковий керівник – доктор технічних наук В. Г. Горобець

*© В. Г. Горобець, М. Г. Дідченко, 2016*

гідродинаміки. Він створив кавітаційний роторно-вихровий теплогенератор, що працював на воді, якою опалював своє житло. При поясненні принципів роботи кавітатора автор стверджував, що в його пристроях надлишкова енергія базується на протіканні ядерних реакцій [1].

Джеймсон Гріггс запропонував свою конструкцію роторного теплогенератора [2] (рис. 1), який запатентував у 1993 р. під назвою «гідросонна помпа». На поверхні ротора 1 його «гідросонної помпи» Гріггс запропонував використання наскрізних радіальних отворів та радіальних заглиблень 2, які в роботі [3] названі «комірками Гріггса».

Одним із найперших російських винахідників, який створив роторний теплогенератор, був співробітник новосибірського Інституту гідродинаміки РАН А. Ф. Кладов. Установку, за допомогою якої він здійснював запропонований спосіб отримання теплової енергії, захищено патентами РФ [4, 5]. Він назвав її «ультразвуковим активатором» і використовував для активації хімічних процесів у рідинах і суспензіях (рис. 2).

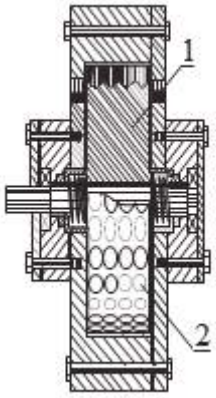



**Рис. 1. Роторний теплогенератор Дж. Гріггса**

Активатор Кладова містить кілька з'єднаних послідовно робочих камер 1, які пронизує загальний вал із закріпленими на ньому робочими колесами 2 від відцентрових насосів. На їх периферії приварені кільця 3 із наскрізними радіальними отворами. Навколо осі цих кілець у корпусах 4 робочих камер закріплені нерухомі кільця статора 5, що мають такі самі радіальні наскрізні отвори. Сусідні робочі камери 1 з'єднуються між собою за допомогою дифузорів 6, виконаних у вигляді лопаток 7 (рис. 2). Крайні робочі камери 1 з'єднані між собою циркуляційним контуром 8. Робоче колесо 2 надає рідині кінетичної енергії, яка частково витрачається на створення статичного тиску P1 у дифузорах 6, а частково на створення пульсацій тиску P2 при проходженні рідиною отворів у кільцях ротора 3 і статора 5 при обертанні ротора щодо статора.

Кладов використовував у своєму пристрої, крім води, інші рідини, що наведені в табл. 1, в якій подано результати проведених експериментів. (N1 – потужність електродвигуна, N2 – теплова потужність, що виробляється запропонованим пристроєм).

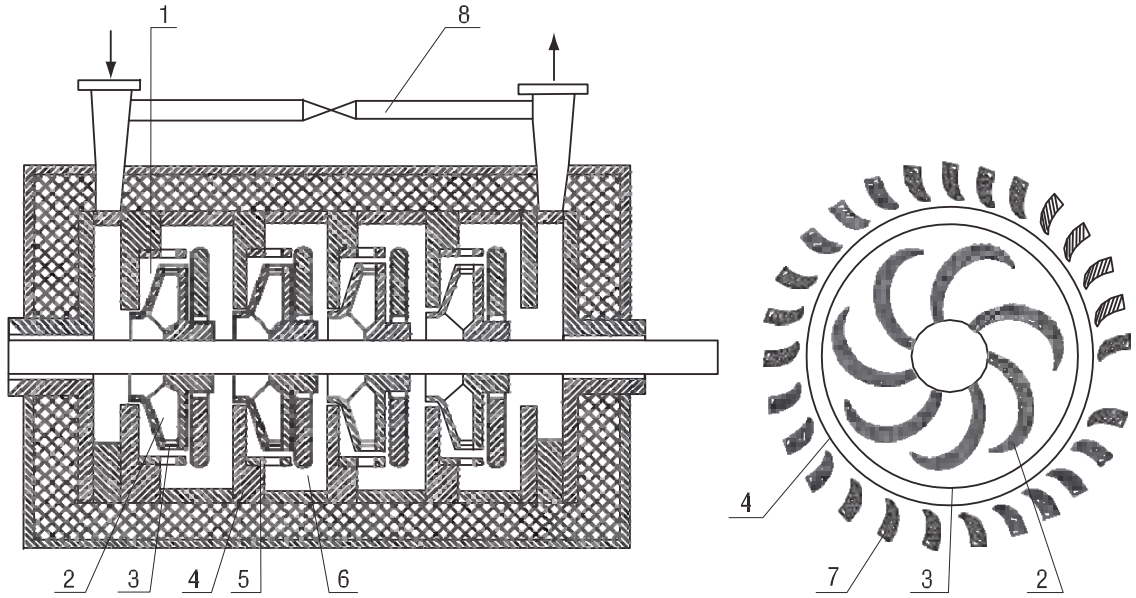



**Рис. 2. Теплогенератор А. Ф. Кладова**

Слід відзначити праці А. Д. Петракова з м. Рубцовськ Алтайського краю. Заявлений автором патент (приорітет від січня 1998 р.) передбачає кавітаційний спосіб отримання енергії за допомогою резонансного насоса-теплогенератора [6, 7]. В основу свого винаходу Петраков, як і Кладов, поклав принцип взаємодії прискорених струменів рідини з деталями обертаючого ротора (рис. 3). При обертанні вала ротора 3 рідина, що нагрівається, засмоктується в порожнину 4 і надходить в ротор, виконаний як двостороннє робоче колесо відцентрового насоса. Лопатки 5 обертового ротора відкидають рідину до кільця ротора 1. Далі рідина проходить через циліндричні радіальні отвори в цьому кільці, які автор назвав «круглоциліндричними насадкими Вентурі». Маючи більшу кінетичну енергію потік рідини утворює в цих отворах зони зі зниженим тиском у момент суміщення отворів ротора і статора. При цьому рідина, проходячи через отвори, які розширюються, утворює області зниженого тиску. В результаті цього, згідно припущенням автора, «у розширеній частині отворів статора 2 відбувається закипання, що насичує транзитні струмені кавітаційними бульбашками». Після проходу цієї зони «тиск у транзитному струмені підвищується і кавітаційні бульбашки схлопуються, утворюючи першу хвилю гідравлічних ударів, що нагрівають рідину».

У момент перекривання отворів ротора 1 суцільними стінками кільця статора 2, як стверджує автор, «відбувається різке підвищення тиску по всій довжині циліндричних отворів кільця ротора. Виникаючий прямий гідравлічний удар інтенсифікує схлопування кавітаційних бульбашок у рідині, що породжує кавітаційнні ударні хвилі, які підсилюють прямий гідравлічний удар». Петраков вважає, що схлопуванню кавітаційних бульбашок допомагає постійний надлишковий тиск Р1, наявність якого забезпечується пружинним регулятором 6. Результати експериментів, які викладені в патенті винаходу, наведені в табл. 2.

**1. Основні показники кавітаційного теплогенератора А. Ф. Кладова**

| Рідина | $P_1$, *МПа* | $P_2$, *МПа* | $N_1$, *кВт* | $N_2$, *кВт* | $N_2$ / $N_1$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Вода | 2,5 | 13,4 | 51,6 | 244,4 | 5,74 |
| Вода | 2,3 | 23,3 | 79,2 | 512,1 | 6,43 |
| Вода | 2,3 | 20,0 | 122,4 | 691,3 | 5,65 |
| Суспензія* | 1,4 | 1,6 | 72 | 836 | 11,61 |
| Газойль | 0,5 | 0,8 | 11 | 17 | 1,54 |
| Газойль | 1,0 | 1,5 | 17 | 38,5 | 2,26 |
| Турб. масло | 0,7 | 1,0 | 11,8 | 30,7 | 2,6 |

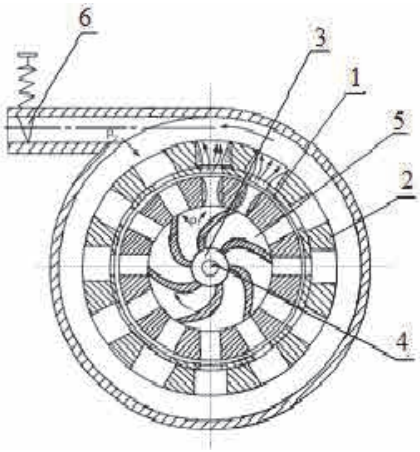



**Рис. 3. Роторний теплогенератор А. Д. Петракова**

**2. Результати експериментальних досліджень А. Д. Петракова**

| час роботи, *хв.* | Температура води в | Потужність електродвигуна, *W,* | Сгенерована теплова потужність, *Q* | | Ефективність, *Q / W* |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | *ккал/год* | *кВт* | |
| 0 | 5 | 71,5 | – | – | – |
| 10 | 15 | 70,4 | 81 000 | 94 | 1,33 |
| 20 | 25 | 66,9 | 81 000 | 94 | 1,4 |
| 30 | 35 | 63,6 | 81 000 | 94 | 1,48 |
| 40 | 46 | 53,9 | 89 100 | 103,6 | 1,92 |
| 50 | 57 | 51,7 | 14 850 | 103,6 | 2,0 |
| 55 | 63 | 48,2 | 97 200 | 113 | 2,34 |
| 60 | 69 | 48,2 | 97 200 | 113 | 2,34 |
| 65 | 77 | 48,2 | 129 600 | 150 | 3,11 |
| 70 | 86 | 48,2 | 145 800 | 169,5 | 3,52 |
| 75 | 92 | 45,4 | 113 400 | 131,9 | 2,9 |

У 1993 р. Ю. С. Потапов запатентував теплогенератор на основі вихрової труби Ранке, де замість повітря використовується потік води [8]. Потапов Ю. С. віддав свої теплогенератори на випробування в Ракетно-космічну корпорацію «ЕНЕРГІЯ», де протоколом випробувань підтверджено, що вихід теплової енергії є більшим, ніж витрати електричної енергії [9, 10].

Потапов виготовляв ротор зі сталі. Він був набраний з окремих дисків 1 (див. рис. 4). Теплогенератор зазначеної конструкції був виготовлений і використаний для опалення житлового будинку. При цьому потужність електродвигунів, що приводили в дію теплогенератор становила 75 кВт. Фірма «ІНФІКО-XXI» освоїла виробництво такого типу теплогенераторів, удосконаливши підшипниковий вузол.

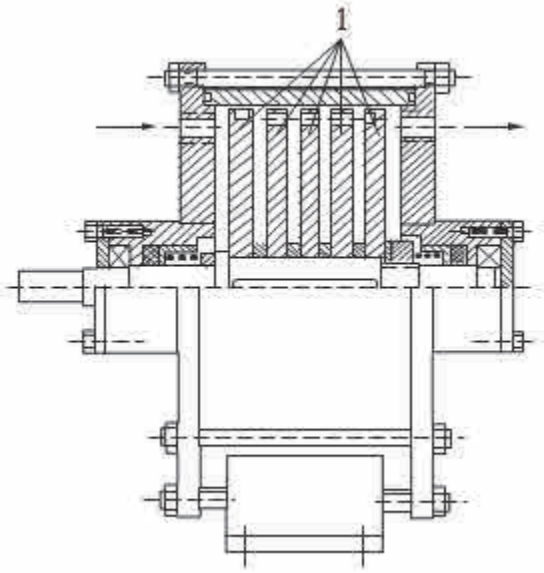



**Рис. 4. Багатодисковий роторний кавітатор Ю. С. Потапова**

**3. Робочі параметри вихрових труб теплогенераторів Ю. С. Потапова**

| Типорозмір | -1М | -2М | -3М | -4М | -5М |
|---|---|---|---|---|---|
| Габарити (діаметр /мм ммммммдовжина), мм | 54/600 | 76/800 | 105/1000 | 146/1200 | 180/1500 |
| Маса, кг | 7,5 | 10 | 15 | 28 | 50 |
| Робочий тиск, атм | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| Витрата води, м3/год | 12 | 25 | 50 | 100 | 150 |
| Потужність насоса, кВт | 2,7 | 5,5 | 11 | 45 | 65 |
| Кількість теплоти, Ккал/год | 3 600 | 6 600 | 13 000 | 55 000 | 95 000 |

У табл. 3 наведено робочі параметри кількох модифікацій вихрових труб теплогенераторів Потапова (згідно з матеріалами фірми «ЮСМАР»). Проте ретельно оформлених протоколів випробувань теплогенераторів «ЮСМАР», що підтверджують наведені цифри, Ю. С. Потапов так і не надав.

У табл. 4 подано параметри роторних теплогенераторів, наведені фірмою «ІНФІКО-XXI». Теплогенератори, параметри яких подано в табл. 4, передбачають живлення від трифазної мережі напругою ~ 380 В та роботу в автоматичному режимі. При цьому вода нагрівається до температури +95 ° С при робочому тиску на виході з теплогенератора до 2,5 атм. Роторні теплогенератори з потужністю електродвигунів меншою, ніж 3 кВт, за наявними даними, серійно не випускаються.

**4. Параметри роторних теплогенераторів Ю. С. Потапова**

| Встановлена потужність електродвигуна, *кВт* | 55 | 75 | 90 | 110 | 132 | 160 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Обігріваємий об'єм приміщень, *м³* | 5180 | 7063 | 8450 | 10200 | 12430 | 13542 |
| Маса теплогенератора, *кг* | 700 | 920 | 1295 | 1350 | 1580 | 1715 |

Слід відзначити, що детальних експериментальних досліджень, у яких були б вивчені основні механізми перетворення механічної (електричної) енергії в теплову не було проведено. Тому в подальших дослідженнях потрібно провести експериментальну перевірку отриманих авторами результатів та визначити шляхи вдосконалення існуючих конструкції кавітаційних теплогенераторів.

## Висновки

1. Проведено огляд літературних джерел, присвячених вивченню кавітаційних теплогенераторів. Розглянуто основні конструкції та принципи їх роботи, виявлено конструктивні відмінності різних типів кавітаторів.

2. Показано, що необхідні подальші наукові дослідження з вивчення основних механізмів перетворення механічної (електричної) енергії в теплову.

## Список літератури


1. Viktor Scbauberger. «The Energy Evolution». Harnessing Free Energy from Nature. Translated an edited by Callum Coats. Volume Four of Eco-Technology, 2000. – P. 216–218.
2. Патент США № 5188090, н. кл. 126/247 // Griggs J. L. // Опубл. 23.02.93.
3. Fleischmann M. J. Journ. Electroanal. Chem. // M. J. Fleischmann, S. J. Pons. – 1989. – V. 261, № 2. – P. 301–306.
4. Патент РФ № 2054604, МПК F 24 J3/00. Способ получения энергии. / Кладов А. Ф. // Приор. от 02.07.93.
5. Патент РФ № 2085273, МПК B01 P7/00. / Кладов А. Ф. // Бюл. № 21, 1997 г.
6. Патент РФ № 2142604, МПК F24 J3/00. Способ получения энергии и резонансный насос-теплогенератор / Петраков А. Д. // Бюл. № 34, 1998.
7. Патент РФ № 2159901, МПК F24 J3/00. Роторный насос-теплогенератор / Петраков А. Д. // Бюл. № 33, 2000.

8. Патент РФ № 2045715 / Потапов Ю. С. // Бюл. изобр. № 28, 1995.
9. Фоминский Л. П. Как работает вихревой теплогенератор Потапова / Л. П. Фоминский. – Черкассы : ОКО-Плюс, 2001. – 104 с.
10. Патент Украины № 52985А. МПК F24 J3/00. Пристрій для нагрівання рідини / Потапов Ю. С., Потапов С. Ю., Фоминский Л. П. // Бюл № 1, 2003.

## КАВИТАЦИОННЫЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ, ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ

***В. Г. Горобец, М. Г. Дидченко***

**Аннотация.** *Проведен обзор литературных источников, посвященных изучению и разработке кавитационных теплогенераторов. Рассмотрены имеющиеся конструкции и принципы их работы, проведен анализ конструктивных особенностей кавитаторов, предложенных различными авторами. Показано, что необходимы дальнейшие научные исследования по изучению основных механизмов преобразования механической (электрической)энергии в тепловую.*

**Ключевые слова:** ***кавитационный теплогенератор, конструкция, принцип работы, механическая и тепловая энергия***

## CAVITATION HEAT GENERATORS, BASIC CONSTRUCTIONS AND PRINCIPLES OF THEIR WORK

***V. Gorobets, M. Didchenko***

**Annotation.** *The review of the literature dedicated to the study and development of cavitation heat generators are executed. Existing structures and principles of their work are considered, the analysis cavitator design features that are offered by different authors are analized. It is shown that further scientific research of basic mechanisms of transformation of mechanical (electrical) to heat energy is necessary.*

**Key words:** ***cavitation heat generator, design, principle of work, mechanical and heat energy***

УДК 621.548

# ВЕТРОУСТАНОВКА С ВИХРЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПОТОКОВ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

***Р. А. Серебряков, кандидат технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: ruds@list.ru***

**Аннотация.** *В проблемах преобразования солнечной и ветровой энергии, а также энергии гидроресурсов, применение закрученных ламинарных потоков способно сыграть важную роль в связи с термогидравлической особенностью этих течений, концентрирующих в вихревой струе потоки кинетической энергии, рассеянные в окружающем пространстве. Это позволяет использовать низкопотенциальные термовосходящие течения, индуцированные солнечным нагревом, слабые ветра и кинетическую энергию потоков в руслах рек и гидроканалов.*

**Ключевые слова:** ***ветер, ветроэнергетика, вихревой эффект, вихревой ветропреобразователь, поток, сплошная среда***

Ветровой энергетический потенциал России в несколько раз превышае сегодняшние потребности страны в электроэнергии, однако, конструкционные особенности современных лопастных ветряков и низкие скорости ветров на территории России делают невозможным его использование. Для эффективной работы лопастных ветряков необходима скорость ветра более шести метров в секунду. Использование ветроустановок (ВЭУ) на базе «вихревых преобразователей потоков сплошной среды», способных использовать низкопотен-циальные воздушные потоки (малые ветра), утилизированные тепловые потоки, сбрасываемые во внешнюю среду промышленными предприятиями и возможности преобразования гелио- и гелиотермальной энергии в виде термоиндуцированных восходящих струй воздуха, позволит вырабатывать электроэнергию на воздушных потоках, движущихся со скоростью от 3–4 м/с [1, 2, 3, 4]. В основе работы (и конструкции) «Вихревого преобразователя потоков сплошной среды» (ВП) – т. н. *«вихревой эффект»* [5, 6, 7, 8, 9, 10]. В результате многолетних исследований, с использованием аэродинамических труб ЦАГИ, был создан «задел» теоретических основ и конструкций ветроустановок нового класса, алгоритмы и методики расчета устройств, использующих «вихревой эффект», а также модели и опытные образцы.

*©Р. А. Серебряков, 2016*

Конструкция ВП (рис.1) содержит: входное и вытяжное устройство, направляющие аппараты (рис. 1,б), ротор (рис.1,в) и дефлектор. Установка автоматически подстраивается под реальную скорость ветра и обеспечивает преобразование энергии ветра с высокой эффективностью в широком диапазоне ветров (рис. 2) [11, 12, 13, 14].

Особенности ВП по сравнению с традиционными ветряками:

- в 1,5–2 раза меньше рабочая скорость ветра и массогабаритные параметры;
- «ротор-генератор» исключает вал, нет системы «установка на ветер»;
- конструкция предполагает её модульное исполнение из идентичных функциональных модулей (рис. 3);
- стабилизация числа оборотов ротора обеспечивается изменением входной площади воздухозаборника;
- коэффициент использования энергии ветра ξ≈0,3; быстроходность Z≈1,5–2,0;

**а** **б** **в**

**Рис. 1. Конструкция ВП:**
а – общий вид; б – элемент направляющего аппарата; в – ротор

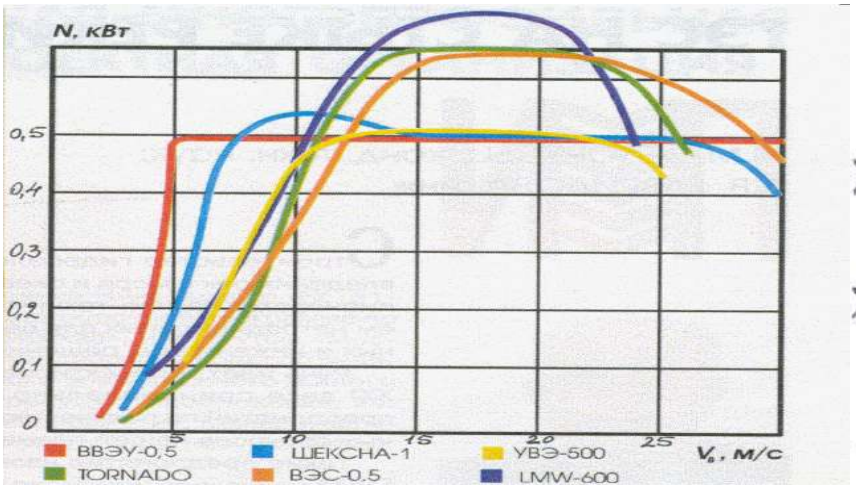



**Рис. 2. Графики N = f(Vв) для различных вариантов ВЭУ**

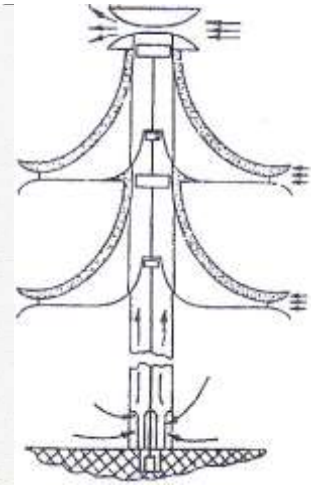


**Рис. 3. Схема модульного исполнения ВП**

**Цель исследований** – разработка ветроустановки с вихревым преобразователем потоков сплошной среды.

**Материалы и методика исследований.** Создание вихревых преобразователей потоков сплошной среды (ВП) основано на возможности формирования ламинарных закрученных потоков, образованных кривыми второго порядка в вертикальной плоскости и по спирали Архимеда в горизонтальной плоскости, подобных по своим свойствам природному смерчу, обладающему значительным запасом кинетической энергии [15, 16, 17].

Рассмотрим коротко физические процессы, протекающие при работе вихревого преобразователя. Круговое трехмерное осесимметричное установившееся течение вязкого, сжимаемого, теплопроводного газа описывается системой уравнений движения, сплошности, энергии и состояния, которая в цилиндрической системе координат имеет следующий вид:

Уравнение движения

$$v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\tau^2}{r} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} + \nu\left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2}\right)$$

$$v_r \frac{\partial v_\tau}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_\tau}{\partial z} + v_r \frac{v_r}{r} = \nu\left(\frac{\partial^2 v_\tau}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_\tau}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_\tau}{\partial r} - \frac{v_\tau}{r^2}\right)$$

$$v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial r} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + \nu\left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)$$

Уравнение сплошности

$$\frac{\partial(\rho \cdot r \cdot v_r)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho \cdot r \cdot v_z)}{\partial z} = 0$$

Уравнение энергии

$$\rho \cdot C_p \cdot \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = v_r \frac{\partial p}{\partial r} + v_z \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r}\right) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \nu' \left\{ 2 \cdot \left[ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{v_r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)^2 \right] + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_\tau}{\partial r} + \frac{v_\tau}{r}\right)^2 \right\} - \frac{2}{3} \cdot \nu' \cdot \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} - \frac{\partial v_z}{\partial z}\right)^2$$

Уравнение состояния

$$p = \rho \cdot R \cdot T.$$

Решая приведенные выше уравнения можно прийти к выводу, что в радиально-круговом потоке газа ни вязкость, ни сжимаемость не могут изменить закона потенциального потока (закона свободного вихря) в распределении скорости и постоянства полной температуры по радиусу.

Также известно, что устойчивость круговых потоков обеспечивается во всех случаях, когда возмущения приводят к увеличению момента количества движения на внешней границе потока или уменьшению на его внутренней границе.

**Результаты исследований.** Статор ВП, являющийся генератором закрученного потока (рис. 4), образован группой симметрично расположенных по окружности каналов, воспроизводящих траекторию движения воздушных струй в природных смерчах, стекающихся в центральную осевую зону статора.

В приосевой, центральной области сформированного в устройстве вихря, давление понижено по отношению к внешнему атмосферному давлению, что способствует образованию тяги и всасыванию тем самым в этот смерчеобразный столб дополнительной массы воздуха.

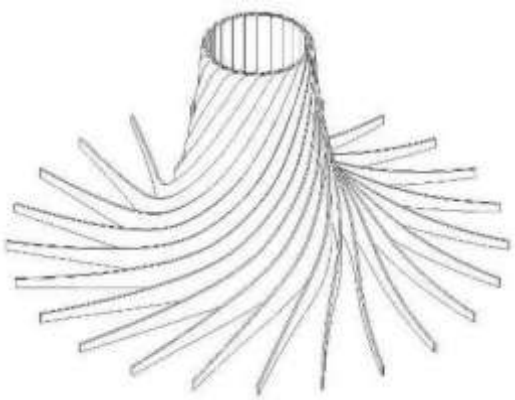


**Рис. 4. Генератор закрученного потока**

Вихревое движение возникает в турбулентном потоке вязкого сжимаемого газа, имеющем градиент статического давления по нормали к направлению основного движения. Стоит отметить, что градиент статического давления может быть обусловлен гравитационными, инерционным, электрическим или магнитным полями.

Важным фактором, вынуждающим воздух двигаться по заданным траекториям, является избыточное давление торможения *p*, определяющее величину азимутальной компоненты скорости вращения потока при выбранной форме закручивающего канала статора.

Величина избыточного давления торможения определяется:

$$p^{*} = p(r,z) + \frac{\rho \left\| V_{\varphi} \right\|^{2}}{2} + \rho \int_{0}^{r} \frac{\left\| V_{\varphi} \right\|^{2}}{2} dr$$

Зная давление торможения для всех сечений канала можно определить значения компонентов скорости потока – осевой $V_{zi}(r)$, радиальной $V_{ri}(r)$ и азимутальной $V_{\varphi i}(r)$ (рис. 5). Физический смысл составляющих ($V_{zi}(r)$, $V_{ri}(r)$, $V_{\varphi i}(r)$) скорости потока позволяет считать, что $V_r(r)$ – интенсифицирует давление у стенок цилиндрической камеры статора ВП; $V_z(r)$ – расходуется в энергетическом балансе на преодоление гидравлического сопротивления в осевом движении вихря; $V_{\varphi i}(r)$ – частично преобразуется в энергию в

форме механической работы потока на лопатках ротора ВП и частично рассеивается в окружающую среду.

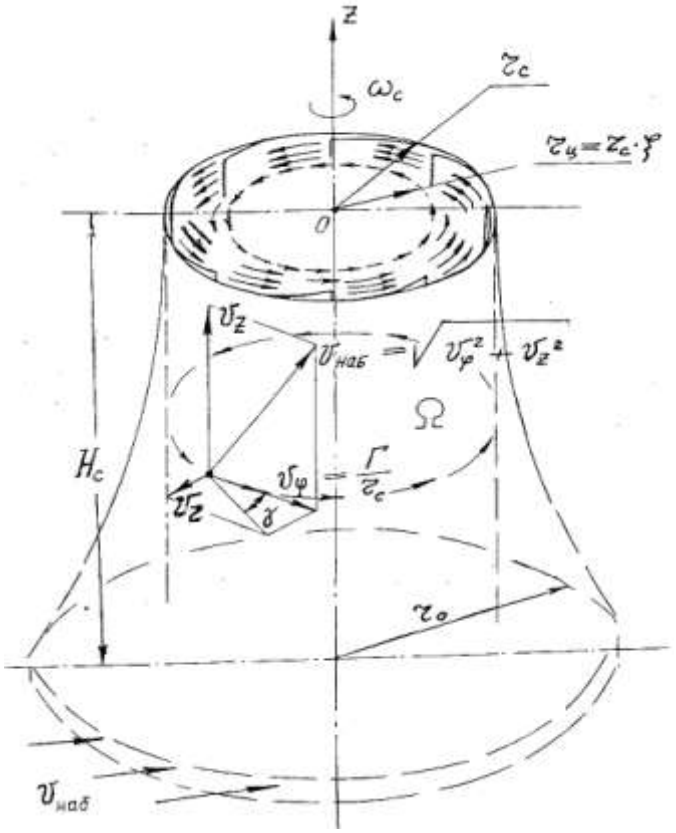



**Рис. 5. Компоненты скорости потока в цилиндрической зоне статора**

Условием работоспособности вихревого преобразователя является зависимость:

$$p(r,z) + \frac{\rho V_{z(вых)}^2}{2} \geq p_{атм}$$

При условии, что вся энергия потока с компонентой скорости $V_\varphi$ полностью перейдет в полезную работу, а величина p(r,z) – давление за ротором ВП. Если это условие не соблюдается, то часть кинетической энергии закрученного потока следует превращать в давление подтормаживания струи. Очевидно также, что ВП имеет свои границы устойчивой работы, определяемые минимальными значениями p(r,z) и $V_z$ (r).

Так как каналы проектируемого ВП имеют специальный профиль (рис. 6) в горизонтальной и вертикальной плоскостях, меняющийся от сечения к сечению так, что в центральную зону должны поступать струи, "сшивающиеся" в общий смерчеобразный вихревой поток, движение в канале рассматривается как безотрывное, ускоряющееся к выходной щели.

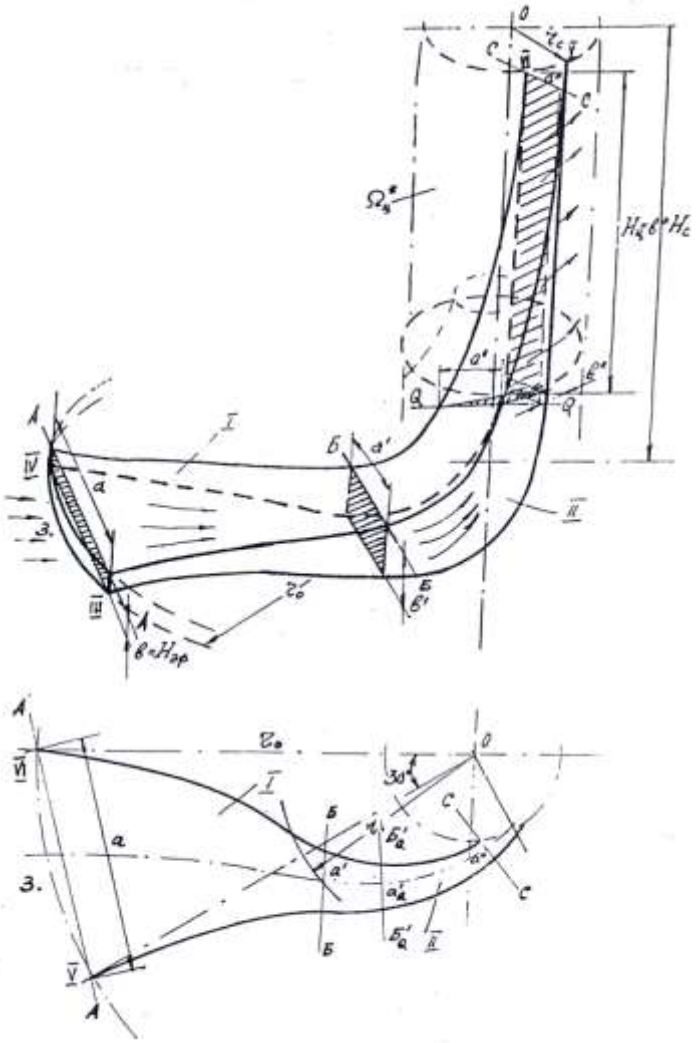


**Рис. 6. Схема канала статора**

Траектория воздушных струй, обеспечивающая условия для образования квазипотенциального ламинарного потока, подобного природному смерчу, описывается системой из двух уравнений, характеризующих ее в двух плоскостях. Проекция траектории на горизонтальную плоскость описывается уравнением:

$$\varphi 1 = \varphi 0 + [V\varphi(r)/Vr(r)] \cdot r^2 c \cdot [1/r^2 1 - 1/r^2 0],$$

а в вертикальной плоскости проекции, соответствующей уравнению:

$$z_i = \frac{\text{const}}{r_i^2}$$

Условно можно в первом приближении представить вихревой преобразователь как аналог вихревой самовакуумирующейся трубы. На выходе установлен ротор, а цилиндрическая зона статора выполняет функцию направляющего аппарата турбины. Таким образом, при втекании воздуха из атмосферы в зону вихреобразования через

тангенциальные направляющие каналы, в вихревой зоне возникает интенсивный круговой поток или свободный вихрь, перемещающийся в сторону выходного сечения статорной части установки. По мере осевого перемещения этот поток взаимодействует с заполняющим приосевую ось потоком эжектируемого снизу потока воздуха. За счет воздействия внешнего кругового потока, приосевой поток, являющийся вынужденным вихрем, закручивается в ту же сторону и движется в сторону выходного сечения под действием осевого градиента давления. В таблице и на рис. 7, 8, 9, 10 представлены результаты компьютерного исследования потоков сплошной среды в вихревой и периферийной зонах вихревого преобразователя [18, 19].

**Результаты исследований потоков сплошной среды**

| | Массовый расход воздуха, кг/с | Полное давление, Па | Скорость, м/с |
|---|---|---|---|
| На входе воздуха | 0.0051833163 | 101325 | 0.27886328 |
| На входе газа | 0.02398211 | 101773.14 | 0.2 |
| На выходе из установки | 0.029139828 | 101582.27 | 18.855532 |

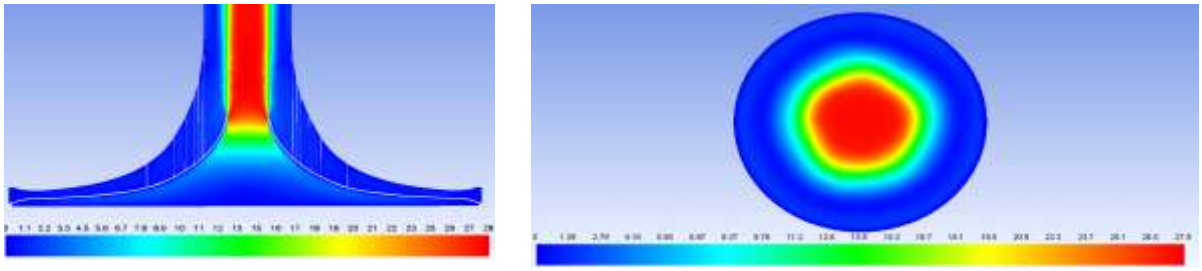


**Рис. 7. Поля скоростей потоков рабочего тела на входе в статорную часть установки**

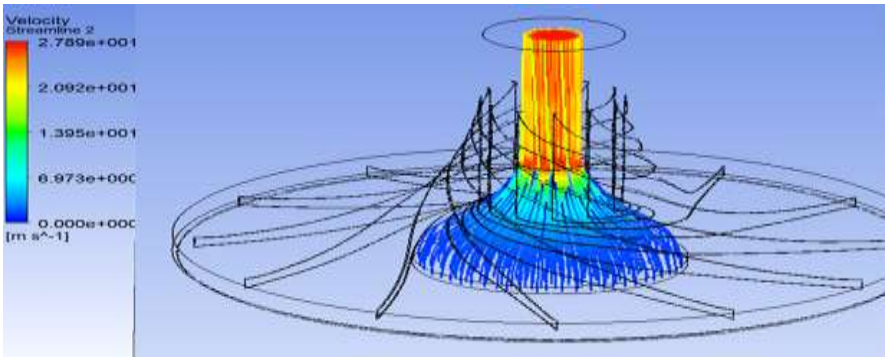



**Рис. 8. Распределение скоростей рабочего тела от входа – к выходу из статорной части установки**

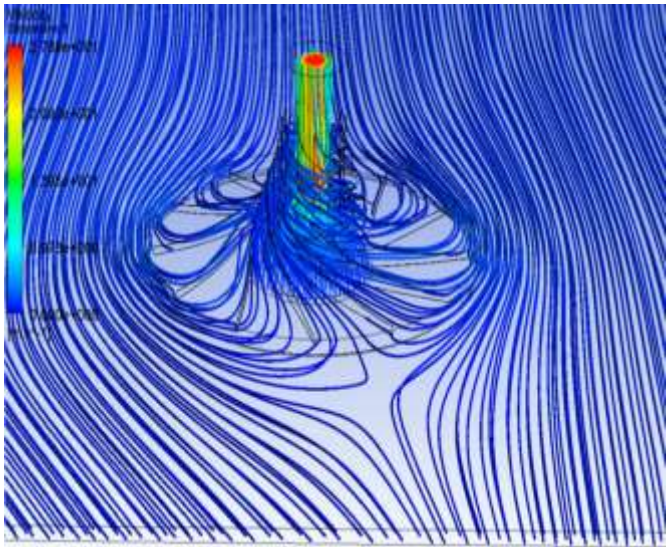


**Рис. 9. Линии тока набегающего воздушного потока**

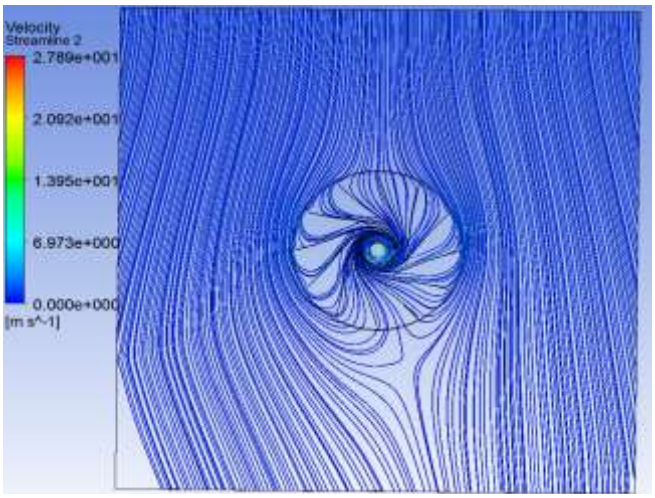



**Рис. 10. Линии тока воздушного потока (вид сверху)**

## Выводы

В статье представлены обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований вихревых преобразователей потоков сплошной среды, а также подтверждена возможность создания вихревых ветроустановок на базе Вихревых преобразователей потоков сплошной среды, способных использовать низкопотенциальные воздушные потоки, движущиеся со скоростью от 3–4 м/с и, кроме того, утилизированные тепловые потоки, сбрасываемые во внешнюю среду промышленными предприятиями.

## Список литературы

1. Бирюк В. В. Вихревая ветроэнергетическая установка / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков // Труды 7-й Международной науч.-техн. конф.

«Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве». Ч. 4. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – С. 248–252.

2. Бирюк В. В. Газо-ветроэнергетическая установка / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков, Ю. И. Цыбизов, Л. П. Шелудько // Альтернативный киловатт. – 2011. – № 5. – С. 48–51.

3. Бирюк В. В. Вихревая ветро-солнечная энергетическая установка / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков, В. Н. Зазимко // Альтернативная энергетика и экология.– 2013. – № 7. – С. 23–26.

4. Серебряков Р. А. Vortexeffect – vortex energy technologies / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2013. – V. 4, № 4. – P. 74–78.

5. Серебряков Р. А. Исследование СВТ с вращающимся диффузором / Р. А. Серебряков, В. Т. Волов //Депонировано в ВИНИТИ, № 5713. – 1984. – 9 с.

6. Серебряков Р. А. Анализ возможности использования СВТ с вращающимся диффузором / Р. А. Серебряков, В. Т. Волов // Межвузовский сборник КУАИ «Аэродинамика ЛА и их систем». – 1987. – С. 134–138.

7. Серебряков Р. А. Практическое применение вихревого эффекта / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк // Конверсия. – 1994. – № 10. – С. 19–20.

8. Серебряков Р. А., Некоторые вопросы теории вихревой энергетики / Р. А. Серебряков // Научные труды ВИЭСХ. – 1999. – Т. 85. – С. 34–54.

9. Серебряков Р. А. Вихревая энергетика / Р. А. Серебряков // Научные труды ВИЭСХ. – 2000. – Т. 86. – С. 80–92.

10. Серебряков Р. А. Вихревая ветроэнергетическая установка / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк // Сб. «Ракетно-техническая техника». – Самара, 2000. –Сер. XII. – С. 43–73.

11. Серебряков Р. А. Вихревая ветроэнергетика / Р. А. Серебряков, А. Б. Калениченко // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2001. – № 11. – С. 28–29.

12. Серебряков Р. А. Энергия вихря и энергия вакуума – от теории к практике / Р. А. Серебряков, А. Б. Калениченко, А. М. Савченко, Ю. Н. Родионов // Энергетика и промышленность России. – 2003. – № 6. – С. 10–12.

13. Серебряков Р. А. Автономная ветроэнергетика / Р. А. Серебряков // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2004. – № 7. – С. 53–55.

14. Серебряков Р. А. Вихревая энергетика в энергосберегающих технологиях / Р. А. Серебряков, В. В. Бирюк, Ш. А. Пиралишвили // Сб. докл. XIX школы-семинара «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических технологиях, г. Орехово-Зуево. – М. : МЭИ, 2013. – С. 15–16.

15. Бирюк В. В. Методика расчета вихревых установок / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков, А. П. Толстоногов. – Самара : НТО СГАУЦ, 1992. – 96 с.

16. Краснов Ю. К. Эволюция смерчеобразных течений вязкой жидкости / Ю. К. Краснов, Г. И. Кикнадзе // ДАН СССР. – 1986. – Т. 290, № 6. – С. 1315.

17. Пат. № 1779283 СССР. Способ формирования закрученных потоков сплошных сред / Серебряков Р. А., Олейников В. Г., Краснов Ю. К., Кикнадзе Г. И., Демченко И. Ф., Гачечиладзе И. А. – № 4885120/29 ; заявл. 25.11.1990 ; опубл. 30.11.1992, Бюл. № 44.

18. Бирюк В. В. Вихревая газоветроустановка для электроснабжения компрессорных станций / В. В. Бирюк, И. А. Краснорцкий // Вестник Самарского аэрокосмического университета им. С. П. Королева. – 2011. – № 5 (29). – С. 29–35.

19. Бирюк В. В. Методика расчета и анализа аэродинамических показателей газового потока в вихревой ветроэнергетической установке / В. В. Бирюк, И. А. Краснoруцкий // Вестник СГАКУ им. С. П. Королева. – 2013. – № 3 (41), Ч.1. – С. 40–47.

## ВІТРОУСТАНОВКА З ВИХРОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ПОТОКІВ СУЦІЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА

***Р. А. Серебряков***

**Анотація.** *У проблемах перетворення сонячної та вітрової енергії, а також енергії гідроресурсів, застосування закручених ламінарних потоків здатне відіграти важливу роль у зв'язку з термогідравлічною особливістю цих течій, які концентрують у вихровий струмінь потоки кінетичної енергії, розсіяні в навколишньому просторі. Це дає змогу використовувати низькопотенційні термовисхідні течії, індуковані сонячним нагріванням, слабкі вітри й кінетичну енергію потоків у руслах річок і гідроканалів.*

**Ключові слова:** ***вітер, вітроенергетика, вихровий ефект, вихровий вітроперетворювач, потік, суцільне середовище***

## WIND TURBINE WITH THE VORTEX CONVERTER STREAMS OF CONTINUOUS MEDIA

***R. Serebryakov***

**Annotation.** *In problems of the conversion of solar and wind energy resources, the use of twisted laminarizing flows can play important role in connection with the thermal-hydraulic characteristic of these movements, concentration in the vortex jet streams of the kinetic energy that is scattered in thresurounding space. This allows the use of low-pressure thermochimie currents induced by solar heating, a weak wind and kinetic energy flows in rives and canals. The ability of vortex jets to concentrate in his trunk the energy scattered in the surrounding space allows, in addition to flows withhigh heat or high-speed potentials, to use the low-potentire flow moving in the atmosphere and waters with skorostyami 0,5 to 2 m/s, which considetably industry broadens the range of utilization of heat flow discharged into the external environment industry companies, the possibilities of transforming helioenergy as thermoinsulating ascending jets of air, energy, weak winds and a slow hydraulic flows.*

**Key word:** ***wind, wind energy, a vortex effect, vortex converter, flow, continuous media***

УДК 621.311.001.57

# РОЗРОБКА МОДЕЛІ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА ВИЩИХ ГАРМОНІК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***В. Я. Бунько, кандидат технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: vbunko@gmail.com***

**Анотація.** *Проведено обґрунтування розробки моделі активного фільтра вищих гармонік на базі програмного середовища MATLAB, які впливають на показники якості електричної енергії в розподільних мережах системи електропостачання сільськогосподарських та промислових підприємств. Побудовано модель, яка дасть змогу аналізувати режими роботи різних перетворювальних схем і електронних пристроїв для дослідження показників якості електричної енергії.*

**Ключові слова:** ***активний фільтр, MATLAB, вищі гармоніки, якість електричної енергії, нелінійне навантаження, спектральний аналіз, коефіцієнт несиметрії***

Активний фільтр гармонічних складових струму і напруги представляє собою складну електротехнічну систему. Широке застосування в інженерній практиці різних методів автоматизації проектування дає змогу перейти від традиційного макетування розроблюваного пристрою до побудови його віртуальної моделі за допомого універсальних програм. Це дозволить уникнути великих матеріальних затрат, а також зменшити час на проектування.

Нині існує велика кількість універсальних програм для моделювання, які орієнтовані на аналогові або цифрові схеми [1]. За їх допомогою можна здійснювати аналіз режимів роботи різних перетворювачів електронних пристроїв та блоків [2]. Для дослідження й проектування електронних блоків добре зарекомендували себе прикладні програми, в основі яких використовується пакет *Pspice*. До цих пакетів відносяться *OrCAD* 9, *DesignLab* та інші [3].

В даній статті основною задачею комп'ютерного моделювання є підтвердження результатів теоретичного аналізу електромагнітних процесів, які протікають в активному фільтрі гармонік, а також правильності основних принципів системи управління й прийнятих при цьому припущень. Для даного середовища моделювання активного фільтра гармонік вибрано програмний комплекс *MATLAB.*

Перевагою програмного комплексу *MATLAB*, порівняно з іншими спеціалізованими пакетами для моделювання електричних схем, є великий вибір алгоритмів, як зі змінним, так і з фіксованим кроком

*© В. Я. Бунько, 2016*

розрахунку. Це дасть змогу скоротити час розрахунку при зберіганні високої точності, за рахунок підбору більш підходящого алгоритму. Також, існує можливість зберігання та подальшого опрацювання результатів моделювання в *Simulink* за допомогою командних засобів *MATLAB* [8].

**Мета дослідження –** моделювання активного фільтра гармонік, для забезпечення показників якості електричної енергії в розподільних установках систем електропостачання.

**Матеріали та методика досліджень.** У статті розглянуто питання моделювання активного фільтра, який забезпечує якість електричної енергії в розподільних мережах. Як оптимальне середовище для моделювання компенсуючого пристрою вибрано програмний комплекс *MATLAB*, який є потужним середовищем для проведення математичних розрахунків і моделювання.

**Результати досліджень.** На рис. 1 подано модель трифазної системи з нелінійним та несиметричним навантаженням, в яку ввімкнено активний фільтр гармонік, реалізовану в програмі *Simulink* програмного комплексу *MATLAB* [8].

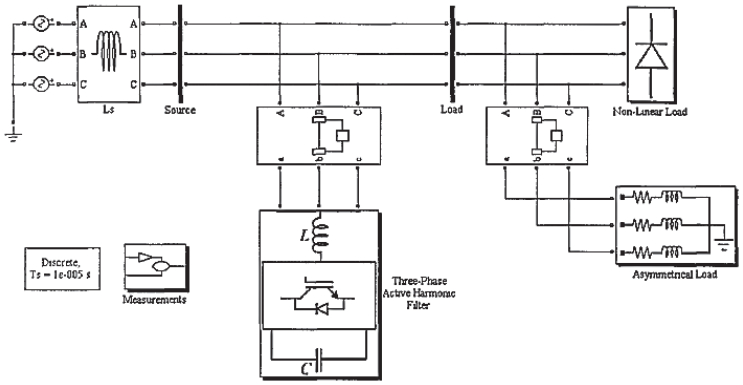



**Рис. 1. Модель трифазної системи з нелінійним і несиметричним навантаженням у середовищі *MATLAB***

Для моделювання трифазної мережі в середовищі *MATLAB* використовуємо з бази даних *SimPowerSystems* блок *AC Voltage Source* і блок *Series RLC Branch*. За допомогою даних блоків задаємося напругою і індуктивним опором живильної мережі. Вони показані на рис. 2 та 3.

Для моделювання живильної мережі взято джерело з дійсним значенням лінійної напруги *(Phase-to-phase rms voltage)*, рівною 400В, і частотою *(Frequency),* рівною 50Гц [4, 5].

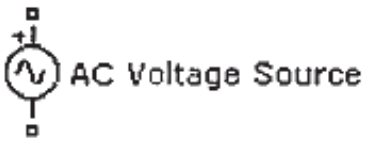



**Рис. 2. Ідеальне джерело змінної напруги AC *Voltage Source***

**Рис. 3. Послідовна *RLC*-ланка *Series RLC Branch***

Як навантаження подано два блоки, один із яких моделює нелінійне навантаження *(Non-Linear Load)* (рис. 4), а інший – несиметричне активно-індуктивне навантаження *(AsymmetricalLoad)* (рис. 5). Кожен із елементів може змінювати свої характеристики під час моделювання.

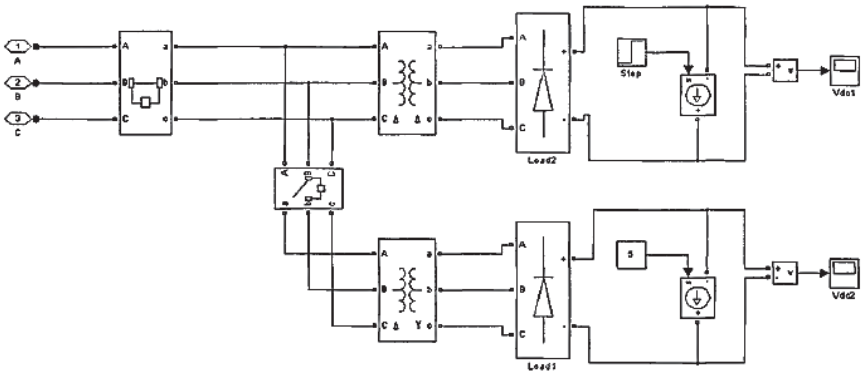


**Рис. 4. Блок трифазного нелінійного навантаження *(Non-Linear Load)***

Скористаємося діалоговим вікном для задавання параметрів. При моделюванні задаємо наступні параметри блоку. Опір діода у відкритому стані *(Diodeon-stateinductance)* задаємо 0,01Ом. Це значення характерне для сучасних потужних діодів. Індуктивність діода у відкритому стані *(Diodeon-stateinductance)* задаємо рівною 0, оскільки у реальних потужних діодів значення індуктивності дуже мале. Мінімальна напруга анод-катод, необхідна для того, щоб діод відкрився, задаємо рівною 1В. Це значення повністю характерне для всіх потужних діодів [6, 7].

Модель активного фільтра гармонік складається зі стандартного активного фільтра, побудованого на *IGBT*-транзисторах, конденсатора на стороні постійного струму. Активний фільтр використовує блок *«PLL»* для генерації ідеальної синусоїди, яка співпадає по фазі й середньоквадратичному значенню струму навантаження. Миттєва помилка між ідеальною та реальною синусоїдою струму генерується *IGBT*-інвертором через перемикання блока *«Hysterisis»*. активний фільтр генерує сигнал помилки в мережу з невеликою витримкою часу, тим самим, забезпечуючи близьку до ідеальної форми синусоїду струму навантаження, і, як наслідок, забезпечує необхідну кількість електричної енергії.

Основні елементи, які входять до складу блоку активного фільтра, подано на рис. 6.

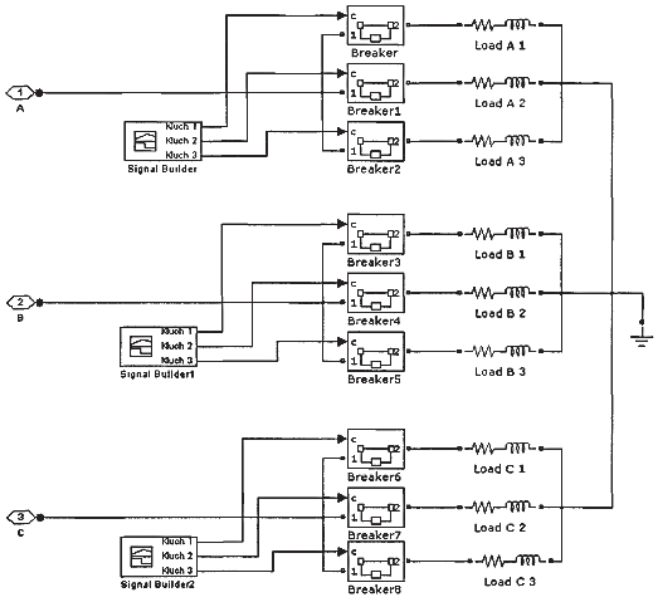



**Рис. 5. Блок моделювання трифазного несиметричного активно-індуктивного навантаження**

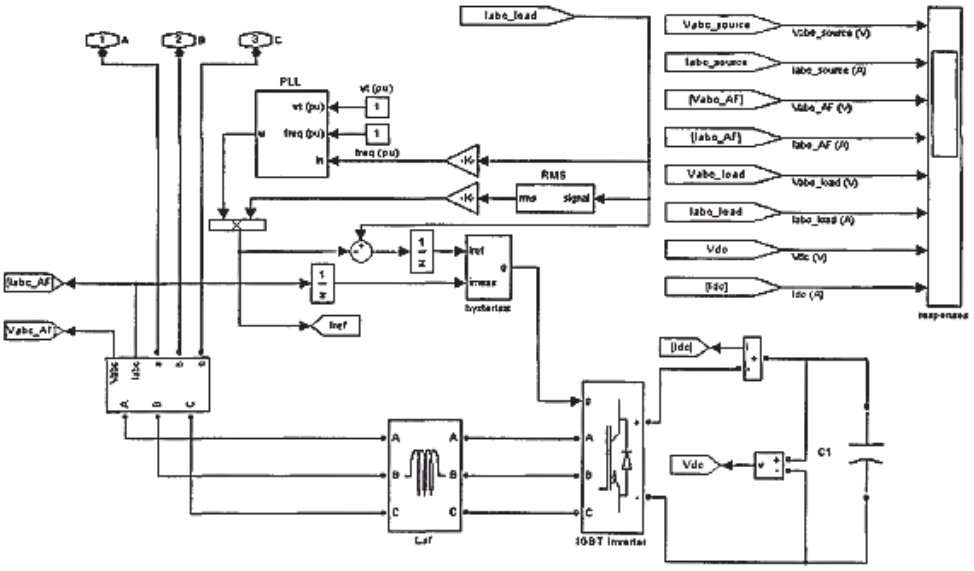



**Рис. 6. Модель трифазного активного фільтра в середовищі *MATLAB***

Параметри силової частини активного фільтра, які використовуються під час моделювання, з урахуванням заданого активно-індуктивного та нелінійного навантаження, мають такі значення:

- накопичувальний конденсатор – ємність С=3мФ;
- індуктивність фільтруючого дроселя (L) на виході активного фільтра, виходячи з потреб фільтрації, рівна L=10мГн.

Для компенсації вищих гармонік використовується пристрій, який складається з восьми блоків *IGBT*-транзисторів, котушок індуктивності, двох конденсаторів на стороні постійного струму й системи управління. Компенсуючий пристрій використовує блок *«Control»* для модуляції керуючого сигналу силової частини [8].

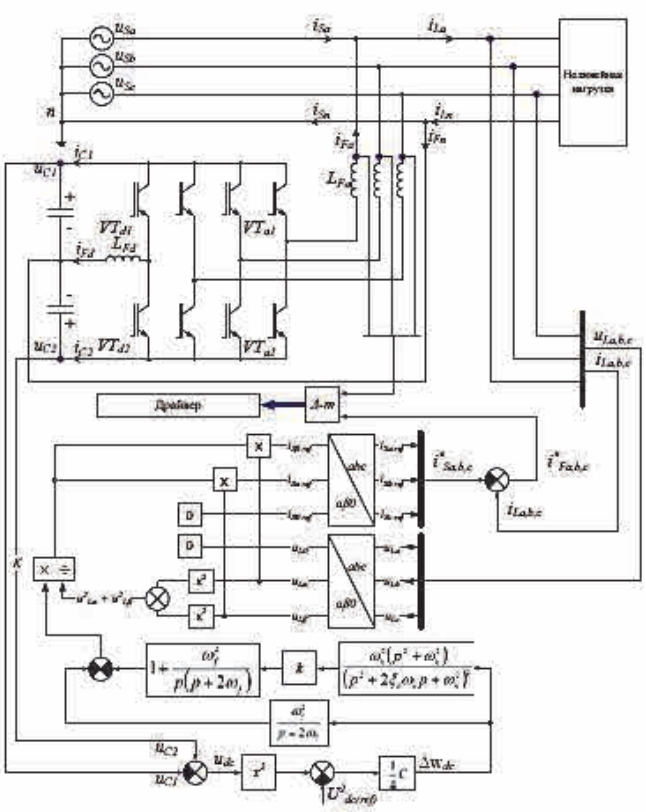


**Рис. 7. Схема компенсуючого пристрою вищих гармонік**

Для перевірки ефективності роботи отриманої моделі активного фільтра гармонік і системи управління було змодельовано різні режими навантаження, а також проведено оцінку якості компенсації вищих гармонік. Розглянемо режим зі змінним у часі несиметричним навантаженням, яке є несиметричним.

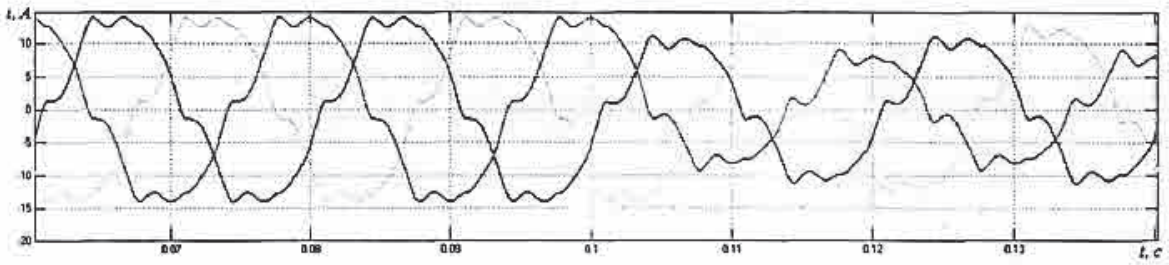



**Рис. 8. Струм навантаження до увімкнення фільтра**

Спектральний аналіз струму до вимірювання навантаження й після подано на рис. 9 і 10, відповідно. Із даних діаграм видно, що до ввімкнення активного фільтра гармонік коефіцієнти спотворення синусоїдальності кривої напруги були рівні $K_u$=7,76% і $K_u$=9,72% відповідно, до зміни навантаження та після.

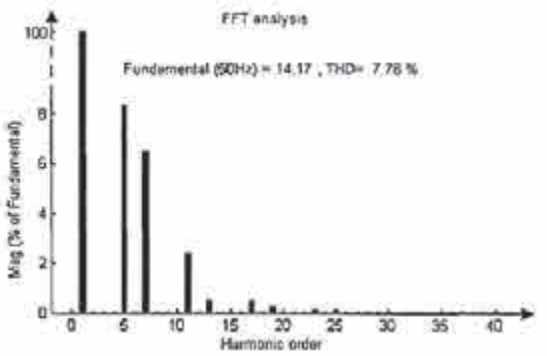



**Рис. 9. Спектральний аналіз струму до зміни навантаження з непрацюючим фільтром**

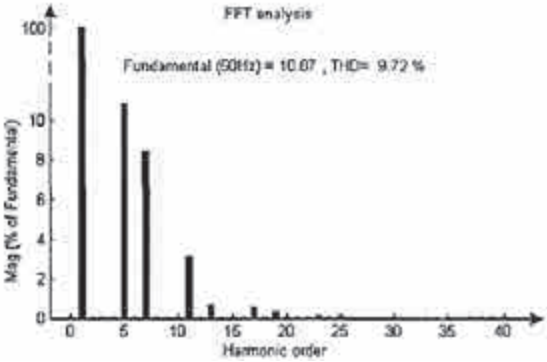



**Рис. 10. Спектральний аналіз струму зміни навантаження з непрацюючим фільтром**

На рис. 11 подано графік зміни струму навантаження після увімкнення активного фільтра гармонік.

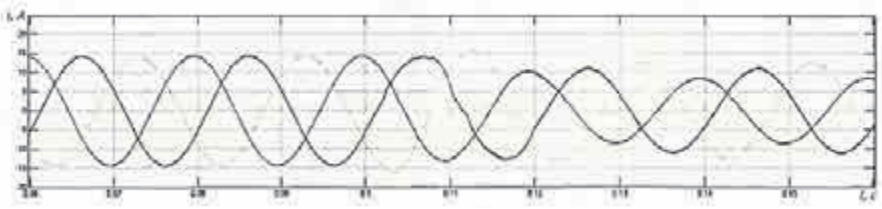


**Рис. 11. Струм навантаження після увімкнення фільтра**

Кількість компенсації вищих гармонік у режимі зі змінним у часі несиметричним навантаженням можна оцінити по рис. 12 і 13, де подано спектральний аналіз струму навантаження після увімкнення активного фільтра гармонік до його зміни й після. Як видно з графіків, коефіцієнти спотворення синусоїдальності кривої напруги після ввімкнення фільтра рівні $K_u$=0,6% і $K_u$=0,81% відповідно до та після зміни несиметричного навантаження.

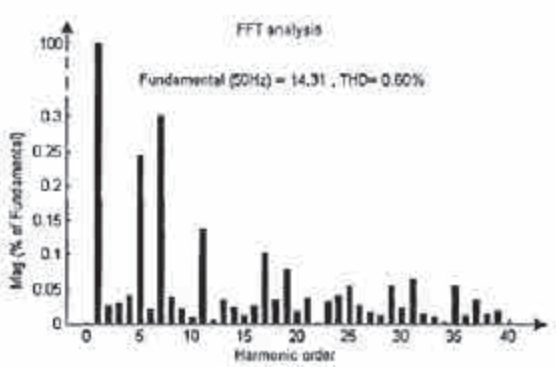



**Рис. 12. Спектральний аналіз струму до зміни навантаження з увімкненим фільтром**

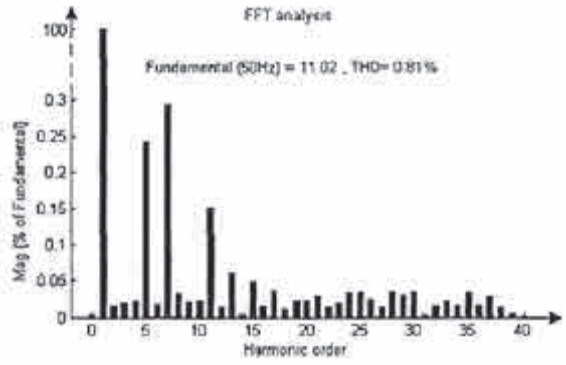



**Рис. 13. Спектральний аналіз струму до зміни навантаження з увімкненим фільтром**

## Висновки

У цілому проведений аналіз роботи моделі трифазного компенсуючого пристрою демонструє коректність та ефективність його роботи в усіх змодельованих режимах. Побудовано віртуальну модель активного фільтра гармонік і його системи управління в додатку *Simulink* програмного забезпечення *MATLAB.* Побудовано віртуальну модель системи електропостачання, яка дає змогу моделювати різні режими навантаження, обумовлені в часі та нелінійністю. Досліджено якість компенсації вищих гармонік у цих режимах. У розглянутих режимах коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги після увімкнення активного фільтра вищих гармонік знижується у 12 разів, що задовольняє вимоги ГОСТ 13109-97 щодо забезпечення показників якості електричної енергії в розподільних мережах системи електропостачання.

## Список літератури

1. Бунько В. Я. Обґрунтування впливу вищих гармонік на елементи систем електропостачання та якість електричної енергії / В. Я. Бунько // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. Вип. 194, ч.1. – С.127–133.

2. Бунько В. Я. Аналіз електромагнітної сумісності системи «мережа-активний фільтр гармонік», яка впливає на якість електричної енергії / В. Я. Бунько // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч.1. – С. 105–112.

3. Дилингер С. Ю. Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии / С. Ю. Дилингер // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (117). – С. 168–173.

4. Куско А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 336 с.

5. Лозинова Н. Г. Подавление высших гармоник в схемах передач постоянного тока с применением активных фильтров / Н. Г. Лозинова, М. И. Мазуров, А. В. Николаев // Электрические станции. – 2005. – № 12. – С. 59–63.

6. Лютаревич А. Г. Определение управляющего воздействия активного фильтра гармоник / А. Г. Лютаревич, В. Н. Горюнов, Д. С. Осипов // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 20–24.

7. Остриров В. Н. Экспериментальные исследования трехфазного активного фильтра для применения в современных электронных преобразователях / В. Н. Остриров, Р. В. Мосин // Электричество. – 2003. – № 7. – С. 63–66.

8. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

***В. Я. Бунько***

**Аннотация.** *Проведено обоснование разработки модели активного фильтра высших гармоник на базе программной среды MATLAB, влияющих на показатели качества электрической энергии в распределительных сетях системы электроснабжения сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Построена модель, которая позволит анализировать режимы работы различных преобразовательных схем и электронных устройств для исследования показателей качества электрической энергии.*

**Ключевые слова:** ***активный фильтр, MATLAB, высшие гармоники, качество электрической энергии, нелинейная нагрузка, спектральный анализ, коэффициент несимметрии***

# DEVELOPMENT OF ACTIVE FILTER MODEL OF HIGHER HARMONICS INDICATORS FOR QUALITY ELECTRIC POWER

***V. Bunko***

**Annotation.** *A study of development models of higher harmonics active filter based software environment MATLAB, affecting the quality parameters of electricity distribution networks in the electrical system of agricultural and industrial enterprises. The model that will analyze different modes of conversion circuits and electronic devices for research quality indicators of electricity.*

**Key words:** ***the active filter, MATLAB, harmonics, quality of electricity, nonlinear load, spectral analysis, the coefficient of asymmetry***

УДК 631.313.862:62.1

# МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

***В. Г. Подобайло, В. Ю. Рамш, кандидати технічних наук***
***М. В. Потапенко, Н. П. Семенова, старші викладачі***
***ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Запропоновано методику розрахунку основних експлуатаційних показників надійності електрообладнання біогазових установок через визначення ймовірності станів технологічних потокових ліній.*

**Ключові слова:** ***біогазова установка, надійність, випадковий процес, відмова, ймовірність станів***

Нині більшість технологічних процесів здійснюється за допомогою потокових виробничих ліній. Взаємодіючими елементами потокових ліній є різні види технологічного та електротехнічного обладнання та різні види сировини й енергоносіїв, багато видів різноманітних інформаційних матеріалів, які використовуються під час експлуатації та ремонту обладнання.

Надійність роботи автоматизованих біогазових установок забезпечується за допомогою організаційних і технічних заходів. Показники надійності оцінюються кількістю відмов установленого на машинах і механізмах обладнання й систем керування впродовж певного періоду часу та тривалістю простоїв технологічних ліній, зумовлених відновленням їх працездатності. Тому організаційно-технічні заходи можна поділити на: заходи, які забезпечують зменшення кількості аварійних відмов та заходи, які забезпечують скорочення тривалості непрацездатного стану технологічного процесу.

Розробка заходів першої групи передбачає застосування електрообладнання, яке дає змогу зменшити інтенсивність відмов.

Заходи другої групи спрямовані на суттєве скорочення часу відновлення обладнання, яке вийшло з ладу.

**Мета досліджень** – розробка методики визначення експлуатаційних показників надійності обладнання біогазових установок через параметри ймовірності станів потоково-виробничих ліній.

**Матеріали та методика досліджень.** Для підвищення ефективності використання машин та обладнання технологічних систем необхідна оптимізація відновлювальних робіт на основі діагностування й прогнозування технічного стану, що дозволить забезпечити його високу безвідмовність і довговічність.

*© В. Г. Подобайло, В. Ю. Рамш, М. В. Потапенко, Н. П. Семенова, 2016*

Одним із можливих способів зменшення загального часу відновлення обладнання, що відмовило, це створення його поточного резерву, коли група основних елементів об'єкта забезпечується одним або декількома резервними елементами, кожний з яких може замінити будь-який елемент, що відмовив у даній групі.

Щоб скоротити простої технологічних ліній через відмову обладнання, кількість запасних елементів повинна бути не меншою за кількість можливих відмов основних елементів. Проте при цьому буде тривале перебування на складі запасних частин, що призводить до додаткових затрат, пов'язаних із їх зберіганням та невикористанням вкладених коштів. Але відсутність у потрібний момент запасного обладнання збільшує тривалість непрацездатного стану технологічного обладнання, що завдає значних збитків виробництву. Тому визначення обґрунтованих запасів резервного обладнання належить до техніко-економічних задач.

**Результати досліджень.** Один із можливих методів розв'язання цієї задачі ґрунтується на застосуванні основних положень теорії масового обслуговування.

Припустимо, що на декількох біогазових установках є $n$ однотипних елементів електрообладнання, яке встановлено на різних електрифікованих механізмах потокових ліній виробництва біогазу. Обладнання може знаходитися лише у двох станах: працездатному і непрацездатному. Крім того, будемо вважати, що якщо в потоковій технологічній лінії встановлено декілька елементів електрообладнання, то відмова одного з них призводить до зупинки всієї лінії.

Для підвищення коефіцієнта готовності потокової технологічної лінії за рахунок зменшення її непрацездатного стану, передбачається резерв з $m$ одиниць взаємозамінного обладнання. При досить великому $n$ і малому $m$ можуть відбуватися простої одного або декількох технологічних процесів. Тому велике значення має надійність самого електрообладнання та можливість швидкої його заміни.

Працююче і резервне електрообладнання створює систему, стан якої будемо характеризувати кількістю елементів, що відмовили. Тоді можливими будуть стани системи від $S_0$ – всі елементи системи знаходяться в справному стані до $S_{m+n}$ – відмовили працюючі та резервні елементи, простоюють усі технологічні лінії.

Стани системи будуть безперервно змінюватися, тому що відмови можуть виникати в будь-який момент часу. Таким чином проходять випадкові процеси, які характеризуються дискретною множиною процесів та безперервним часом. Для більшості технологічних процесів інтервали між відмовами елементів обладнання розподіляються по експоненціальному закону з параметрами $\lambda$ і $\mu$ [1,5]. Тому можна вважати, що система зі стану $S_i$ в стан $S_{i+1}$ переходить по Пуассонівському потоку відмов. Інтенсивність змінюваності системи при цьому залежить від кількості ліній, які простоюють.

Якщо інтенсивність виходу з ладу одного елемента дорівнює $\lambda$, то при відсутності простоїв технологічних ліній система зі стану $S_i$ в стан $S_{i+1}$ буде переходити з інтенсивністю $\lambda \cdot n$. У випадку простоювання $g$

технологічних ліній, цей перехід здійснюється з інтенсивністю *(n – g)·λ* при *g= 1,2,…, (n – 1)*

Залежно від тривалості заміни елементів електрообладнання, що відмовили, час відновлення працездатності технологічних ліній *T* буде змінюватись в широких межах за показниковим законом [2]. Тоді інтенсивність переходу системи зі стану $S_i$ в стан $S_{i-1}$ можна визначити через середній час заміни одного елемента обладнання $\overline{T_c}$. Тобто, система переходить із неробочого стану в працездатний стан, як і в попередньому випадку, по Пуассонівському потоку відновлення. А експоненціальний характер розподілу часу перебування системи в усіх можливих станах дає змогу вважати, що випадковий процес зміни станів є Марковським [3]. Оскільки в цьому процесі переходи системи допускаються лише в сусідні стани, то її поведінку можна описати схемою чистого зникнення й розмноження [2].

Для визначення ймовірностей знаходження системи в тому або іншому стані $(P_0, P_1, P_2, \dots P_{m+n})$ складемо систему диференційних рівнянь, які описують поведінку системи в часі *t*.

У загальному вигляді для системи зникнення й розмноження ці рівняння будуть мати такий вигляд:

$$\frac{dP_{j,k}}{dt} = \lambda_{K-1} \cdot P_{j,k-1}(t) - (\lambda_k + \mu_k) \cdot P_{j,k}(t) + \mu_{k+1} \cdot P_{j,k+1}(t), \qquad (1)$$

$$\sum_{i=0}^{m+n} P_i(t) = 1 \qquad (2)$$

де *j* – початкова кількість елементів обладнання, що відмовили.

Відповідно до станів системи будемо мати:

$$\begin{aligned} &\lambda_{k-1} = \lambda_k = \lambda \cdot n && \begin{cases} 1 \le k \le m+1 \\ m+2 \le k \le m+n \\ g = 1,2,\dots,(n-1) \end{cases} \\ &\lambda_{k-1} = \lambda_k = \lambda \cdot (n-g) \\ &\mu_k = \mu_{k+1} = \mu \end{aligned} \qquad (3)$$

Для усталеного межового режиму процеси, які відбуваються в системі, не залежать від початкового стану, а ймовірності кожного стану не залежать від часу, що відповідає такій умові:

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = 0; \qquad P_k(t) = P_k. \qquad (4)$$

Граничні стани існують, тому що число станів системи кінцеве, а з кожного стану можна перейти в інший.

Розв'язавши систему рівнянь (1):

$$\lambda \cdot n \cdot P_{k-1} - (\lambda \cdot n + \mu) \cdot P_k + \mu \cdot P_{k+1} = 0, \quad \textit{при } 1 \le k \le m+1; \qquad (5)$$

$$\lambda \cdot (n-g) \cdot P_{k-1} - [\lambda \cdot (n-g) + \mu] \cdot P_k + \mu \cdot P_{k+1} = 0, \text{ при } m+2 \le k \le m+n; \; g = 1,2,\dots,(m-1),$$

отримаємо формули для визначення ймовірності станів.

$$P_k = n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0, \text{ при } 1 \le k \le m+1; \quad (6)$$

$$P_k = n^{m+1} \cdot \prod^{N=k} \left(n+m+1-N\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0, \text{ при } m+2 \le k \le m+n; \quad (7)$$

$$P_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^{k=m+1} n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \sum_{k=m+2}^{k=m+n} n^{m+1} \cdot \prod_{N=m+2}^{N=k} \left(n+m+1-N\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k\right]^{-1}. \quad (8)$$

Для спрощення розрахунків за формулами (6), (7), (8) можна вираховувати не ймовірності станів безпосередньо, а співвідношення $\frac{P_k}{P_0}$, при цьому наступні стани вираховують рекурентно через попередні, тоді:

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{P_{k-1}}{P_0} \cdot n \cdot \alpha, \text{ при } 1 \le k \le m+1; \quad (9)$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{P_{k-1}}{P_0} \cdot \left(m+n-k+1\right) \cdot \alpha, \text{ при } m+2 \le k \le m+n, \quad (10)$$

де $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$.

Визначивши ймовірності станів можна вирахувати основні показники експлуатаційної надійності системи обладнання:

- середня кількість технологічних ліній, що простоюють, при різній кількості резервного обладнання:

$$\bar{n}_{пр.л} = \sum_{k=m+1}^{k=m+n} \left(k-m\right) \cdot P_k; \quad (11)$$

- ймовірність того, що не буде потокових ліній, які простоюють:

$$\overline{P_{пл}} = \sum_{k=0}^{k=m} P_k; \quad (12)$$

- коефіцієнт простою технологічних ліній:

$$K_{пр.л} = \frac{n_{пр.л}}{n}; \quad (13)$$

- коефіцієнт готовності технологічних ліній:

$$K_{г.л} = 1 - \frac{n_{пр.л}}{n}; \quad (14)$$

- середній час простою технологічної лінії:

$$t_{пр.л} = \frac{n_{пр.л} \cdot K_в}{\lambda \cdot \left(n - \bar{n}_{пр.л}\right)}, \quad (15)$$

де $K_в$ – коефіцієнт, який характеризує тимчасове використання обладнання впродовж року.

Основними факторами, які впливають на числові значення цих показників, є напрацювання обладнання до відмови $\overline{T}_{ел} = \frac{1}{\lambda},$ та час перебування обладнання в ремонті $\overline{T}_{р} = \frac{1}{\mu}.$

Тому збільшення терміну служби обладнання до відмови впливає на кількість потокових ліній, що простоюють, але не призводить до зменшення кількості резерву.

Вплив резерву на ймовірність відсутності простою технологічних ліній при різних значеннях $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ показано в табл. 1.

**1. Залежність кількості *m* резервного електрообладнання та ймовірності $\overline{P}_{пл}$ відсутності простою технологічних ліній при $\alpha$=1·10$^{-2}$, 2·10$^{-2}$, 4·10$^{-2}$ та *n*=24**

| m | $\overline{P}_{пл}$ при $\alpha$=1·10$^{-2}$ | $\overline{P}_{пл}$ при $\alpha$=2·10$^{-2}$ | $\overline{P}_{пл}$ при $\alpha$=4·10$^{-2}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,88 | 0,75 | 0,63 |
| 2 | 0,95 | 0,87 | 0,77 |
| 3 | 0,99 | 0,92 | 0,83 |
| 4 | 1 | 0,98 | 0,88 |

Комплексним показником, який впливає на ефективність використання резерву електрообладнання, є коефіцієнт:

$$\rho = \alpha \cdot \left(n - \overline{n}_{пр.л}\right) \qquad (16)$$

При значеннях $\rho$>0,6 підвищити надійність технологічних ліній за рахунок створення поточного резерву практично неможливо. При малих значеннях $\rho$ резервного запасу електрообладнання необхідна обмежена кількість.

## Висновки

Експоненціальний характер розподілу часу перебування системи в різних станах дає змогу стверджувати, що випадковий процес зміни станів буде марковським.

Щоб спростити розрахунки диференціальних рівнянь, по яких визначаються ймовірності перебування системи в різних станах, доцільно визначати відношення $\frac{P_k}{P_0}$, при цьому наступні стани визначаються рекурентно через попередні.

Знаючи ймовірності станів системи можна визначити основні показники експлуатаційної надійності потокових ліній біогазових установок:

- середню кількість ліній, що простоюють;
- коефіцієнти готовності й простою;
- ймовірності того, що не буде ліній, що простоюють;
- середню кількість резервного обладнання.

## Список літератури


1. Надежность асинхронных электродвигателей / Б. Н. Ванеев, В. Д. Главный, В. М. Гостищев, Л. И. Сердюк. – К. : Техніка, 1983. – 143 с.
2. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
3. Козлов Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
4. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – Сумы : МакДон, Мрия-1 ЛТД, 1996. – 347 с.
5. Степов Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники / Б. С. Степов. – М. : Высшая школа, 1970. – 270 с.


## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК


***В. И. Подобайло, В. Ю. Рамш, Н. В. Потапенко, Н. П. Семенова***



**Аннотация.** *Предложена методика расчета основных эксплуатационных показателей надежности оборудования биогазовых установок через определение вероятности состояний технологических потоковых линий.*



**Ключевые слова:** ***биогазовая установка, надежность, случайный процесс, отказ, вероятность состояний***


## METHOD OF DETERMINING OPERATIONAL PARAMETERS OF RELIABILITY PRODUCTION LINE BIOGAS


***V. Podobaylo, V. Ramsh, M. Potapenko, N. Semenova***



**Annotation.** *The methods of calculation of principal exploitation indicators of equipments effectiveness in biogas devices through determination of probable states of technological lines.*



**Key words:** ***biogas plant, reliability, random process, refusal, of probable states***

УДК 37: 004

# ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВИВЧЕННІ ФАХОВИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

***В. Ю. Рамш, кандидат технічних наук***
***М. В. Потапенко, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова,***
***старші викладачі***
***ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Проаналізовано можливості використання комп'ютерного моделювання в навчальному процесі. Обґрунтовано доцільність застосування комп'ютерного моделювання під час підготовки майбутніх фахівців із енергетики на прикладі навчального курсу «Теоретичні основи автоматики».*

**Ключові слова:** ***комп'ютерне моделювання, імітаційна модель, автоматична система, експеримент***

Підготовка висококваліфікованих фахівців, які швидко адаптуються до умов виробничої діяльності – одне з пріоритетних завдань вищих навчальних закладів України. Професійні якості, що стосуються здатності людини як суб'єкта діяльності виконувати необхідну й достатню множину функцій, забезпечуючи при цьому досягнення цілей ефективними методами.

Необхідні професійні знання, уміння та навички формуються переважно в процесі фахової підготовки. Систематизація якостей передбачає гармонійний розвиток майбутнього фахівця при збереженні його індивідуальності.

Стрімкий розвиток технологічних процесів, динаміка виробничих відносин створюють ситуацію, коли прикладні знання і досвід швидко старіють, а фундаментальні знання, володіння інформаційними засобами та належний творчий потенціал набувають вирішального значення.

Тому професійні якості майбутніх фахівців залежать від особливостей їх навчання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, серед яких важливе місце посідає комп'ютерне моделювання.

Організація навчального процесу в умовах інформаційно-комунікаційних технологій завжди привертала увагу вітчизняних і зарубіжних дослідників.

Різноаспектному вивченню питання застосування інформаційних технологій в навчальному процесі присвячено праці В. Беспалька, Б. Гершунського, М. Голованя, Ю. Горошка, М. Жалдака, Т. Зайцевої, Д. Матрос, С. Панюкова, І. Роберт, В. Сергієнка, Є. Смирнової, О. Філатова та ін.

*© В. Ю. Рамш, М. В. Потапенко, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова, 2016*

Дидактичні й психологічні аспекти застосування інформаційних технологій у навчальному процесі розкрито М. Бургіною, В. Ледньовим, В. Ляудіс, Ю. Машбицем, А. Могильовою А. Пишкало, В. Рубцовим, І. Синельник, Н. Тализіною, А. Тихомировим.

Серед дослідників, які розглядали питання комп'ютеризації навчання слід виокремити В. Бикова, А. Веліховську, М. Кадемію, Ю. Рамського, О. Спіріна, Н. Тверезовську, А. Уварова.

Теоретичні основи моделювання викладено у працях В. Венікова, В. Михеєва, І. Новика, Л. Фрідмана, А. Уйомова, В. Штоффа та ін.

Сучасний процес моделювання важко реалізувати без комп'ютерів або вбудованих контролерів. Найбільш повне дослідження загальносистемних проблем виходить у результаті моделювання за допомогою сучасних технологій, реалізованих у спеціалізованих обчислювальних пакетах комп'ютерного моделювання.

Останнім часом з'явилися праці, в яких розглядаються пакети прикладних програм у навчальному процесі вищої школи. Зокрема цьому питанню присвячені праці А. Гультяєва, В. Дьяконова, С. Дяченко, Є. Кліменко, Ю. Лазарєва, Т. Ніренбург, І. Пальчикової та ін., але в цих працях автори наводять лише приклади використання програм, які не мають чіткої структури для впровадження в навчальний процес.

Водночас, ще недостатня увага в навчальному процесі приділяється формуванню у студентів знань і умінь комп'ютерного моделювання конкретних виробничих процесів і ситуацій. Ця функція фахової підготовки має набути системної цілісності, неперервності, включаючи як методологічну складову, так і розв'язання професійних задач на творчому рівні.

**Мета досліджень –** обґрунтувати доцільність використання комп'ютерного моделювання в процесі підготовки майбутніх фахівців із енергетики сільськогосподарського виробництва, на прикладі навчального курсу «Теоретичні основи автоматики».

**Матеріали та методика досліджень.** Сільське господарство є специфічною галуззю народного господарства, де поєднуються технічні пристрої з біологічними об'єктами, що ускладнює питання автоматичного керування і вимагає розробки нових технічних засобів автоматики, які відповідали б вимогам виробництва сільськогосподарської продукції [1].

Для обслуговування таких автоматичних систем необхідно мати висококваліфікований інженерно-технічний персонал. Тому дисципліна «Теоретичні основи автоматики» є базовою у навчальних планах ряду бакалаврських програм із технічних спеціальностей у вищих школах України.

Курс «Теоретичні основи автоматики» дуже широкий і складний, він охоплює великий обсяг матеріалу, а виділених годин на лабораторно-практичні заняття недостатньо для якісного засвоєння необхідного матеріалу та для формування умінь і навичок з даної дисципліни.

Дисципліна “Теоретичні основи автоматики ” вивчає закони керування в технічних системах, розроблює методи аналізу та синтезу (побудови) систем автоматичного керування.

Так, реальні автоматичні системи працюють в умовах дії великої кількості факторів, основними ознаками яких є:

- значна кількість взаємодіючих між собою елементів;
- складність функціональної системи;
- цілі функціонування складових підсистем підпорядковані загальній меті системи;
- наявність системи керування ієрархічної за структурою, основною властивістю якої є значні потоки різноманітної інформації, зокрема взаємодія з навколишнім середовищем, вплив різних факторів, зміна їх в широких межах та ін.

Разом з тим, сучасний рівень розробки теоретичних основ аналізу і синтезу автоматичних систем та процесів у сільськогосподарському виробництві ще недостатній для вирішення широкого кола задач, більшість яких є багатокритеріальними.

Для того, щоб будь-яка автоматична система працювала ефективно і надійно, необхідно вміти оцінювати якість усіх можливих способів досягнення мети й вибирати з них найкращі, з точки зору інтересів системи.

Мірою ефективності роботи системи служать її кількісні оцінки. Найнадійніший спосіб їх отримання – це вимірювання результатів при дослідженні реальних систем керування.

Водночас, і такий підхід пов'язаний з цілим рядом проблем, зокрема:

- далеко не завжди можна повторити дослідження в одних і тих самих умовах, що, природно, не дає змоги стверджувати про об’єктивність вибору;
- багато досліджень просто неможливо провести повторно, використовуючи інші підходи;
- реальне втілення системи, що використовується, як правило, є доволі високовартісною і трудомісткою справою, а якщо мова йде про порівняння проектних чи конструкторських рішень, то витрати коштів і часу зростають пропорційно часу порівнюваних варіантів.

Пошук найбільш раціональних форм і методів формування умінь та навичок у студентів є одним із найголовніших завдань вищого навчального закладу, від яких залежить комплексна і якісна підготовка майбутнього фахівця.

Альтернативою реального експерименту може бути моделювання.

Моделювання – це заміщення досліджуваного об’єкта (оригінала) його умовним образом або іншим об’єктом (моделлю) і вивчення властивостей оригіналу шляхом дослідження властивостей моделі.

У загальному плані моделлю можна вважати матеріальний або абстрактний об’єкт, який перебуває в деякій відповідності з визначеним

об’єктом або здатний змінити його й нести про нього найбільш суттєву нову інформацію [7].

Модель як умовний образ дослідження є важливим інструментом наукового пізнання.

Математична модель представляє собою формалізований опис системи (або операції) на деякій абстрактній мові, наприклад, як сукупність математичних співвідношень або схема алгоритму [3].

Власне математичні моделі розглядаються як основний інструмент дослідження автоматичних установок і автоматизованих технологій та оцінки ефективності прийняття рішень.

У прикладних задачах побудова математичної моделі – це один із найскладніших і найвідповідальніших етапів роботи. Досвід свідчить, що в багатьох випадках правильно вибрати модель – це вирішити проблему більш ніж наполовину.

Складність і різноманіття функціонування процесів реальних автоматичних систем не дає змоги будувати абсолютно адекватні їх моделі.

У зв’язку з цим, методи побудови математичних моделей та прийоми їх комп’ютерної реалізації вивчаються на прикладі типових об’єктів. Типовий процес визначається його фізико-хімічною сутністю, яка виражається в ідентичності матеріальних і енергетичних внутрішніх зв’язків.

Динаміка функціонування різноманітних за фізичною природою систем однотипними залежностями дозволяє моделювати їх засобами комп’ютерної техніки.

Комп'ютерне моделювання – сучасний ефективний метод, що ґрунтується на поданні об'єкта як математичної моделі (у формі рівнянь, формул, алгоритмів та ін.), що описує найсуттєвіші його риси, реалізації цієї моделі у формі комп'ютерної програми й вивчення характерних особливостей процесу за допомогою комп'ютерного опрацювання результатів за цією програмою.

На якісно новий рівень піднялося моделювання в результаті розробки методології імітаційного моделювання на ЕОМ. Такі моделі дають змогу імітувати процес функціонування системи і проводити обчислення та побудову необхідних характеристик. Імітаційні моделі створюються для широкого класу об’єктів і процесів, а засобами їх формалізованого опису є універсальні та спеціальні алгоритмічні мови.

Ефективність імітаційного моделювання може бути оцінена низкою критеріїв, основними з яких є:

- точність і достовірність результатів моделювання;
- час на побудову і роботу з моделлю;
- затрати машинних ресурсів (часу і пам’яті);
- вартість розробки та експлуатації моделі.

Традиційно під моделюванням на ЕОМ розуміли лише імітаційне моделювання, але, завдяки розвитку графічного інтерфейсу та графічних пакетів, значного поширення набуло комп’ютерне структурно-

функціональне моделювання, а також використання комп'ютера задля концептуального моделювання, наприклад, для побудови систем штучного інтелекту.

Програмні засоби навчального призначення мають відповідати й вимогам педагогічної доцільності й виправданості їх застосування, які полягають у тому, що програмний засіб необхідно наповнювати таким змістом, який найбільш ефективно може бути засвоєний тільки за допомогою комп'ютера, і використовуючи лише тоді, коли це дає незаперечний педагогічний ефект [5].

У першу чергу, при вивченні дисципліни «Теоретичні основи автоматики», це стосується реалізації процесів, що відбуваються в автоматичних системах, проведення численних експериментів при детермінованих та стохастичних збуреннях, що діють на систему, перекладання на комп'ютер громіздких обчислень і графічних побудов, пошуку необхідних відомостей у великих масивах даних.

Навчання із застосуванням комп'ютерного моделювання можна проводити по-різному: пропонувати студентам завдання на добудову моделі або проводити її видозмінення та переконструювання [6].

Найбільш повне дослідження загальносистемних проблем здійснюється у результаті моделювання за допомогою сучасних технологій, реалізованих у спеціалізованих обчислювальних пакетах комп'ютерного моделювання.

З великої кількості прикладних пакетів для моделювання особливий інтерес викликають універсальні пакети (*MatLab, Derive, Maple* та ін.), не орієнтовані на визначену вузькоспеціальну область, а дозволяють моделювати структурно-складні системи у різних прикладних галузях техніки.

В об'єктах або явищах, моделі яких відтворюються за допомогою програмних засобів, повинні бути виділені основні структурні елементи і суттєві зв'язки між ними, що дасть змогу уявити ці об'єкти чи явища як цілісні утворення.

Найважливіша перевага комп'ютерного моделювання ґрунтується на сучасному розумінні принципу наочності і полягає у тому, що, за умов використання програмних засобів, студенти не тільки споглядають явища та моделі процесів, які є об'єктами вивчення, а й здійснюють перетворювальну діяльність із цими об'єктами. Вони не є пасивними спостерігачами досліджуваних процесів і явищ, оскільки активно впливають на їх перебіг, при цьому навчально-пізнавальна діяльність набуває дослідницького, творчого характеру.

Обчислювальні експерименти з моделями надають вихідні дані для оцінки показників ефективності об'єкта чи процесу.

Під час оцінки процесу моделювання увагу зосереджено на тому, що модель, будучи аналогом досліджуваного об'єкта, ніколи не зможе досягти ступеня складності останнього. Задача моделювання полягає у виокремленні важливих для дослідження властивостей шляхом введення деяких припущень.

**Результати досліджень.** Використання комп'ютерного моделювання під час вивчення курсу «Теоретичні основи автоматики» дає змогу вирішувати такі завдання:

- створення моделі функціональної чи принципової схеми пристрою та її редагування;
- розрахунок режимів роботи моделі; розрахунок часових і частотних характеристик моделі;
- проведення оцінки й аналізу моделі;
- накопичення і збагачення бібліотеки компонентів;
- подання даних у формі, зручній для їх подальшого опрацювання;
- підготовки науково-технічної документації.

На основі досвіду проведення занять із використанням комп'ютерної техніки можна виокремити такі основні етапи:

- засвоєння студентами основ роботи з програмним забезпеченням;
- розвиток навиків комп'ютерного моделювання;
- набуття студентами умінь і навиків самостійного вибору алгоритму проектування для вирішення поставлених задач.

Звичайно, процес розробки складної автоматичної системи здійснюється ітераційно з використанням моделювання проектних рішень. Якщо одержані характеристики не задовольняють вимоги, то за результатами аналізу проводять корекцію проекту, після чого знову здійснюють його моделювання.

Під час аналізу діючих систем за допомогою моделювання визначають ресурси працездатності, виконують імітацію експериментальних умов, які можуть виникнути в процесі функціонування системи. Створення таких умов у діючій системі утруднено й може призвести до небажаних наслідків.

Ефективними теоретичні дослідження, з практичної точки зору, будуть лише тоді, коли їх результати з необхідною точністю й достовірністю зможуть бути подані як сукупність «модель – алгоритм – програма ЕОМ», придатна для одержання відповідних характеристик процесу функціонування досліджуваних систем.

## Висновки

Комп'ютерне моделювання являє собою ефективний і потужний інструмент теоретичних досліджень. Застосування комп'ютерного моделювання створює умови навчання дисципліни «Теоретичні основи автоматики» у середовищі, яке дає змогу забезпечити виконання психолого-педагогічних і наукових вимог, що забезпечують оптимальний педагогічний процес.

Актуальними напрямами розробки окресленої проблеми є вивчення питання щодо психолого-педагогічних та методичних можливостей використання комп'ютерного моделювання в процесі вирішення технічних завдань різного рівня складності під час підготовки майбутніх фахівців із енергетики.

## Список літератури

1. Корчемний М. О. Теоретичні основи автоматики / М. О. Корчемний, П. Б. Клендій, М. В. Потапенко. – Тернопіль : Навчальна книга «Богдан», 2011. – 304 с.

2. Лабораторний практикум з дисципліни «Математичне моделювання на ПЕОМ» / М. О. Корчемний, П. Б. Клендій, М. В. Потапенко, Г. Я . Клендій. – Бережани : Нововведення, 2010. – 66 с.

3. Лазарєв Ю. Ф. Моделювання на ЕОМ : навч. посіб. / Ю. Ф. Лазарєв. – К. : Корнійчук, 2007. – 290 с.

4. Лебедев А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях / А. Н. Лебедев. – М. : Радио и связь, 1989. – 224 с.

5. Машбиц Е. И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения / Е. И. Машбиц. – М. : Педагогика, 1988. – 192 с.

6. Використання інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні фахових електротехнічних дисциплін / В. Г. Подобайло, М. В. Потапенко, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч. 1. – С. 281–287.

7. Фридман Л. М. Наглядность и моделирование в обучении / Л. М. Фридман. – М. : Знание, 1984. – 80 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Педагогика и психология»; № 6).


# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН


***В. Ю. Рамш, Н. В. Потапенко, С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова***



**Аннотация.** *Проанализированы возможности использования компьютерного моделирования в учебном процессе. Обоснована целесообразность применения компьютерного моделирования при подготовке будущих специалистов по энергетике на примере учебного курса «Теоретические основы автоматики».*



**Ключевые слова:** ***компьютерное моделирование, имитационная модель, автоматическая система, эксперимент***


# FEATURES OF THE APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION IN THE STUDY OF PROFESSIONAL ELECTRICAL DISCIPLINES


***V. Ramsh, M. Potapenko, S. Gaydukevich, N. Semenova***



**Annotation.** *Features of the application of computer simulation in the study of professional electrical disciplines.The possibilities of the use of computer modeling in the learning process. Expediency the use of computer modeling, the preparation of the future experts in the energy sector, an example of the course "Theoretical basics of automation".*



**Key words:** ***computer modeling, simulation model, automatic system, experiment***

УДК 372.8

# ІНФОРМАЦІЙНА СКЛАДОВА ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ МАГІСТРІВ-ЕНЕРГЕТИКІВ

***В. О. Качурівський, кандидат педагогічних наук***
***Г. М. Качурівська, кандидат фізико-математичних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Розглянуто питання інформаційної складової у підготовці магістрів. Визначено необхідні й достатні знання, уміння та навички для організації функціонування інформаційного сайта в комп'ютерній мережі. Запропоновано адаптований зміст навчальної дисципліни «Інформаційні технології» для формування інформаційної та комунікаційної складових професійної підготовки магістра.*

**Ключові слова:** ***професійна компетенція, інформаційна складова, інформаційні технології, зміст навчання***

Розвиток інформаційних технологій накладає свої вимоги на зміст інформаційної підготовки магістрів. Зовсім недавно одним із основних завдань інформаційної підготовки магістрів було формування умінь пошуку інформації за тематикою наукового дослідження. Тепер ключовими завданнями інформаційної компетентності магістра є вільне володіння сучасними інформаційними технологіями, навичками роботи в комп'ютерних мережах та використання інтернет-ресурсів у наукових дослідженнях. Зокрема, важливим є уміння висвітлювати результати своїх наукових досліджень в інформаційному просторі. Одним із головних інформаційних просторів сучасності є глобальна мережа Інтернет. Перед магістром постають завдання: освоєння сучасних систем управління інформацією; володіння програмними засобами для забезпечення, організації спільного інформаційного простору, процесу створення, редагування та управління динамічною інформацією (контентом) і його структурою. Дані завдання реалізуються через функціонування інформаційного сайта в комп'ютерній мережі.

Магістр повинен володіти інструментальними засобами створення, підтримки та динамічного оновлення інформації на сайті довільного рівня складності. Раніше більшість сайтів було написано мовою гіпертекстової розмітки *HTML* і вони являли собою сукупність інформаційних сторінок, об'єднаних системою гіпервказівок у єдину логічну структуру. Управління вмістом сайта здійснювалося способом редагування відповідної сторінки та передачі її на сайт через *FTP* протокол. Дана організація роботи вимагала від користувача знання структури усього сайта й достатньо глибоких знань із *HTML*.

*© В. О. Качурівський, Г. М. Качурівська, 2016*

На сьогодні, більшість сайтів написані на системі кодів PHP, де управління інформацією може бути здійснено через просту у використанні систему управління контентом *(CMS – content manager system)*. Ця система надає можливість проводити зміну й на рівні коду сайта.

**Мета досліджень** – розглянути зміст складової інформаційної підготовки магістрів для застосування інформаційних технологій у професійній та дослідницькій діяльності. Визначити необхідні знання, уміння та навички, які є достатніми для організації роботи й повноцінного функціонування сайта в комп'ютерній мережі.

**Матеріали та методика досліджень.** Відповідно до сьомого кваліфікаційного рівня, магістр повинен володіти комунікаційними навичками, тобто здійснювати «взаємозв'язок суб'єктів із метою передавання інформації, узгодження дій, спільної діяльності» [1], а також володіти «спеціалізованими концептуальними знаннями, набутими у процесі навчання та/або професійної діяльності на рівні новітніх досягнень, які є основою для оригінального мислення та інноваційної діяльності, зокрема в контексті дослідницької роботи» [1].

Процес формування інформаційної компетентності, пов'язаний з умінням використовувати інформаційні ресурси суспільства, можна подати як таку послідовність: постановка задачі, формування предметної галузі інтересів, усвідомлення потреб в інформації та формулювання запиту, пошук інформації в документах та інших інформаційних джерелах, аналіз і синтез інформації, співвідношення її з обсягом накопиченого знання й соціальним досвідом індивіда, оцінка, критичне і творче переосмислення інформації, практичне використання остаточного результату діяльності [2].

Враховуючи вищезазначене, професійна діяльність магістра передбачає проведення наукових досліджень на рівні новітніх досягнень та організації висвітлення результатів у певному інформаційному просторі.

Виходячи з цього, формується зміст інформаційної компетенції магістра. Це ознайомлення з існуючими інформаційними системами, принципами їх побудови та функціонування, а також забезпечення магістра знаннями, уміннями й навичками роботи в інформаційному просторі. Оскільки все більше інформації існує в електронному вигляді, то закономірним є організація функціонування інформаційних просторів за допомогою комп'ютерної техніки та комп'ютерних мереж. Одним із об'єктів електронних інформаційних просторів є веб-сайт, до якого організовано доступ через протоколи передачі даних в комп'ютерній мережі. Засобом відображення вмісту веб-сайта є веб-браузер.

**Результати досліджень**. Складовою інформаційної компетенції магістра є знання та відповідний практичний досвід створення, управління та забезпечення функціонування сайту. Функціонування сайту сприяє: оприлюдненню й поширенню результатів наукових досліджень, популяризації наукових знань, формуванню наукових інтересів, організації дискусійних обговорень, комунікації дослідників та ін.

Зосередимо свою увагу на створенні сайта для відображення наукових досліджень. Перед розробником сайта постає два основних завдання:

- підготовка інформаційного матеріалу та його структурування за логічними категоріями для організації логічної структури сайта;
- втілення структурованої інформації за допомогою конкретної системи управління контентом у реальний веб-сайт.

Для вирішення першого завдання необхідно увесь наявний матеріал розподілити за призначенням на логічні складові, які й стануть відповідними категоріями публікації. Ретельний розподіл за категоріями дасть змогу організувати оптимальну логічну структуру сайта, визначити форму й способи відображення інформації та доступ до матеріалу користувачу.

Серед категорій можна виокремити такі, які відображують наукові етапи дослідження: проблема, актуальність, постановка експерименту, емпіричні результати, теоретичні основи, методи дослідження, довідники, статистичні методи опрацювання результатів дослідження, практичне застосування, висновки та ін.

Після структурування наукового матеріалу потрібно приступити до вирішення другого завдання – практичної реалізації сайта.

На сьогодні серед програмних засобів існує широкий спектр *CMS* вільного поширення для некомерційного застосування, а саме: *Joomla!, WordPress, MODX, Drupal, Opencart* та інші. Дані системи надають інструменти для створення, управління, редагування та зміни інформації на сайті. Основним компонентом цих систем є модулі, які формують архітектуру сайта. Адміністратор сам вибирає і налагоджує їх роботу. До типових модулів даних систем належать: меню, довільний *HTML*-документ, канал новин, навігаційна стежка, перемикач мов, пошук по сайту, статистика відвідувань, карта сайта, статті, реєстрація та інші. Найпоширеніший модуль статті структурується за призначенням: архів, категорія, категорії, короткі новини, схожі статті.

Дані модулі дають змогу легко додавати інформацію на сайт, здійснювати управління формою її подання, здійснювати постійний контроль за станом сайта, не володіючи глибокими знаннями у веб-технологіях.

Основним компонентом будь-якого сайта є статті (контент). Складовими елементами контенту є текст, таблиця, графіка. Стаття в *CMS* формується з допомогою певного текстового редактора. Отже, адміністратор повинен володіти основними прийомами набору тексту, вставки графічних об’єктів та організацією табличних даних. Вставка графічних об’єктів потребує підготовки їх до публікацій, адаптацію формату до передачі даних через комп’ютерну мережу. Для створення нових зображень адміністратор повинен мати елементарні навички створення та редагування графічних об’єктів у системах графічних редакторів та збереження у визначених форматах.

Зазвичай магістр володіє певною системою знань, умінь та навичок роботи з текстовою, числовою та графічною інформацією. Ця система сформована під час його підготовки на освітньо-кваліфікаційному рівні «Бакалавр» при вивченні дисципліни «Комп'ютери та комп'ютерні технології».

Очевидним є той факт, що сайт буде розташований на певному хостингу. На ринку хостингів пропонується багато різновидів послуг на розміщення контенту, як платних так і безкоштовних. Аналізуючи безкоштовні хостинги можна визначити такі особливості: наявність рекламної продукції на сайті, обмеженість трафіка та одночасної роботи із сайтом користувачів, обмежений ресурс простору для зберігання інформації, час життя сайта на дата-сервері.

При розробці будь-якого сайту використовують наступний спосіб: сайт розроблюється на локальному сервері (на персональному комп'ютері), а після завершення роботи переноситься на хостинг. Це зручно тим, що в мережі з'являється для перегляду вже готовий, повноцінний сайт.

Враховуючи вище сказане, формується зміст навчального матеріалу з інформаційної складової підготовки, який може бути реалізований в окремій навчальній дисципліні плану підготовки.

У навчальні плани підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Магістр» спеціальності 8.10010103 «Електрифікація та автоматизація сільського господарства» включено нормативну навчальну дисципліну «Інформаційні технології».

Зміст навчальної дисципліни реалізовано в таких темах та поняттях.

**Тема 1:** Складові інформаційних технологій.

Поняття інформаційної технології. Інструментарій інформаційної технології. Складові інформаційної технології. Функції автоматизованої інформаційної технології. Структура автоматизованої інформаційної технології. Архітектура інформаційних систем. Сервер. Хостинг. Передача даних. Канали передачі даних.

**Тема 2:** Системи управління контентом.

Програмна підтримка локального сервера. Встановлення локального сервера. Вибір системи *CMS*. Інсталяція *CMS*. Мовна підтримка. Національні особливості. Налаштування системи. Загальна конфігурація. Панель керування. Користувачі. Рівні доступу користувачів.

**Тема 3**. Управління контентом.

Шаблони сайта для *CMS*. Позиції шаблону. Управління шаблоном. Менеджер змісту. Категорії. Стаття. Створення та редагування статті. Робота з візуальним редактором *CMS*. Вставка об'єктів у статтю: зображення, таблиця, гіпервказівка, розрив сторінки. Налаштування статті: категорія, статус, мова, загальні параметри, параметри відображення на фронтальній частині. Копіювання статті. Управління контентом: фільтр, копіювання, асоціації, обрані статті, архів, смітник. Блог.

**Тема 4.** Колірні моделі. Формати графічних файлів.

Підходи до подання графічної інформації. Векторна графіка та її подання. Растрові зображення як об'єкти векторної графіки. Колірна

модель *RGB*. Колірні моделі *CMY* та *CMYK*. Поняття формату графічного файлу. Формат *JPEG*. Формат *GIF*. Формат *PNG*. Формат *TIFF*. Вибір колірної схеми сайта.

**Тема 5.** Меню.

Менеджер меню. Створення меню. Пункти меню. Призначення пункту меню. Головне меню сайта.

**Тема 6.** Розширення.

Менеджер модулів. Створення нового модуля. Призначення модуля. Розміщення на фронтальній частині. Типи модулів. Параметри модуля: позиція, початок та кінець публікації, мова відображення, доступ, сортування, призначення модуля. Дозволи модуля. Розширені налаштування модуля.

**Тема 7.** Перенесення сайта на хостинг.

Експорт, імпорт бази даних сайта. Перенесення системи управління контентом. Зміна файлу конфігурації.

*Орієнтовний перелік практичних робіт*: 1. Створення категорій. Користувачі сайта. 2. Створення та редагування статті. 3. Вставка у статтю таблиці. 4. Адаптування графічної інформації. 5. Меню сайта, гіперпосилання. 6. Створення модулів: нові публікації, архів, вхід у систему. 7. Модуль довільний HTML-документ. 8. Перенесення сайта на хост.

*Після засвоєння даного змісту магістр буде*

*знати:* принципи структурування інформації; систему управління контентом; способи створення статей; організацію роботи сайта; управління режимами доступу користувачів.

*вміти:* створювати, редагувати та знищувати контент; підтримувати інформацію в актуальному стані; структурувати інформацію за категоріями; створювати систему меню; управляти модулями сайта; проводити наповнення статей графічною інформацією; вибирати кольорові схеми оформлення сайта; переносити та підтримувати сайт на хостингу.

## Висновки

Визначений вище зміст матеріалу є необхідним та достатнім для успішної роботи зі створення, супроводу сайта інформаційного характеру з висвітлення результатів наукових досліджень фахівцями освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр». Даний зміст впроваджено в навчальну дисципліну «Інформаційні технології» при підготовці фахівців за спеціальністю 8.10010103 «Електрифікація та автоматизація сільського господарства». Даний матеріал може бути корисним під час підготовки фахівців за іншими спеціальностями.

## Список літератури

1. Національна рамка кваліфікацій : постанова Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2011 р. № 1341 . Режим доступу : http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF#n37 (дата звернення: 20.03.2016.) . – Про затвердження Національної рамки кваліфікацій.

2. Карлінська Я. Професійна педагогічна освіта: компетентнісний підхід: монографія / Я. Карлінська ; за ред. О. А. Дубасенюк. – Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2011. – С. 311–319. – Режим доступу : http://eprints.zu.edu.ua/16420/ (дата звернення: 18.03.2016.). – Формування інформаційної компетентності майбутнього спеціаліста.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ МАГИСТРОВ-ЭНЕРГЕТИКОВ

***В. О. Качуривский, Г. М. Качуривская***

**Аннотация.** *Рассмотрены вопросы информационной составляющей в подготовке магистров. Определено необходимые и достаточные знания, умения и навыки для организации функционирования информационных сайтов в компьютерной сети. Предложено адаптивное содержание учебной дисциплины «Информационные технологии» для формирования информационных и коммуникационных составляющих профессиональной подготовки магистра.*

**Ключевые слова:** ***профессиональная компетенция, информационная составляющая, информационная технология, содержание обучения***

## INFORMATION COMPONENT OF PROFESSIONAL COMPETENCE MASTERS OF THE ENERGY

***V. Kachurivskii, H. Kachurivska***

**Annotation.** *The problems of the information component in the preparation masters degrees. Determine the necessary and sufficient knowledge and skills to organize the functioning of information sites on a computer network. Proposed adaptive maintenance of discipline “Information Technology” for the formation of information and communication components of the masters.*

**Key words:** ***professional competence, the information component, information technology, learning content***

УДК 621.3:636.5

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ ПРИЗНАКУ СРОКОМ СОДЕРЖАНИЯ СТАДА С ОТБОРОМ И ВЫБРАКОВКОЙ ОСОБЕЙ ПО ИХ ПРОДУКТИВНОЙ МАССЕ

***А. В. Дубровин, доктор технических наук***
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: dubrovin1953@mail.ru***

**Аннотация.** *Предложены основы метода управления продуктивным сроком содержания стада по экономическому критерию с выбраковкой некондиционных животных или птиц. Экономическим индикатором хозяйственно результативного срока эксплуатации стада является равенство сигнала расчётного значения наивысшей прибыли производства в конце очередного временного цикла содержания стада сигналу заданного минимально допустимого значения прибыли.*

**Ключевые слова:** ***автоматизация технологических процессов, экономически оптимальное управление, технико-экономический параметр***

В [1, 2] производится своевременная выбраковка некондиционных животных во избежание распространения на здоровое поголовье заболеваний и инфекций. Известно техническое решение для выявления некондиционных особей стада [3]. Для случая, например, отары овец, критерием (признаком, *латин.*) задержки в развитии организма особи стада служит факт пространственного отставания животного от основной группы животных по времени прихода его на полевую ферму. Недостатками указанных и аналогичных известных технических решений является отсутствие в них возможности определения экономических (хозяйственных) последствий их действий. Это снижает их функциональные технические возможности по применению для хозяйственно наилучшего (экономически оптимального) автоматического или автоматизированного управления (с участием обслуживающего персонала в процессе управления) технологическими процессами выращивания и определения целесообразного по экономическому критерию момента времени забоя животных и птиц. Стадо животных или птиц при необходимости легко может быть проконтролировано на предмет обнаружения некондиционных особей поголовья, имеющих несоответствие своей продуктивности или физиологического состояния зоотехническим нормативам, посредством технических решений по

*© А. В. Дубровин, 2016*

различным признакам, в том числе по массе продукции особей, а именно: по чрезмерно малой или большой продуктивной массе особей.

Известны многочисленные технические решения для управления технологическими процессами в птицеводстве и в сельском хозяйстве в целом по экономическому критерию [4]. Можно при последовательном прохождении мясными особями по одной друг за другом измерительной весовой платформе измерять и запоминать данные об их отдельных живых массах. Надо сравнивать результаты измерений с заданными технологией выращивания соответствующими массами продукции. Следует своевременно отделять от основного стада определённых по результатам взвешивания особей с недопустимо малыми и чрезмерно большими живыми массами. При этом надо учитывать соответствующие количества выбракованных некондиционных и отобранных чрезмерно развитых особей для определения появившейся в это время индивидуального взвешивания их суммарной живой массы для досрочного забоя. Эти данные могут быть использованы как для учёта досрочно полученной продукции животноводства и птицеводства, так и для управления процессом автоматического определения посредством новых технических решений срока содержания стада.

**Цель исследований –** разработка основы метода управления по экономическому признаку эффективности производства основной продукции животноводства или птицеводства сроком содержания стада с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц, имеющих либо чрезмерную по зоотехническим нормативам, либо недостаточную по ним продуктивную (в т. ч. живую) массу.

**Материалы и методика исследований.** На рис. 1 дана иллюстрация нового управления: $T$ – текущее время технологического процесса содержания поголовья в стаде, сут.; $T_1$, $T_2$, $T_3$ – моменты времени (точнее, периоды или интервалы времени) проведения отбора и выбраковки некондиционных животных или птиц в конце каждого цикла содержания стада по принятому руководством или персоналом предприятия одному из технологических критериев (признаков), сут.; $T_1$, $(T_2 – T_1)$, $(T_3 – T_2)$ – продолжительность соответствующего первого, второго, третьего цикла содержания стада между отборами и выбраковками некондиционного поголовья, сут.; $Пр$ – текущая во времени основная продуктивность животных или птиц, кг (например, живая масса, масса шерсти овец, масса снесённых яиц определёнными курами родительского стада). После стрижки шерсти или проведения выбраковки некондиционных кур в конце текущего цикла содержания поголовья, получение этой основной продукции в начале следующего цикла начинается практически с нуля, что и показано верхними кривыми линиями во временных циклах; $Ц_р$ – стоимость произведённой продукции в ценах реализации продукции, руб.; $C$ – себестоимость производства продукции, руб.; $C_1$ – себестоимость производства продукции без отбора и выбраковки некондиционного поголовья в первом цикле, руб.; $C_2$, $C_3$ – себестоимости производства продукции с отбором и выбраковкой некондиционного поголовья во втором

и в третьем цикле, руб.; $П = (Ц_р - С)$ – прибыль производственного технологического процесса, руб.; $Ц_{р1}^{макс}$, $Ц_{р2}^{макс}$, $Ц_{р3}^{макс}$ – наивысшая стоимость произведённой продукции в ценах реализации продукции при соответствующей наивысшей продуктивности $Пр_1^{макс}$, $Пр_2^{макс}$, $Пр_3^{макс}$ в конце первого, второго, третьего цикла содержания стада, руб. До конца первого цикла отбор и выбраковка не производятся, поэтому временная зависимость продуктивности, стоимости её реализации и прибыли единственные. Перед вторым и перед третьим циклами отбор и выбраковка производятся, поэтому в этих и в последующих циклах можно проводить сравнение соответствующих перечисленных временных экономических характеристик процесса при отсутствии и при наличии отбора и выбраковки. Для наглядности, двумя дополнительными красными линиями во втором и в третьем циклах показаны два случая отсутствия отбора и выбраковки во втором и в третьем циклах содержания стада и гипотетического получения при этом неизменного наивысшего значения продуктивности $Пр_1^{макс}$ и соответствующей стоимости реализации продукции $Ц_{р1}^{макс}$; $С_1^{макс}$, $С_2^{макс}$, $С_3^{макс}$ – наивысшая себестоимость производства продукции в конце первого, второго, третьего цикла содержания стада, руб.; $П_1^{макс}$, $П_2^{макс}$, $П_3^{макс}$ – наивысшая прибыль производства в конце первого, второго, третьего цикла содержания стада, руб.; $М$ – живая масса животного или птицы, кг; $М^{лёгк}$ – живая масса лёгкого животного или птицы, кг; $М^{средн}$ – живая масса статистически среднего животного или птицы, кг; $М^{тяж}$ – живая масса тяжёлого животного или птицы, кг; $М_{зад}^{лёгк}$ – заданная минимально допустимая живая масса лёгкого животного, кг; $М_{зад}^{тяж}$ – заданная максимально допустимая живая масса тяжёлого животного, кг; $М_0^{лёгк}$ – начальная живая масса лёгкого животного, кг; $М_0^{сред}$ – начальная живая масса статистически среднего по ней животного, кг; $М_0^{тяж}$ – начальная живая масса тяжёлого животного, кг; $\sum М_{неконд}^{лёгк}$ – суммарная живая масса некондиционных по живой массе выбракованных в конце цикла чрезмерно лёгких животных и птиц, кг; $\sum М_{отобр}^{тяж}$ – суммарная живая масса некондиционных по живой массе отобранных в конце цикла чрезмерно тяжёлых животных и птиц, кг; $(\sum М_{неконд} = (\sum М_{неконд}^{лёгк} + \sum М_{отобр}^{тяж})$ – суммарная мясная продуктивность (точнее, суммарная живая масса) всех некондиционных особей в конце цикла, кг; $Ц_р^{уд}{}_{мяс}$ – региональная удельная цена реализации дополнительной продукции фермы в виде мяса некондиционных животных или птиц, руб/кг; $Ц_р^{неконд}{}_{мяс} = \sum М_{неконд} \times Ц_р^{уд}{}_{мяс}$ – стоимость реализации дополнительной продукции от некондиционного поголовья в конце цикла содержания стада (первый сигнал), руб.; $N_{неконд} = (\sum N_{неконд}^{лёгк} + \sum N_{отобр}^{тяж})$ – количество некондиционных животных или птиц в стаде в конце цикла (суммарный сигнал), шт.; $Пр^{уд}$ – нормативное количество основной продукции в одной особи в конце цикла содержания стада, кг/ед., шт/ед. и др.; $Ц_р^{уд}{}_{прод}$ – региональная удельная цена реализации основной продукции фермы в виде шерсти овец или яков, пуха или перьев фазанов или страусов, руб/кг, руб/шт. и др.; $Ц_р^{неконд}{}_{прод} = Пр^{уд} \times N_{неконд} \times Ц_р^{уд}{}_{прод}$ – стоимость реализации основной продукции от некондиционного поголовья в конце цикла содержания стада (второй

сигнал), руб.; $Ц_р^{неконд} = Ц_р^{неконд}{}_{мяс} + Ц_р^{неконд}{}_{прод}$ – суммарная стоимость реализации дополнительной и основной продукции от некондиционного поголовья в конце цикла содержания стада, руб.; $Ц_р = Ц_р^{конд} + Ц_р^{неконд}$ – суммарная стоимость реализации продукции от кондиционного (основного) и некондиционного (отбираемого и бракуемого) поголовья в конце цикла содержания стада, руб.; $П_{2выбрак}^{макс}$ *и* $П_{3выбрак}^{макс}$ – наивысшая прибыль процесса при выбраковке и отборе во втором и в третьем циклах содержания стада, руб.; $ΔЦ_{р12}$, $ΔЦ_{р23}$ – уменьшение стоимости продукции в конце данного цикла содержания стада по сравнению со стоимостью продукции в конце предыдущего цикла содержания (во втором цикле по сравнению с первым циклом, в третьем цикле по сравнению со вторым циклом), руб.; $ΔС_{12}$, $ΔС_{23}$ – уменьшение себестоимости содержания стада после соответственно первой и второй выбраковки и отбора (во втором цикле содержания стада по сравнению с первым циклом, в третьем цикле по сравнению со вторым циклом), руб. Уменьшение указанных себестоимостей больше по значению, чем снижение соответствующих стоимостей продукции, поэтому их разности в виде изменения прибыли являются положительными величинами, т.е. соответствующие приросты прибыли положительные; $ΔП_2$, $ΔП_3$ – увеличение (прирост) прибыли после, соответственно, первой и второй выбраковки и отбора во втором и в третьем цикле содержания стада, по сравнению с соответствующими расчётными прибылями во втором и в третьем цикле без выбраковки и отбора поголовья, руб.

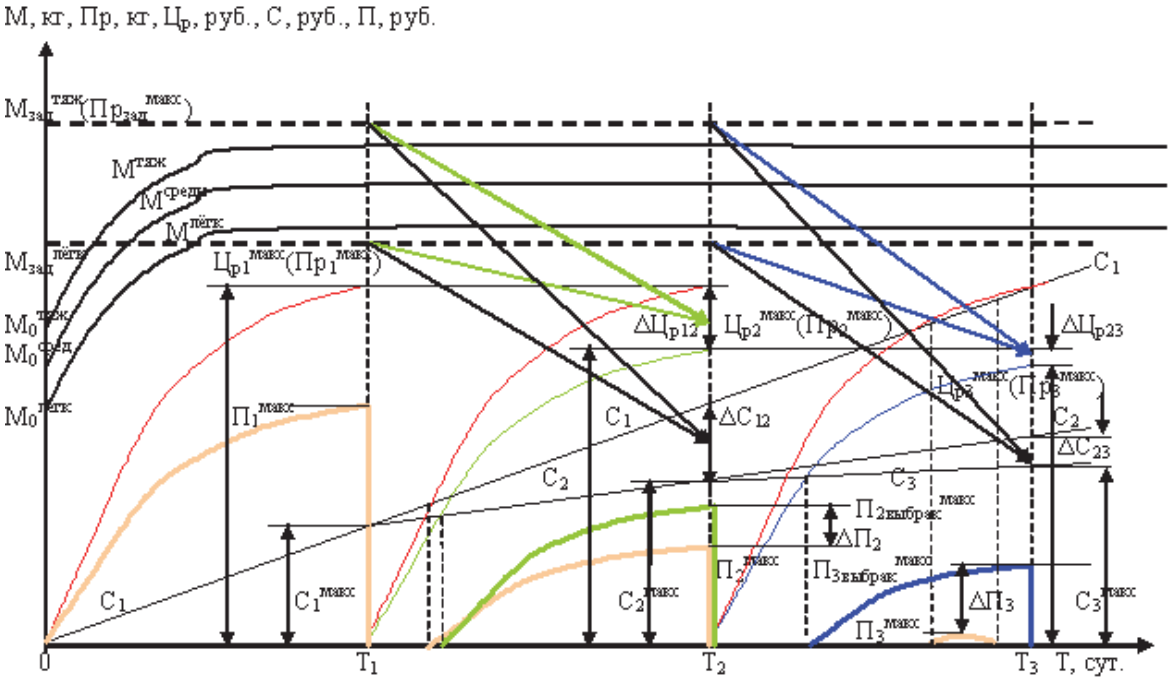



**Рис. 1. Иллюстрация управления по экономическому признаку сроком содержания стада с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц** *(пояснения в тексте)*

На рис. 2 приведена функциональная схема устройства: 1 – формирователь заданных временных сигналов временных задержек (нормативного поступления или прихода животных с пастбища или с выгула на ферму в конце каждого цикла содержания стада); 2 – измеритель сигнала живой массы каждого животного или птицы в стаде; 3 – блок задатчиков (региональных цен на продукцию, корма, кормовые добавки, кормовые смеси, тепловую и электрическую энергию, зарплату персонала, значений коэффициентов математических моделей расчёта экономических показателей, констант и искусственно сформированного сигнала развёртки по времени, сигналов управления); 4 – вычислительный блок; 5 – блок индикации (экономических характеристик технологического процесса содержания стада для информирования персонала фермы); 6 – технологическое оборудование процесса содержания стада; 7 – технологическое оборудование для прекращения содержания или для забоя стада; 8 – блок управления устройством; 9 – задатчик сигнала реального времени содержания стада животных или птиц; 10 – задатчик сигнала минимально допустимой живой массы особи стада; 11 – задатчик сигнала максимально допустимой живой массы особи стада; 12 – первый элемент сравнения; 13 – второй элемент сравнения; 14 – первый формирователь сигналов выбракованных некондиционных животных или птиц; 15 – второй формирователь сигналов отобранных некондиционных животных или птиц; 16 – задатчик сигнала значения минимально допустимой прибыли в конце очередного временного цикла содержания стада; 17 – схема сравнения; 18 – формирователь управляющего сигнала для технологического оборудования; 19 – управляемый ключ.

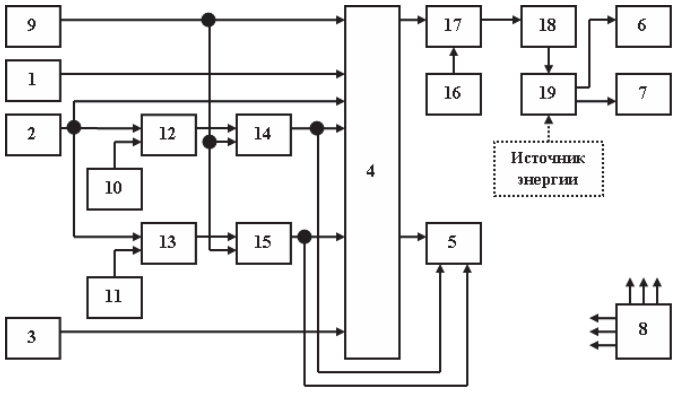



**Рис. 2. Функциональная схема устройства управления по экономическому признаку сроком содержания стада с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц**
*(пояснения в тексте)*

Известна по опыту животноводства и птицеводства за текущее время технологического процесса содержания поголовья в стаде *T*, сут., или за время цикла содержания стада до момента времени проведения

выбраковки и отбора некондиционного поголовья, временная зависимость роста мясной продуктивности животных или птиц *Пр*, кг, и соответствующая стоимость произведённой основной продукции в ценах реализации продукции $Ц_р$, руб. При наличии информации о затратах разного вида на содержание стада также известна в любой момент времени расчётная себестоимость производства основной продукции без отбора и выбраковки некондиционного поголовья в первом цикле $С_1$, руб. и $С_2$, $С_3$ – себестоимости производства основной продукции с отбором и выбраковкой некондиционного поголовья во втором и в третьем цикле, руб. Соответственно, легко вычисляется временная зависимость прибыли производственного технологического процесса содержания стада $П = (Ц_р – С)$, руб.

До конца первого временного цикла отбор и выбраковка не производятся, поэтому временные зависимости производства основной продукции, т. е. стоимости её реализации и прибыли единственные. Перед вторым и перед третьим циклами отбор и выбраковка производятся, поэтому в этих и последующих циклах можно проводить сравнение соответствующих перечисленных временных экономических характеристик процесса при отсутствии и при наличии отбора и выбраковки. Из-за уменьшения численности стада в результате отбора и выбраковки некондиционных животных или птиц уменьшается стоимость основной продукции в конце данного цикла содержания стада, по сравнению со стоимостью основной продукции в конце предыдущего цикла содержания стада. Эти $ΔЦ_{р12}$, $ΔЦ_{р23}$, руб. есть уменьшение стоимости основной продукции во втором цикле по сравнению с первым циклом, в третьем цикле по сравнению со вторым циклом и так далее. Однако значительно снижается себестоимость содержания стада после отбора и выбраковки. Это есть уменьшение себестоимости содержания стада после, соответственно, первой и второй выбраковки и отбора $ΔС_{12}$, $ΔС_{23}$, руб., во втором цикле содержания стада по сравнению с первым циклом, в третьем цикле по сравнению со вторым циклом.

Уменьшения указанных себестоимостей больше по значению, чем снижения соответствующих стоимостей основной продукции, поэтому их разности в виде изменения прибыли являются положительными величинами, и соответствующие приросты прибыли $ΔП_2$, $ΔП_3$ положительные. Имеет место увеличение (прирост) прибыли после, соответственно, первой и второй выбраковки и отбора во втором и в третьем цикле содержания стада, по сравнению с соответствующими расчётными прибылями во втором и в третьем цикле без отбора и выбраковки поголовья.

Следует иметь в виду, что результирующие значения прибыли в конце второго и третьего цикла содержания стада при проведении отбора и выбраковки $П_{2выбрак}^{макс}$, $П_{3выбрак}^{макс}$ и также следующие по времени в очередных циклах, увеличиваются каждое на соответствующее значение дополнительной прибыли от собственно отобранного и выбракованного поголовья. Ведь это отобранное и выбракованное поголовье также

составляет часть общей стоимости продукции в ценах реализации и, соответственно, часть прибыли предприятия. Оно присутствует в стаде, даёт свою продукцию, например, в виде массы куриных яиц, массы шерсти и мяса в случае овец, баранов тонкорунных и т.п. Стадо в конце каждого цикла его содержания подвергается отбору и выбраковке некондиционного поголовья. Значения прибылей в условиях полного отсутствия отбора и выбраковки в трёх показанных на рис. 1 циклах $П_1^{макс}$, $П_2^{макс}$, $П_3^{макс}$ увеличены быть никак не могут за счёт некондиционных особей, поскольку отсутствует отбираемое и бракуемое поголовье. Рост себестоимости $С_1$ не уменьшается при отсутствии уменьшения количества обслуживаемых особей стада, растёт быстро и вычитается из примерно одинаковых временных зависимостей стоимостей основной продукции в ценах реализации $Ц_{р1}$.

Видно, что уже в третьем цикле наивысшая расчётная прибыль $П_3^{макс}$ без отбора и выбраковки чрезвычайно мала. В очередном четвёртом цикле прибыль станет отрицательной из-за продолжающегося быстрого роста себестоимости производства основной продукции без отбора и выбраковки некондиционного поголовья $С_1$. Поэтому производство основной продукции без отбора и выбраковки некондиционного поголовья следует остановить уже в конце третьего цикла.

**Результаты исследований.** Становится понятной экономическая (хозяйственная) и техническая (посредством искусственно создаваемых человеком неживых решений управления процессом) целесообразность отбора и выбраковки некондиционного поголовья: рост себестоимости производства продукции с отбором и выбраковкой некондиционного поголовья во втором и в третьем циклах $С_2$ и $С_3$ заметно уменьшается. Из незначительно уменьшающейся стоимости реализации продукции $Цр_2$ и $Цр_3$ вычитаются существенно меньшие $С_2$ и $С_3$. Поэтому наивысшая прибыль процесса при отборе и выбраковке во втором и в третьем циклах $П_{2выбрак}^{макс}$ и $П_{3выбрак}^{макс}$ больше наивысшей прибыли процесса в данном цикле содержания без отбора и выбраковки поголовья $П_2^{макс}$ и $П_3^{макс}$ на величину соответственно прироста прибыли $ΔП_2$ и $ΔП_3$. Когда наивысшая прибыль процесса при выбраковке $П_{n\ выбрак}^{макс}$, где $n = 1, 2, 3, …, N_{эк}^{признак}$ станет близкой или равной нулю, технологический процесс содержания стада следует прекратить во избежание продолжения производства продукции с несущественной прибылью или вообще без неё. Величина $N_{эк}^{признак}$ есть автоматически определяемое по экономическому признаку сравнения прибыли и её заданного минимально допустимого значения, по существу экономически оптимальное (хозяйственно наилучшее), количество циклов с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц. Эта величина (в форме материального сигнала) количества временных циклов поступления животных или птиц на ферму определяет управляемый по способу продуктивный временной срок содержания стада по экономическому признаку с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц.

По рис. 1 видно, что достаточно большое значение $П_{Звыбрак}^{макс}$ вполне позволяет продолжить технологический процесс в четвёртом и в нескольких последующих циклах, тем более, при малом заданном значении минимально допустимой заданной прибыли. Поэтому управление по экономическому признаку по существу реальным продуктивным сроком содержания стада с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц действительно обеспечивает существенное увеличение срока эксплуатации (производственного использования) стада животных или птиц. Экономическим индикатором хозяйственно результативного срока эксплуатации стада является равенство сигнала расчётного значения наивысшей прибыли производства в конце очередного временного цикла содержания стада сигналу заданного минимально допустимого значения прибыли.

Формирователь заданных временных сигналов временных задержек (нормативного поступления или прихода животных с пастбища на ферму в конце каждого цикла содержания стада) 1 начинает в устройстве формирование соответствующих сигналов при появлении особей стада на ферме. Измеритель сигнала живой массы каждого животного или птицы в стаде 2 обеспечивает на выходах первого формирователя сигналов выбракованных некондиционных животных или птиц 14 и второго формирователя сигналов отобранных некондиционных животных или птиц 15 появление сигналов наличия таких особей. Это достигается с помощью задатчика сигнала минимально допустимой живой массы особи стада 10, задатчика сигнала максимально допустимой живой массы особи стада 11, первого элемента сравнения 12 и второго элемента сравнения 13.

Блок задатчиков региональных цен на продукцию, корма, кормовые добавки, кормовые смеси, тепловую и электрическую энергию, зарплату персонала, значений коэффициентов математических моделей расчёта экономических показателей, констант, искусственно сформированного сигнала развёртки (сканирования) по времени 3 позволяет смоделировать расчётные временные зависимости экономического характера и развернуть их по времени в технологически достаточном диапазоне. Вычислительный блок 4 рассчитывает экономические временные зависимости и производит суммирование сформированных сигналов некондиционных животных или птиц в стаде.

Так же производится умножение суммарной живой массы некондиционной особи в стаде на региональную среднюю удельную цену одного килограмма мяса особи стада и вычисление стоимости дополнительной продукции отбираемых и выбракованных животных или птиц. Происходит вычисление и формирование сигнала суммарной стоимости основной продуктивности отобранных и выбракованных животных или птиц в стаде в конце данного временного цикла содержания стада. Идёт суммирование сформированного сигнала стоимости основной продуктивности отобранных и выбракованных животных или птиц с вычисленной стоимостью основной продукции в

конце данного цикла содержания стада, и формирование сигнала наибольшей стоимости основной продукции в конце данного цикла содержания стада; формирование сигнала временной зависимости суммарной себестоимости содержания стада, сигнала временной зависимости вычисленной прибыли процесса содержания стада в конце временного цикла содержания стада.

Задатчик 16 позволяет схеме сравнения 17 сравнить сигнал временной зависимости вычисленной прибыли процесса содержания стада в конце временного цикла содержания стада с сигналом значения минимально допустимой прибыли в конце цикла содержания стада. Формирователь 18 формирует сигнал прекращения содержания стада в момент времени равенства указанных сигналов. Посредством управляемого выключателя технологического оборудования процесса содержания стада 19 выключают технологическое оборудование процесса содержания стада 6 и включают технологическое оборудование для прекращения содержания или для забоя стада 7 в момент времени появления сигнала на выходе формирователя 18. Процесс содержания стада с отбором и выбраковкой некондиционных животных или птиц заканчивается.

## Выводы

Обеспечивается в автоматическом режиме контроль и идентификация некондиционных животных или птиц, в результате чего достигается их своевременная выбраковка и отбор с учётом их вклада в хозяйственные показатели сельскохозяйственного предприятия, повышается точность определения экономически целесообразного момента времени прекращения содержания стада. Производится управление технологическим процессом содержания сельскохозяйственного поголовья по экономическому признаку.

## Список литературы

1. Патент № 2251258 РФ. Способ и устройство контроля и сигнализации наличия нездоровых сельскохозяйственных животных в зоне обогрева / Дубровин А. В., Борисов В. В. – № 2003130427/12 ; заявл. 16.10.2003 ; опубл. 10.05.2005, Бюл. №13.

2. Патент № 2277768 РФ. Способ и устройство обнаружения некондиционного животного в зоне обитания сельскохозяйственных животных / Дубровин А. В., Борисов В. В. – № 2004137356/12 ; заявл. 22.12.2004 ; опубл. 20.06.2006, Бюл. №17.

3. Патент № 2490877 РФ. Способ и устройство контроля численности поголовья животных в стаде и овец в отаре и выявления среди них больных и ослабленных животных / Тургенбаев М. С., Суюнчалиев Р. С., Дубровин А. В., Шевцов В. В. // 2013, Бюл. № 24.

4. Дубровин А. В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А. В. Дубровин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

# АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ЗА ЕКОНОМІЧНОГО ОЗНАКОЮ ТЕРМІНОМ УТРИМАННЯ СТАДА З ВІДБОРОМ І ВИБРАКУВАННЯМ ОСОБИН ЗА ЇХ ПРОДУКТИВНОЮ МАСОЮ

***О. В. Дубровін***

**Анотація.** *Запропоновано основи методу керування продуктивним терміном утримання стада за економічним критерієм із вибраковуванням некондиційних тварин або птахів. Економічним індикатором господарсько результативного терміну експлуатації стада є рівність сигналу розрахункового значення найвищого прибутку виробництва наприкінці чергового тимчасового циклу утримання стада сигналу заданого мінімально допустимого значення прибутку.*

**Ключові слова:** ***автоматизація технологічних процесів, економічно оптимальне управління, техніко-економічні параметри***

# AUTOMATIC CONTROL ON ECONOMIC THE BASIS FOR THE TERM OF A HERD WITH A SELECTION AND THE CULLING OF ANIMALS FOR THEIR PRODUCTIVE MASS

***A. Dubrovin***

**Annotation.** *The proposed framework method of management of productive life of a herd by the economic criterion with culling substandard animals or birds. The economic criterion, according to which the technical solution of the method of administration, is the equality of estimated signal values of the higher profits of production at the end of the temporal cycle of a herd of animals or birds to signal the specified minimum profit.*

**Key words:** ***process automation, cost optimal control, feasibility parameter***

УДК 631.3

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА НА ФЕРМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО ХОЛОДА И ХЛАДОНОСИТЕЛЕЙ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЗАМЕРЗАНИЯ

***А. Б. Коршунов, кандидат технических наук***
***В. В. Иванов, аспирант****
***ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва. Россия***
***e-mail: koral314@yandex.ru***

**Аннотация.** *Подчеркнута актуальность улучшения энергоэффективности охлаждения молока, использования энергосберегающих систем на основе применения природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания.*

**Ключевые слова:** ***оборудование для охлаждения молока, первичная обработка молока, энергосбережение, энергоэффективность, природный холод, пластинчатый теплообменник, хладоноситель с низкой температурой замерзания, экосол***

Существующие в настоящее время и использующиеся на фермерских хозяйствах системы для охлаждения молока являются достаточно энергозатратными и малоэффективными [1, 2, 3]. Поэтому разработка и внедрение энергосберегающих систем охлаждения молока является перспективным решением данной проблемы.

Особый интерес представляет собой энергосберегающие системы охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания [4], которые позволяют решить ряд задач в области первичной обработки молока.

**Цель исследований –** на основании изученной литературы [5…8] и патентной базы [9…11] произвести анализ представленных систем охлаждения молока с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания.

**Материалы и методика исследований**. В качестве метода исследования был выбран теоретический анализ.

**Результаты исследований.** Для проведения анализа энергосберегающих систем охлаждения молока на фермах с использованием природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания с целью определения преимуществ рассмотрим несколько примеров, представленных ниже технологических схем.

---

*Научный руководитель – кандидат технических наук А. Б. Коршунов

*© А. Б. Коршунов, В. В. Иванов, 2016*

*Первый вариант*

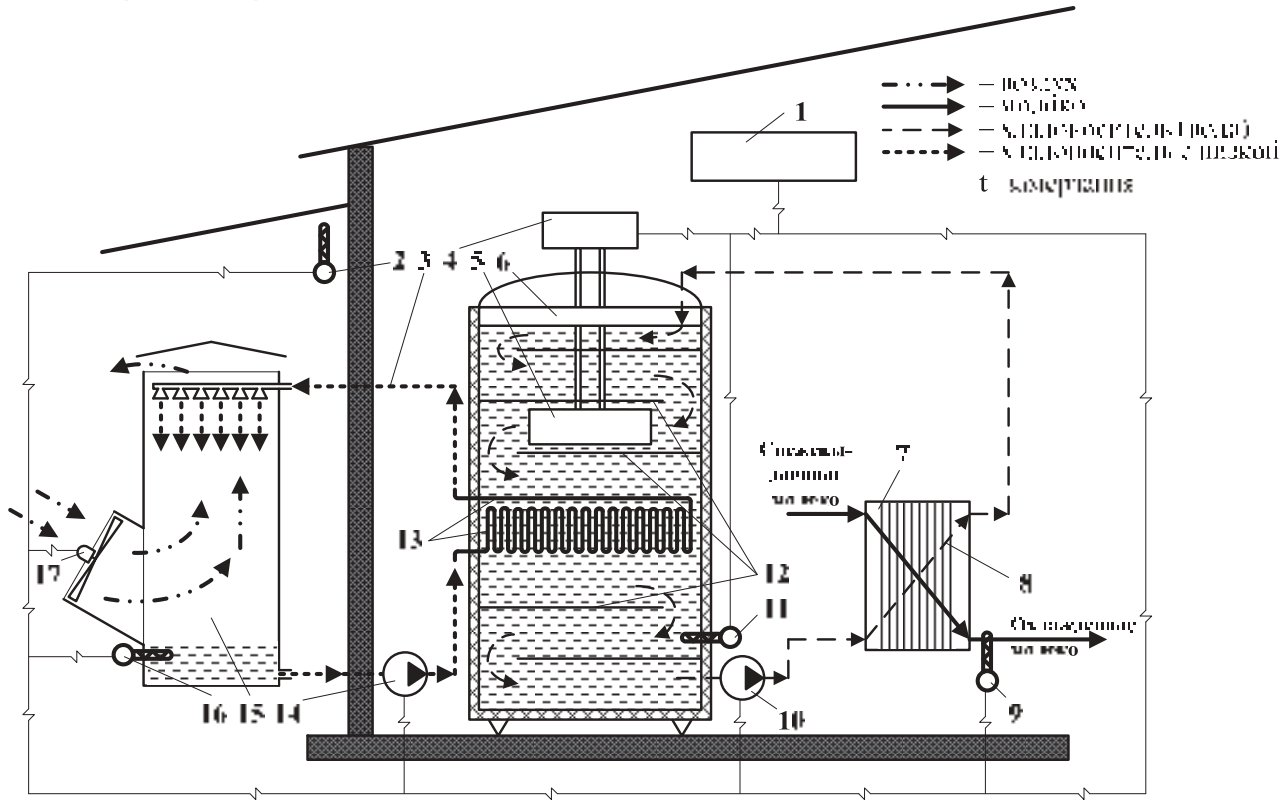



**Рис. 1. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания,** *вариант 1*

Представленная на рис. 1 энергосберегающая система охлаждения молока круглогодового действия функционирует следующим образом.

Во внутренний объем теплоизолированного аккумулирующего резервуара заливается хладоноситель – вода, которая протекает между перегородками, а замкнутый контур с приемником природного холода (градирня) и теплообменником приемника природного холода (трубки, на которых намораживается лед) заполняется экологически безопасным хладоносителем с низкой температурой замерзания, например, экосолом (далее по тексту – экосол).

В холодное время года экосол в приемнике природного холода остывает и, попадая в теплообменник приемника природного холода, замораживает хладоноситель – воду, и дополнительно аккумулирует холод.

В теплое время года, когда температура наружного воздуха такова, что использование приемника природного холода неэффективно, аккумуляция холода в теплоизолированном резервуаре будет продолжаться только от источника искусственного холода. Плановая зарядка аккумуляторов холода преимущественно осуществляется от источников искусственного и природного холода во время действия

льготного ночного тарифа на электроэнергию, что обеспечивает значительное сокращение на нее затрат.

При поступлении молока на охлаждение на пластинчатый теплообменник для молока во время дойки, с блока управления поступает сигнал на включение насоса хладоносителя и охлажденный хладоноситель подается в теплообменник для молока, охлаждает молоко и возвращается в верхнюю часть теплоизолированного резервуара, где вновь охлаждается. Затем цикл повторяется.

Преимуществами данной схемы являются:

– круглогодовая аккумуляция ледяной воды за счет использования низкотемпературного наружного воздуха, что, в том числе, позволяет уменьшить затраты энергии на аккумуляцию холода от источника искусственного холода;

– применение хладоносителей с низкой температурой замерзания в контуре приемника природного холода позволяет уменьшить эксплуатационные издержки и повысить надежность такой системы;

К недостаткам схемы можно отнести следующие моменты:

– высокая металлоемкость и габаритные размеры;

– испарение хладоносителя с низкой температурой замерзания в процессе кругооборота – необходимость периодической доливки данного хладоносителя;

– возможность смешивания хладоносителя с низкой температурой замерзания с парами наружного воздуха в приемнике природного холода, что может привести к выходу из строя контура приемника природного холода при отрицательных температурах наружного воздуха, т. е. уменьшение надежности системы.

*Второй вариант*

Представленная на рис. 2 энергосберегающая система охлаждения молока круглогодового действия функционирует следующим образом.

В данном варианте схемы природный холод используется для предварительного охлаждения молока.

В холодное время года экосол, находящийся в приемнике природного холода, остывает и аккумулирует холод круглосуточно. Для увеличения эффективности охлаждения экосола по показаниям датчика температуры наружного воздуха в приемнике природного холода включается вентилятор, а для предотвращения примерзания молока к стенкам пластинчатого теплообменника при предварительном охлаждении, регулируется поток охлажденного хладоносителя с низкой температурой замерзания с помощью электромагнитного вентиля и электромагнитного вентиля байпаса, а также меняется и режим подачи молока и экосола – производится согласованная подача.

В теплое время года, когда использование приемника природного холода неэффективно, охлаждение молока производится только за счет искусственного холода.

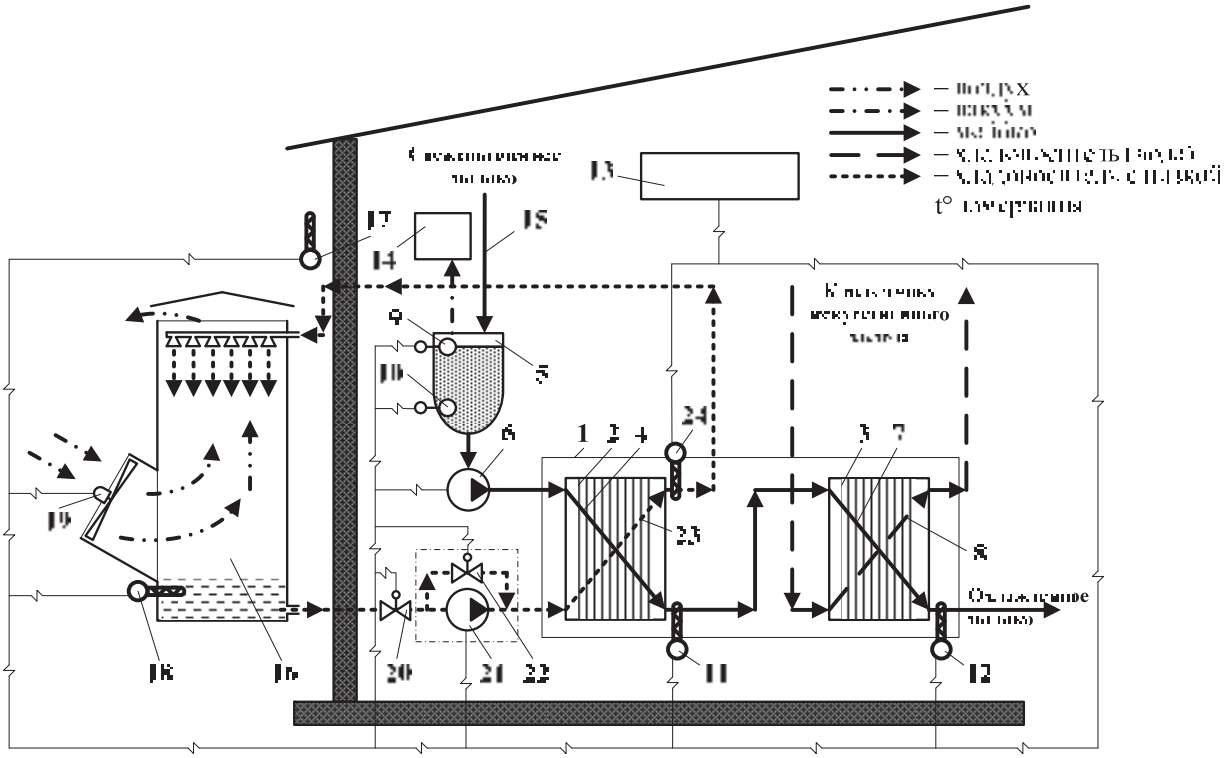


**Рис. 2. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания,** *вариант 2*

Преимущества данной схемы:

– круглогодовая аккумуляция ледяной воды за счет использования низкотемпературного наружного воздуха, что, в том числе, позволяет уменьшить затраты энергии на аккумуляцию холода от источника искусственного холода;

– применение хладоносителей с низкой температурой замерзания в контуре приемника природного холода позволяет уменьшить эксплуатационные издержки и повысить надежность такой системы;

в том числе, по сравнению со схемой варианта 1, следующие:

– уменьшение металлоемкости и габаритных размеров;

– универсальность подключения контура приемника природного холода к существующим на фермах установкам охлаждения молока – не требуется изменение конструкции уже существующего на месте оборудования – одна точка подключения;

Недостатки:

– высокая металлоемкость;

– испарение хладоносителя с низкой температурой замерзания в процессе кругооборота – необходимость периодической доливки данного хладоносителя;

– возможность смешивания хладоносителя с низкой температурой замерзания с парами наружного воздуха в приемнике природного холода, что может привести к выходу из строя контура приемника природного

холода при отрицательных температурах наружного воздуха, т. е. уменьшение надежности системы;

в том числе, по сравнению со схемой варианта 1, следующие:

– некоторое усложнение программы регулирования автоматики для предотвращения примерзания молока к стенкам теплообменника при низких температурах наружного воздуха.

*Третий вариант*

Представленная на рис. 3 технологическая схема охлаждения молока круглогодового действия функционирует аналогично установке охлаждения молока, представленной на рис. 1 (вариант 1), в данном случае, в качестве приемника природного холода вместо открытой градирни (рис. 1) используется воздушный конденсатор (рис. 3).

Преимущества схемы варианта 3 те же, что и у схем вариантов 1 и 2, но, по сравнению с ними, следующие:

– еще большее уменьшение металлоемкости и габаритных размеров;

– устраняется возможность испарения и смешивания хладоносителя с низкой температурой замерзания с парами наружного воздуха в приемнике природного холода.

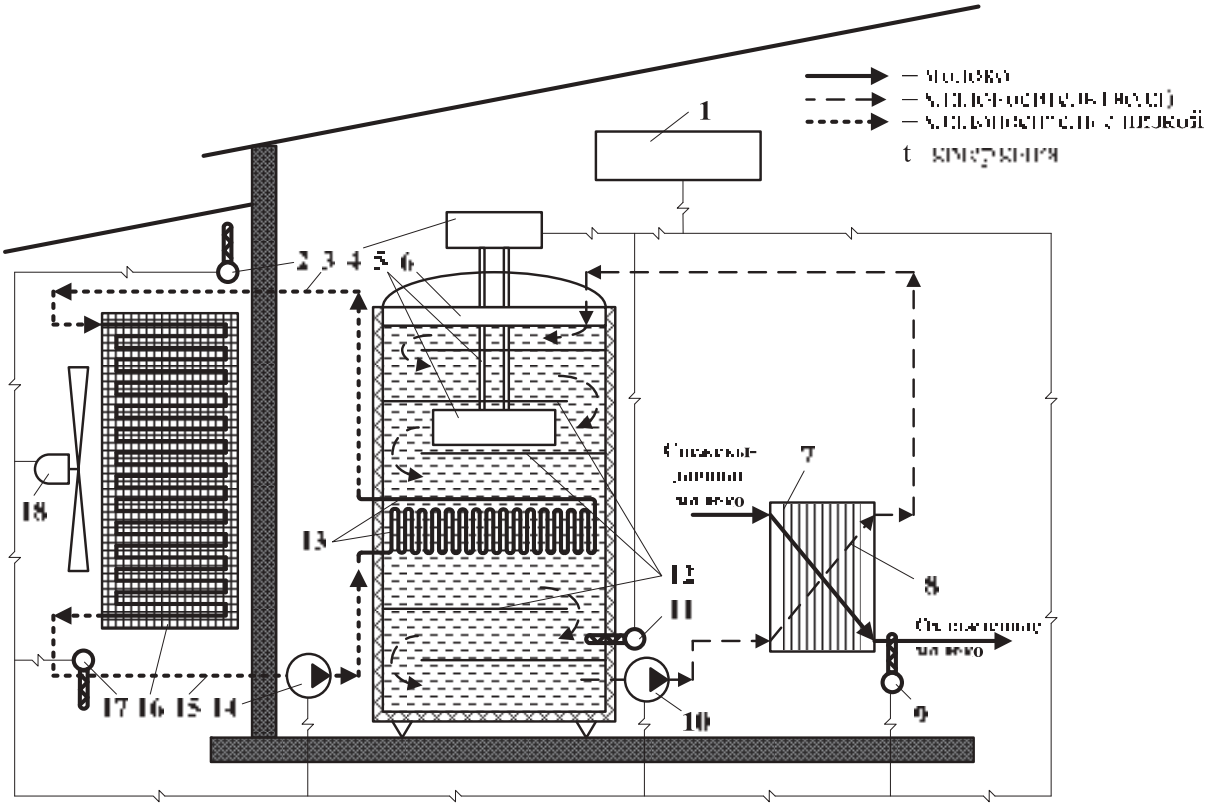



**Рис. 3. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания,** *вариант 3*

Недостатки схемы варианта 3 те же, что и у схемы варианта 2, но, по сравнению с ней, следующие:

– увеличение нагрузки на вал двигателя насоса хладоносителя с низкой температурой замерзания в связи с заменой открытой градирни (рис. 1, 2) на воздушный конденсатор (рис. 3), т. е. увеличение сопротивления прохождения жидкости в трубах.

*Четвертый вариант*

Представленная на рис. 4 энергосберегающая система охлаждения молока круглогодового действия функционирует аналогично установке охлаждения молока, представленной на рис. 2 (вариант 2), в данном случае в качестве приемника природного холода вместо открытой градирни (рис. 2) используется воздушный конденсатор (рис. 4).

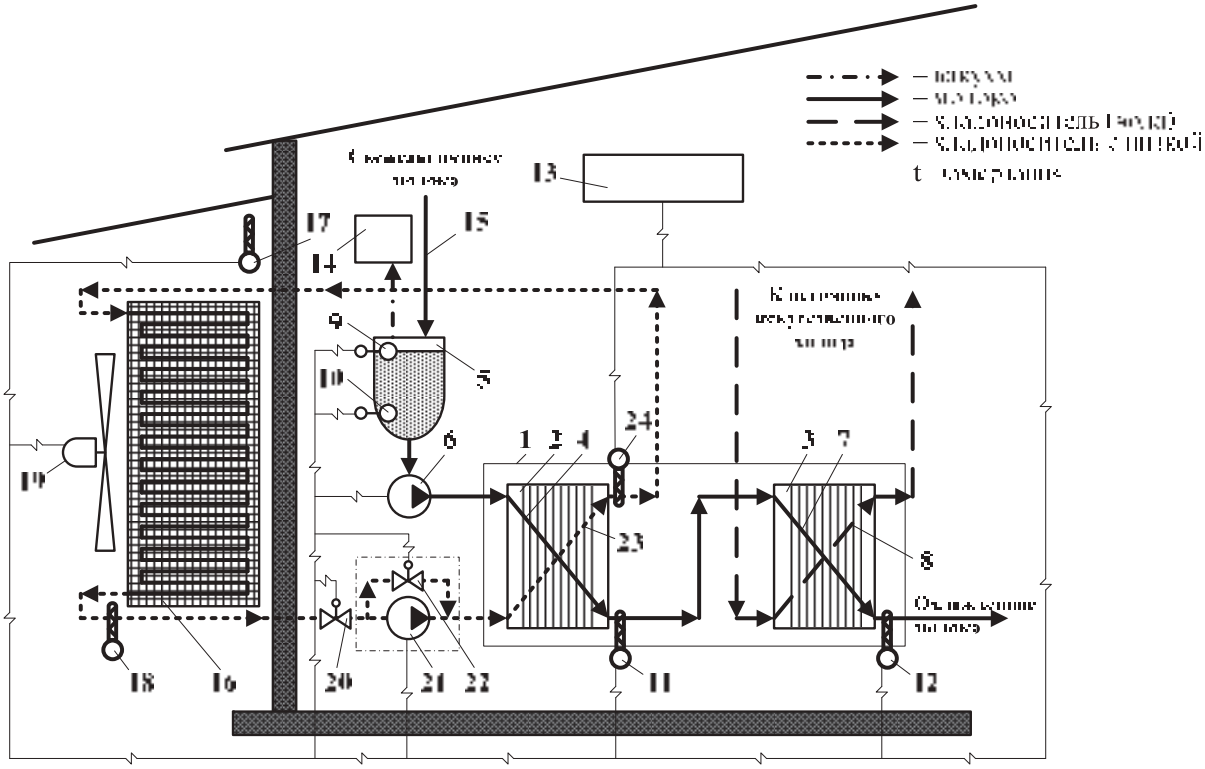



**Рис. 4. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания,** *вариант 4*

Преимущества схемы варианта 4 те же, что и у схем вариантов, представленных выше, но, по сравнению с ними, следующие:

– еще большее уменьшение металлоемкости и габаритных размеров;

*Пятый вариант*

Представленная на рис. 5 энергосберегающая система охлаждения молока круглогодового действия функционирует аналогично схеме охлаждения молока, представленной на рис. 4 (вариант 4). Однако же, для увеличения эффективности охлаждения молока данная установка

дополнена системами труб и трехходовыми вентилями, где предусматривается противоточная схема движения рабочих жидкостей (молоко, хладоноситель с низкой температурой замерзания) в каналах первой секции теплообменника. В схемах охлаждения молока (варианты 2, 4) при предварительном охлаждении молока схема движения молока – прямоточная (для предотвращения примерзания молока при отрицательных температурах хладоносителя, поступающего в каналы первой секции теплообменника молока).

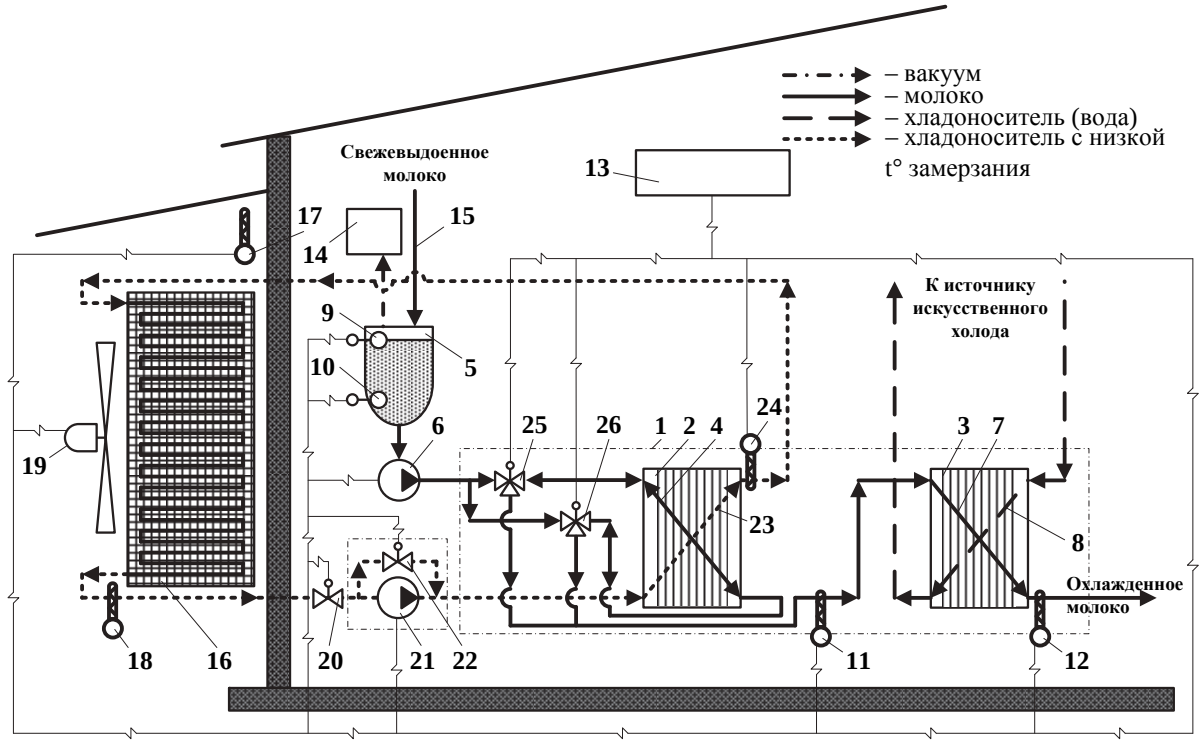



**Рис. 5. Энергосберегающая система охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания,** *вариант 5*

Особенности работы системы охлаждения молока (вариант 5) в части дополнительных труб и трехходовых вентилей, следующие:

– в теплое время года, когда экосол от приемника природного холода поступает с температурой только выше 0 °С, молоко насосом 6 подается на выход канала для молока 4 первой секции 2 теплообменника 1 через открытый трехходовой вентиль 26, а затем из входа канала для молока 4 первой секции 2 теплообменника 1 через открытый трехходовой вентиль 25 в канал для молока 7 второй секции 3 теплообменника 1 (противоточная схема движения рабочих жидкостей);

– в холодное время года, когда хладоноситель с низкой температурой замерзания от приемника природного холода поступает с температурой ниже 0 °С, молоко насосом 6 подается на вход канала для молока 4 первой секции 2 теплообменника 1 через открытый трехходовой вентиль 26, а затем из выхода канала для молока 4 первой секции 2 теплообменника 1 через открытый трехходовой вентиль 26 в канал для

молока 7 второй секции 3 теплообменника 1 (прямоточная схема движения рабочих жидкостей);

Так как данная схема является модификацией схемы варианта 4, то, по сравнению с ней, имеет следующие преимущества:

– увеличение эффективности охлаждения молока при температуре хладоносителя с низкой температурой замерзания от приемника природного холода поступает выше 0°С,

и недостатки:

– увеличение металлоемкости;

– необходимость установки дополнительных узлов, что влечет за собой увеличение эксплуатационных издержек;

– усложнение программы регулирования автоматики.

## Выводы

Перспективные энергосберегающие системы охлаждения молока с использованием искусственного и природного холода и хладоносителей с низкой температурой замерзания для внедрения в фермерские хозяйства и другие области сельского хозяйства должны обладать рядом преимуществ перед уже существующими системами:

– повышенная энергоэффективность;

– минимальные капитальные затраты и эксплуатационные издержки;

– максимальный уровень автоматизации;

– простота конструкции;

– малые габаритные размеры и металлоемкость.

В связи с вышеперечисленными необходимыми требованиями для систем охлаждения молока, наиболее подходящей из представленных технологических схем является схема варианта 4.

Существуют и другие варианты схем для систем охлаждения молока с использованием природного холода, например, с использованием грунтовых вод, основными недостатками которых является необходимость наличия подобных источников, перерасход воды и т. д.

## Список литературы

1. Босин И. Н. Охлаждение молока на комплексах и фермах / И. Н. Босин. – М. : Колос, 1993. – 46 с.

2. Севернев М. Н. Использование естественного холода на фермах / М. Н. Севернев, О. Н. Буляк // Техника в сельском хозяйстве. – 1999. – № 4. – С. 35.

3. Иванов Ю. А. Качество молока и эффективность его производства / Ю. А. Иванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 2. – С. 22–24.

4. Коршунов А. Б. Оборудование для охлаждения молока на фермах / А. Б. Коршунов, В. В. Иванов // Труды 9-й МНТК. – Ч. 3. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2014.

5. Мусин А. М. Использование естественого холода в автоматизированных системах охлаждения молока / А. М. Мусин, Ф. Г. Марьяхин, А. В. Павлов // Холодильная техника. – 1989. – № 1. – С. 22–25.

6. Перспективы применения естественного холода в различных агроклиматических зонах России / Ф. Г. Марьяхин, А. И. Учеваткин, Б. П. Коршунов [и др.] // Энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 2-й Международной научно-технической конференции. – Ч. 2. – М. : ВИЭСХ, 2000. – С. 100–110.

7. Барановский Н. В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. – М. : Машиностроение, 1973. – 288 с.

8. Теплообменные аппараты холодильных установок / [Данилова Г. Н., Богданов С. Н., Иванов О. П. и др.]. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение. – 1986. – 303 с.

9. Патент № 2147716 РФ. Приемник-аккумулятор естественного холода для сельхозобъектов / Ф. Г. Марьяхин, А. И. Учеваткин, Б. П. Коршунов и др. – № 99117379/13 ; заявл. 16.08.1999 ; опубл. 20.04.2000, Бюл. № 11.

10. Патент № 2153134 РФ. Приемник естественного холода с водоэжекторным распылителем / Ф. Г. Марьяхин, А. И. Учеваткин, Б. П. Коршунов и др. – № 99124833/13 ; заявл. 30.11.1999 ; опубл. 20.07.2000, Бюл. № 20.

11. Патент № 2185055 РФ. Холодильная установка с использованием естественного холода для ферм / А. Б. Коршунов, Ф. Г. Марьяхин, А. И. Учеваткин и др. – № 2000118112/13 ; заявл. 11.07.2000 ; опубл. 20.07.2002, Бюл. № 20.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА НА ФЕРМАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ ТА ХОЛОДОНОСІЇВ ІЗ НИЗЬКОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ЗАМЕРЗАННЯ

***О. Б. Коршунов, В. В. Іванов***

**Анотація.** *Підкреслено актуальність поліпшення енерго-ефективності охолодження молока, використання енерго-зберігаючих систем на основі застосування природного холоду і холодоносіїв з низькою температурою замерзання.*

**Ключові слова:** ***обладнання для охолодження молока, первинна обробка молока, енергозбереження, енергоефективність, природний холод, пластинчастий теплообмінник, холодоносій з низькою температурою замерзання, екосол***

## TECHNOLOGICAL SCHEMES OF ENERGY SAVING SYSTEMS FOR MILK COOLING USING FREE COOLING AND LOW FREEZING POINT REFRIGERANTS

***A. Korshunov, V. Ivanov***

**Annotation.** *In the article relevance of energy efficiency improvement formilkcooling, using energy saving systems for milk cooling with application of free cooling and low freezing point refrigerant are given.*

**Key words:** ***equipment for milk cooling, primary processing of milk, energy saving, energy efficiency, free cooling, lamellar heat exchanger, refrigerant, ecosol***

УДК 63:631.371:530.1

# ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ И ЗАКОН ВЫЖИВАНИЯ – ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ ОСНОВА САМООРГАНИЗАЦИИ И ВСЕЕДИНСТВА ЗНАНИЙ

***И. И. Свентицкий, доктор технических наук***
***В. А. Королев, кандидат технических наук***
***А. Г. Свентицкий, аспирант***
***ФБГНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хазяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: sventitskiy_niv@mail.ru***

**Аннотация.** *Сущность закона выживания (ЗВ) противоположна второму началу термодинамики (ВНТ). ЗВ и ВНТ неразрывно объединены в виде зеркальной динамической симметрии в общий естественный принцип энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции (ПЭЭС и ПЭ). Выявлена естественная аксиома, отображающая одновременно ЗВ, ВНТ, ПЭЭС и ПЭ. На этой основе: решены все проблемы науки, обусловленные ВНТ; обоснованы реально идеальные свойства прогрессивной эволюции: доказана достоверность антропного принципа как ее следствие. Показано, что антропный принцип для социологии и антропологии такой же естественный закон, как закон гравитации для физики и техники. Обоснована методология эксергетического анализа биопреобразований энергии излучения растениями, теория и система оптимизации агротехнологий.*

**Ключевые слова:** ***второе начало термодинамики, закон выживания, всеединство знаний, самоорганизация***

Развитие классической термодинамики со средины Х1Х столетия обусловило появление ряда проблем науки, связанных со вторым началом термодинамики (ВНТ). Наиболее важные из них – опасение «тепловой смерти Земли и Вселенной», «вопиющее противоречие» между эволюцией природы по ВНТ и биологической эволюцией. Исходным положением теории оптики является феноменальный принцип Ферма, а классической механики – принцип наименьшего действия в виде уравнений Гамильтона (гамильтониан). По этой причине ВНТ противоречило «всем иным разделам физики».

Не согласовывалось ВНТ и с законом сохранения энергии – первым началом термодинамики (ПНТ), которое формировалось до появления термодинамики, исходя из изотропности пространства и обратимости времени. Так как основная функция ВНТ – энтропия, повсеместно и непрерывно возрастает, то ВНТ отрицает обратимость времени. В этом противоречие между ВНТ и ПНТ: если верно ВНТ, то неверно ПНТ и наоборот.

*© И. И. Свентицкий, В. А. Королев, А. Г. Свентицкий, 2016*

На основе ВНТ невозможно объяснить энергетический природный процесс фотосинтеза растений. Он противоречит энтропии и не согласуется с ВНТ.

**Цель исследований** – обосновать методологию эксергетического анализа биопреобразований энергии излучения растениями, теорию и систему оптимизации агротехнологий.

**Результаты исследований.** Впервые официально это было выражено в Крунианской лекции К. А. Тимирязева «Космическая роль зеленых растений», которую он прочитал в 1903 г. на заседании Лондонского королевского общества. В самом названии лекции содержался вызов науке того времени. В этой лекции Тимирязев четко выразил научную и практическую проблему теоретизации «наук о жизни» [1, с. 345]: «Я считаю излишним настаивать на том, как важно… знать… ту долю солнечной энергии, которую растения могут использовать». В современной терминологии эта проблема выражается как «определение эксергии излучения для растениеводства» [2].

Ответ на вызов Тимирязева содержался в работе А. Эйнштейна «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и преобразования света», выполненной в 1902–1905 годах, и опубликованной в 2005 г. [3]. За эту работу её автор был удостоен Нобелевской премии. В ней содержится обоснование квантового преобразования энергии излучения – фотоэффекта. Энергия излучения не только генерируется (испускается) но и преобразуется целыми фотонами (квантами). Фотоэффект (физический, химический, биологический) пропорционален не количеству поглощенной энергии, а количеству эффективно поглощенных фотонов. Прямое пре- образование энергии излучения посредством фотосинтеза растений, фотоэлектрических элементов объяснимо законом квантовой эквивалентности, а не ВНТ.

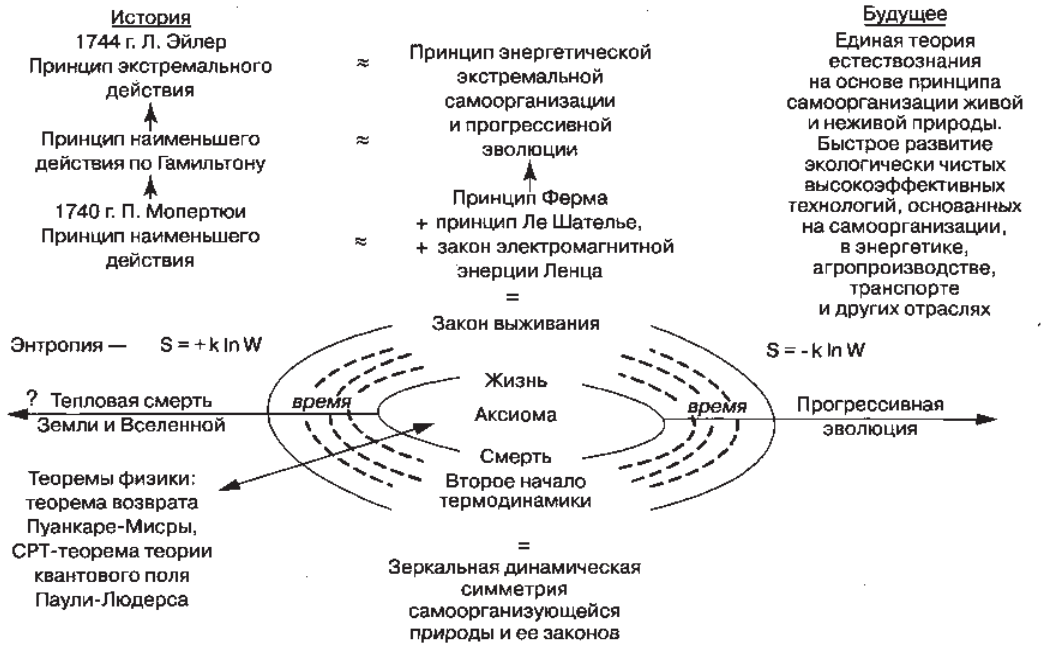
Однако чисто теоретически эксэргию излучения можно определить только для случая, когда излучатель и преобразователь излучения имеют спектральные характеристики, подобные аналогичным характеристикам абсолютно черного тела. Спектральные характеристики зеленых листьев растений и фотоэлектрических преобразователей принципиально отличаются от подобных характеристик абсолютно черного тела. Методология определения эксергиии излучения для растениеводства определена полуэмпирическим методом, обсуждена на 3-й международной конференции по преобразованию излучения растениями и опубликована в научном журнале Гумбольдтовского университета [4]. Для регламентирования определения этой величины были разработаны отечественные отраслевые стандарты [5, 6]. В Германии определение этой величины регламентировано национальными нормами [7]. Методология определения эксергиии излучения для растениеводства позволила разработать теорию оптимизации агротехнологий получения урожая [2].

В дискуссии по проблемам ВНТ ряд ученых: В. И. Вернадский, Г. Гельмгольц, К. А. Тимирязев, Н. А. Умов, К. Э. Циолковский высказывали гипотезу о существовании неоткрытого закона, сущность которого

противоположна сущности ВНТ. Один из авторов этой работы, поверив в эту гипотезу, обосновал такой закон, назвав его закон выживания (ЗВ). Сущность ЗВ в следующем: каждый элемент самоорганизующейся природы в своем развитии (индивидуальном, эволюционном) самопроизвольно устремлен к состоянию наиболее полного (эффективного) использования доступной свободной энергии системой трофического уровня, в которую он входит. Аналитические выражения ЗВ такие же, как и ВНТ, но правая часть выражения ЗВ имеет отрицательный знак [2].

Установлено, что ЗВ и ВНТ неразрывно объединены в виде зеркальной динамической симметрии в общий естественный принцип энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции (ПЭЭС и ПЭ). Приложение ВНТ ограничивается только равновесными (не самоорганизующимися) объектами. Самоорганизующиеся природные системы возникают и функционируют в соответствии с ЗВ. Выявлена аксиома, которая одновременно отображает ЗВ, ВНТ, ПЭЭС и ПЭ. Этой аксиомой представляется явление возникновение любого объекта, определенное время его существования (жизнь) и его разрушение (смерть). Кратко: жизнь – смерть. Логическая связь этой аксиомы с ЗВ, ВНТ, ПЭЭС и ПЭ, а также с основными теоремами физики и экстремальными феноменальными принципами, представлена на рисунке.

В природе ЗВ проявляется в виде феноменальных явлений, которые надежно эмпирически или математически установлены, но научно не объяснены. К ним относятся: фазовые переходы, золотая пропорция, фрактальные структуры, солитоны, онтогения или биогенетический закон, а также феноменальные экстремальные принципы: Ферма, наименьшего действия, Ле Шателе, и закон (правило) электромагнитной инерции Ленца. Все они являются самоорганизующимися явлениями. Их основную положительную сущность – экономность энергетическую и вещественную – ЗВ позволил объяснить, что само по себе подтверждает обоснованность ЗВ. На основе ЗВ, ПЭЭС и ПЭ удалось решить столетние проблемы науки, обусловленные классической термодинамикой [2], разрешить главную проблему биофизики – объединить теории классической физики с биологией. Это также подтверждает обоснованность рассматриваемых научных инновационных положений, их высокую познавательную возможность. Показано, что они согласуются с имманентным законом оборачивания метода К. Маркса [8]. Используя ЗВ, ПЭЭС и ПЭ удалось выявить реально идеальные свойства прогрессивной эволюции. Ее самопроизвольную направленность к экономности: энергетической, вещественной. информационной, следствиями которой является красота и гармония эволюционирующих объектов. По мере усложнения, их процесс эволюции ускоряется (рис.) [9].




**Логическая схема связи основной сущности ЗВ, ВНТ, ПЭЭС и ПЭ с аксиомой жизни и смерти, феноменальными физико-химическими принципами и основными теоремами физики**

Эти неразделимые реально идеальные свойства прогрессивной эволюции имеют как теоретическое, так и экспериментальное подтверждение. Например, ускорение эволюции по мере усложнения эволюционирующего объекта подтверждают данные экспериментального определения структур полных геномов организмов. В структурах полного генома человека примерно 10 % структур отличается от структур полного генома мыши, в котором только 1 % структур отличается от структур полного генома человека. Из этого видно, что со времени разделения генетических ветвей человека и мыши структуры генома человека развивались примерно в десять раз быстрее развития структур генома мыши, как более сложного объекта эволюции.

Реальность существования ЗВ, ПЭЭС и ПЭ подтверждает следующая особенность прогрессивной эволюции в условиях Земли. Планета Земля не имеет регулярного обмена веществом со своим окружением. Ее можно рассматривать как термодинамически закрытую систему по обмену веществом. Поэтому прогрессивная эволюция на ней возможна только при наличии на ней круговорота веществ, участвующих в эволюции. Такой круговорот биофильных элементов экспериментально установлен. Только доли процента от общего количества, находящихся на поверхности Земли, биофильных элементов – азота [10] и углерода [11] – по замкнутому циклу обращаются в живой части биосферы. Это свидетельствует о высокой энергетической и вещественной экономности эволюции в условиях Земли.

Для обеспечения круговорота необходимо разрушать структуры объектов, вышедших из самоорганизованного состояния (умерших организмов). Разрушительным свойством обладает энтропия – основная

функция ВНТ, которая «повсеместно и непрерывно возрастает» разрушая структуры. Добавим: только структуры объектов, ставших равновесными, после выхода из самоорганизованного состояния. В соответствии с ЗВ, самоорганизованные объекты продолжают функционировать и вновь образовываться, используя вещества из разрушенных структур. Из этого четко видна ошибочность опасения «тепловой смерти Земли и Вселенной».

К сожалению, в современных работах по эволюции ВНТ приписывают роль закона ее направляющего. Для прикрытия явной несостоятельности этого, придумывают различные неестественные механизмы: так, например, немецкие авторы [12] изобрели «фотонную мельницу», а в отечественной работе [13] – «принцип минимакса». В последние годы методологи науки придают в познании особо важную роль глобальному процессу самоорганизующейся природы – ее глобальной (прогрессивной) эволюции [14]. Только постнеклассическая (эволюционная) парадигма познания, учитывающая эволюционный детерминизм, позволяет объединить знания о человеке с остальной частью естествознания.

В античный период основным средством познания было визуальное наблюдение за материальными объектами окружающей природы – продуктом прогрессивной эволюции. Но достигнутые результаты, такие, например, как холонная концепция Платона, не осознаны в должной мере в познавательном отношении до настоящего времени. В соответствии с этой концепцией, выявленные на основе ЗВ, ПЭЭС и ПЭ реально идеальные свойства прогрессивной эволюции, которые уместно рассматривать как холон высшего уровня самоорганизующейся природы. Холонами низшего уровня самоорганизующейся природы является квант действия – постоянная Планка и другие физические постоянные.

Важным достижением науки в XX столетии явилось обоснование антропно-космологического принципа [15]. Он имеет несколько формулировок, которые недостаточно четко отражают его главную сущность, что вызвало у методологов науки и физиков-теоретиков настороженное к нему отношение. Основная сущность этого принципа телеологична: на самом раннем этапе прогрессивной эволюции – появлении микрочастиц, характеризуемых физическими константами, как бы было предусмотрено появление человека-наблюдателя. Понять эту сущность можно только исходя из прогрессивной эволюции, следствием которой представляется этот принцип.

Мы сделали попытку дать антропокосмологическому принципу такую формулировку, из которой была бы очевидной его научная обоснованность. На макроуровне она в следующем: любая общенаучная теория неверна, если в ней не предусмотрено появление условий для возникновения жизни и появления человека-наблюдателя. На уровне микрочастиц она определена так: при расчетном определении условий для появления жизни в возникновения человека-наблюдателя, используемые в этих расчетах физические постоянные необходимо

определять с точностью не ниже 9–12 знака после запятой. Обе эти формулировки отражают объективную реальность, что удовлетворяет требованиям научной доказанности, в данном случае, антропно-космологического принципа [16]. Его уместно рассматривать как прямое следствие прогрессивной эволюции и уровень ее прецизионности.

Этот принцип для социологии и антропологии в целом имеет такое же значение, как закон гравитации для физики и техники. Он – исток теоретизации антропологии и устойчивого развития человеческого общества, как неотделимой части прогрессивно эволюционирующей не мыслящей природы. Осознание сущности прогрессивной эволюции на Земле (в закрытой по обмену веществ термодинамической системе), как периодическое прохождение веществ через два принципиально различных состояния: самоорганизованное (неравновесное) и равновесное (хаотическое), позволяет четко определить роль ВНТ в эволюции как утилизатора структур объектов, вышедших из самоорганизованного состояния. Это подтверждает объективность существования ЗВ, ПЭЭС и ПЭ, а также направляющую роль ЗВ в процессе прогрессивной эволюции всей самоорганизующейся природы. Исходя из свойств прогрессивной эволюции, ее самопроизвольной устремленности к экономии сущностей (энергии, вещества, информации) и антропокосмологического принципа, представляется возможным ускорить выявление сущности человека мыслящего, его роли в филогенезе всей природы.

На современном уровне познания можно утверждать, что развитие человеческого общества должно быть согласовано с развитием немыслящей части природы. История земных цивилизаций свидетельствует, что их развитие, в основном, направлялось религиозными учениями или было произвольным.

В настоящее время происходит «глобальное развитие», осуществляемое семью развитыми странами под эгидой США. Численность населения этих стран составляет примерно 1 млрд. С позиций рассматриваемых научных инноваций и антропокосмологического принципа, современное глобальное развитие представляется явной милитаризацией остальных государств, население которых примерно в 6 раз больше населения милитаризаторов. Еще в 2004 г., на основе положений синергетики и информатики, в работе [17] убедительно доказано, что глобальное развитие «семерки» является осуществлением теории «золотого миллиарда». Цель этой глобализации – оставить на Земле 1 млрд жителей для их комфортного проживания. Подобные доказательства содержатся в работах проф. В. Т. Сергованцева [18] и С. Г. Карамурзы [19].

В 1977 г. один из авторов этой статьи, убедившись в ошибочности распространения приложения ВНТ к самоорганизующимся природным системам, начал разрабатывать эксергетическую теорию урожая, которая была осуществлена к 2007 г. [2, 20]. Она позволяет создавать компьютерные системы энерго-, ресурсосберегающей оптимизации производства продукции растениеводства [2, 20], имеющие международный приоритет.

Дополнение общепризнанных положений фундаментальной науки ЗВ, ПЭЭС и ПЭ позволило создать естественнонаучные основы всеединства знаний без привлечения религиозных положений. На их основе решены столетние проблемы науки, обусловленные классической термодинамикой, логически объединены современные теории физики и знания биологии, выявлены реально идеальные свойства прогрессивной эволюции, обоснована естественнонаучная доказанность антропокосмологического принципа. Этот принцип представляется истоком теоретизации социологии и антропологии в целом, а также теоретической основой социальной справедливости и устойчивого развития человеческого общества и немыслящей природы. Показано, что на основе ЗВ можно решить глобальные проблемы современности: энергетическую, продовольственную, экологическую [21].

Дополнение общепризнанных положений науки ЗВ, ПЭЭС и ПЭ позволяет создать естественнонаучные основы всеединства знаний без привлечения религиозных учений. Использование этих научных инноваций ускоряет развитие технологий и технических средств от биотехнологий до информационно-коммуникационных технологий в современной политике. Эти положения (ЗВ, ПЭЭС и ПЭ) использованы в первом учебнике по сельскохозяйственной биотехнологии [22] и в программе. «Информационно-коммуникационные технологии в современной политике» для аттестации научно-педагогических работников ВУЗов учебно-методическим центром Российской академии государственной службы при Президенте РФ (РАГС) [23]. Основы всеединства знаний позволят концептуально, логически формализовать эмпирические знания, соединить их с общей системой науки.

## Список литературы

1. Тимирязев К. А. Избранные сочинения в 4 т. / К. А. Тимирязев. Т. 1. – М. : ОГИЗ–СЕЛЬХОЗГИЗ, 1949. – 695 с.

2. Свентицкий И. И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И. И. Свентицкий. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 468 с.

3. Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 3 / А. Эйнштейн. – М. : Наука, 1966. – 611 с.

4. Свентицкий И. И. Определение свободной энергии на входе в растения / И. И. Свентицкий // Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universitet zu Berlin. Math-Nat. R., V. XXXIII, 1984, N 4, s. 330–331.

5. ОСТ 60.689.027–74. Фотосинтетически эффективные источники излучения. – М. : Минэлектротехпром СССР, 1974.

6. ОСТ 46.140–83 Минсельхоз СССР. Излучение оптическое. Оценка фотосинтезной эффективности. Термины и определения. – М. : МСХ СССР, 1983.

7. Deutsche normen DIN/5031,Teil 10. Strahlungs physic in optischen Bericht und Lichttechnik. Grossen, Formel- und Kurzzeichen fur photobiologisch wirksame Strahlung. – Berlin, 1979.

8. Стребков Д. С. «Оборачивание метода» в энергетике и физике // Наука: от методологии к онтологии / Д. С. Стребков, И. И. Свентицкий, А. И. Некрасов, Е. О. Алхазова. – М. : Институт философии РАН, 2009. – С. 98–122.

9. Свентицкий И. И. Идеальность прогрессивной эволюции и ее теологическое отражение в познании / И. И. Свентицкий, Е. О. Алхазова // Методология науки и антропология. – М. : ИФ РАН, 2012. – С. 103–111.

10. Дельвич К. Круговорот азота / К. Дельвич // Биосфера. – М. : Мир, 1972. – С. 105–119.

11. Деви Э. Круговорот минеральных веществ / Э. Деви // Биосфера. – М. : Мир, 1972. – С. 120–138.

12. Эбелинг В. Физика процессов эволюции / Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.

13. Хайтун С. Д. Феномен человека на фоне универсальной эволюции / С. Д. Хайтун. – Изд 2-е. – М. : ЛИБРОКОМ, 2009. – 336 с.

14. Степин В. С. Философия науки. Общие проблемы : учеб. для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук / В. С. Степин. – М. : Гардарики, 2006. – 384 с.

15. Barrow J. D., Tipler F. J. The Anthropic Cosmological Principle. – Oxford, 1986.

16. Kasumov N. The anthropic principle as consequence of progressive evolution and level of its precision / N. Kasumov, I. Sventitsky, V. Mudrik // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2013. – № 3. – P. 108–112.

17. Чернавский Д. С. Проблема целеполагания и идеологическое единство России / Чернавский Д. С., Чернавская Н. М. // Стратегии динамического развития России: единство самоорганизации и управления. Т. 1. – М., 2004. – С. 87–112.

18. Сергованцев В. Т. Глобалистика: глобальное управление. [Электронный ресурс] : http: //www.viapi.ru/publication/full/lttail.php? IBLOCK_ID=45&

19. Карамурза С. Г. Золотой миллиард. [Электронный ресурс]: http: // ru.wikipedia.org/wiki/Золотой миллиард.

20. Эксергетические основы урожая / Д. С. Стребков, И. И. Свентицкий, Е. О. Алхазова, А. Н. Обыночный. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 4. – С. 57–61.

21 . Sventitskij I. I. Bioenergetic trends – a key to solving energy, food and ecological problems / I. Sventitskij // Beyond energy crisis opportunity and chalendge. – Pergamon press, Oxford and New York, 1981. – P. 1863–1870.

22. Шевелуха В. С. Сельскохозяйственная биотехнология / В. С. Шевелуха. – М. : Высшая школа, 2008. – 710 с.

23. Энергетическая экстремальность самоорганизации – исток решения проблем человеческих. Ч. 2 // Учебно-методический центр РАГС по аттестации научно-педагогических работников ВУЗов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http//ido-rags.ru/?page_id=1095.

## ДРУГИЙ ПОЧАТОК ТЕРМОДИНАМІКИ І ЗАКОН ВИЖИВАННЯ – ПРИРОДНИЧО-НАУКОВА ОСНОВА САМООРГАНІЗАЦІЇ ТА ВСЕЄДНОСТІ ЗНАНЬ

***І. І. Свєнтицький, В. А. Корольов, А. Г. Свєнтицький***

**Анотація.** *Сутність закону виживання (ЗВ) протилежна другому початку термодинаміки (ДПТ). ЗВ і ДПТ нерозривно поєднані як дзеркальна динамічна симетрія в загальний природний принцип*

*енергетичної екстремальності самоорганізації та прогресивної еволюції (ПЕЕС і ПЕ). Виявлено природну аксіому, яка відображує одночасно ЗВ, ВНТ, ПЕЕС і ПЕ. На цій основі вирішено всі проблеми науки, зумовлені ВНТ; обґрунтовано реально ідеальні властивості прогресивної еволюції: доведено достовірність антропного принципу як її наслідок. Показано, що антропний принцип для соціології і антропології такий самий природний закон, як закон гравітації для фізики і техніки. Обґрунтовано методологію ексергетичного аналізу біоперетворень енергії випромінювання рослинами, теорію та систему оптимізації агротехнологій.*

**Ключові слова:** ***другий початок термодинаміки, закон виживання, всеєдність знань, самоорганізація***

## THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS AND THE LAW OF SURVIVAL-SCIENCE BASIS OF SELF-ORGANIZATION AND THE UNITY OF KNOWLEDGE

***I. Sventsitskiy, V. Korolev, A. Sventsitskiy***

**Annotation.** *This framework consists of the law of survival (LS) the essence of which is the opposite of the essence of the second laws of thermodynamics (SLTD). LS and SLTD are inextricably merged into form mirrored dynamic symmetry in general natural principle energy extreme self-organization and progressive evolution (PEESO and PE). Identified natural axiom, displaying at the same time PEESO and PE, PEESO and PE. On this basis: issue resolved all science arising from PASSING; justification really ideal properties of progressive evolution: proven reliability of the anthropic principle as its consequence. It is shown that the anthropic principle for Sociology and anthropology the same natural law as the law of gravitation for physics and technology. Exergy biotransformation analysis methodology of radiation energy plants, theory and system optimization of agro-technologies are grounded:*

**Key words:** ***second law of thermodynamics, the law of survival, unity of knowledge, self-organization***

УДК 378.147

# ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРАКТИЧНОГО НАВЧАННЯ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ-ЕНЕРГЕТИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

***С. В. Гайдукевич, старший викладач***
***Л. С. Колодійчук, кандидат педагогічних наук***
***М. В. Потапенко, Н. П. Семенова, старші викладачі***
***ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"***

**Анотація.** *Обґрунтовано деякі аспекти вдосконалення практичної складової навчального процесу майбутніх фахівців технічного профілю на прикладі навчальної дисципліни «Електротехнології в АПК» зі спеціальності «Енергетика сільськогосподарського виробництва».*

**Ключові слова:** ***практична складова навчального процесу, лабораторний стенд, мікропроцесорна техніка***

Нині проблема підготовки майбутніх фахівців енергетичного профілю у вищих аграрних закладах потребує першочергового розв'язання і полягає у пошуку шляхів удосконалення інженерної освіти, які повинні відповідати всім вимогам XXI століття.

Це пов'язано з тим, що від рівня інженерної освіти залежить характер загального виробництва та добробут населення країни. Адже розвиток системи освіти і ринку праці потребує нових умов для їх об'єднання, сумісного ефективного функціонування й накопичення людського та інноваційного потенціалу країни, що спонукає до інноваційного розвитку галузі.

Нові виклики потребують адекватної модернізації освітньої системи як провідного чинника соціально-культурного відтворення, успішної життєдіяльності людини та її подальшого вдосконалення [1]. Зокрема, удосконалення змісту навчального процесу та акцентування на практичних аспектах як пріоритетних напрямах освітньої діяльності.

При формуванні змісту та організації діяльності з підготовки майбутніх інженерів-енергетиків сільськогосподарського виробництва основним моментом є врахування сучасних вимог до процесу їх навчання у ВНЗ. Основні аспекти підготовки інженерів знайшли відбиття в працях С. Ф. Артюха, О. Е. Коваленко, О. Т. Маленка, Н. Г. Ничкало, А. Т. Ашерова, Н. О. Брюханової, Г. І. Канюка, М. І. Лазарєва та ін.

Проте, системний аналіз наукових джерел із означеної проблеми свідчить, що проведені дослідження не вичерпують повноти обсягу актуальності й практичної значущості проблем підготовки майбутнього інженера до професійної діяльності під час навчання у ВНЗ. Це пов'язано з необхідністю вирішення низки суперечностей, які мають місце у підготовці майбутніх фахівців і стосується питань підвищення якості інженерів нової генерації.

*© С. В. Гайдукевич, Л. С. Колодійчук, М. В. Потапенко, Н. П. Семенова, 2016*

**Мета досліджень –** обґрунтувати деякі аспекти вдосконалення змістової складової навчального процесу майбутніх інженерів-енергетиків сільськогосподарського виробництва на прикладі навчальної дисципліни «Електротехнології в АПК», де визначальним буде практичне навчання.

**Матеріали та методика досліджень.** Відомо, що найважливішою складовою прискорення науково-технічного прогресу є широке впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами на основі мікропроцесорної техніки. На базі мікроЕОМ і мікропроцесорів створюються технологічні комплекси, сільськогосподарські машини та обладнання, вимірювальні, регулюючі та інформаційні системи, здійснюється проектно-конструкторська робота й наукові дослідження.

Стрімкий технічний прогрес, у тому числі в агропромисловому комплексі, вимагає все більш ретельного контролю за виробничими процесами, зокрема, отримання точних даних вимірювання. Для здійснення такого контролю застосовується спеціалізована комп'ютерна техніка, різноманітні системи на базі мікропроцесорів.

Практика показує, що технічні системи на базі мікропроцесорної техніки мають застосування в різних галузях аграрного виробництва, зокрема в парниках і теплицях, електроводонагрівальних установках, вентиляційному устаткуванні, електричних печах опору, електропобутових пристроях тощо. При цьому основним застосуванням мікропроцесорних пристроїв є виконання таких функцій, як передача інформації, управління процесами й перетворення отриманої інформації та ін.

В умовах кризи та недостатнього фінансування вищих аграрних навчальних закладів факультет «Енергетика, автоматика та енергозбереження» вирішує задачі вдосконалення практичної складової навчального процесу шляхом модернізації навчально-технічної бази, зокрема лабораторних стендів. Водночас, з'являється можливість заміни релейно-контактної системи керування на сучасні електронні пристрої, зокрема на базі програмованих контролерів.

**Результати досліджень**. Вирішення даного питання розпочалося з вибору системи керування. Адже існує безліч мікроконтролерів і мікропроцесорних пристроїв, які призначені для програмування різних апаратних засобів. Усі ці пристрої мають схожу функціональність і покликані звільнити користувача від необхідності заглиблюватися в дрібні деталі внутрішньої будови мікроконтролерів, надавши йому простий і зручний інтерфейс для їх програмування. Проте наш вибір зупинився на *Arduino Leonardo*, які побудовані на базі мікроконтролерів *Atmel ATmega8* і *ATmega168*, що значно спрощує процес роботи з мікроконтролерами.

Під час дослідження ми виявили низку переваг даного пристрою для користувачів, ключовими з яких є:

1. Низька вартість. Порівняно зі схожими апаратними платформами, плати Arduino мають відносно низьку вартість.

2. Кросплатформеність. Програмне забезпечення *Arduino* працює на операційних системах *Windows, Macintosh OSX* і *Linux*, тоді як більшість подібних систем орієнтовані на роботу тільки у *Windows*.

3. Просте і зручне середовище програмування. Середовище програмування Arduino зрозуміле й просте для початківців, але при цьому достатньо гнучке для просунутих користувачів. Воно засноване на середовищі програмування *Processing*, що може бути зручним для викладачів. Завдяки цьому, студенти, які вивчають програмування в середовищі *Processing*, зможуть легко освоїти *Arduino*.

4. Програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, що дає програмістам змогу змінювати й доповнювати його. Можливості мови Arduino можна також розширювати за допомогою C++ бібліотек. Завдяки тому, що він заснований на мові *AVR C*, є можливість легко перейти з мови *Arduino на C++* або вставляти ділянки *AVR C*-коду безпосередньо в програми *Arduino*.

З'ясовано відмінності *Leonardo* від усіх попередніх плат, принцип якої полягає в тому, що його *USB*-контролер вбудований безпосередньо в мікроконтролер *ATmega32U4* і виключає необхідність в додатковому програматорі. Завдяки цьому, при приєднанні до комп'ютера Leonardo може визначатися не тільки як віртуальний (*CDC*) *COM*-порт, але і як звичайна миша або клавіатура. Крім того, така архітектура впливає і на поведінку плати. Для запуску *Arduino Leonardo* достатньо просто подати живлення від *AC* / *DC*-адаптера чи батареї, або підключити його до комп'ютера за допомогою *USB*-кабелю.

Для взаємодії між людиною і мікроконтролером можуть підключатися різні аналогові й цифрові датчики, які реєструють параметри навколишнього середовища та передають дані в мікроконтролер. Він опрацьовує вхідні дані, а програма видає нові дані як аналогові або цифрові значення. У результаті цього, відкриваються нові можливості для досліджень різних процесів, у тому числі теплових. Адже багато функцій, а також технічні особливості мікропроцесорів (МП) такі, що більшість реалізованих на МП завдань просто неможливо виконати звичайними комп'ютерами.

Основна відмінність програмування мікропроцесорних систем (МПС) від класичного полягає в тому, що, крім математичних знань та знання мов програмування, необхідно знати апаратну частину об'єкта, його фізичні або електричні властивості. При цьому програмування МПС є не менш складним етапом проектування, ніж написання програмного забезпечення для комп'ютера, а з урахуванням роботи з технологічними процесами, ця діяльність наближена до виробничої.

Наступний етап полягав у реконструкції лабораторних стендів на прикладі регулювання температури приміщення за допомогою електрокалориферної установки типу СФОЦ (див. рисунок).

Під час проведеного дослідження встановлено, що сучасний лабораторний стенд повинен:

- відповідати тенденціям розвитку техніки;
- бути універсальним, тобто охоплювати широкий спектр лабораторних робіт із конкретної навчальної дисципліни;

- мати достатню технічну базу для проведення не лише лабораторних практикумів, але й проведення науково-дослідних експериментів;

- відповідати можливостям доповнення та нарощування, за необхідності, новою елементною базою тощо.

Ми запропонували рішення, яке давало змогу одночасно моніторити роботу системи керування електрокалорифером, реалізовану на класичній релейно-контактній базі керування та систему, реалізовану на сучасному мікропроцесорному обладнанні. Зокрема, проводити необхідні налаштування складових стенда та відстежувати зміну електротехнічних параметрів на екрані монітора. І, як наслідок, поглиблення практичних знань та вмінь із навчальної дисципліни.

**а** **б**

**Зовнішній вигляд панелі керування лабораторного стенду дослідження електрокалориферної установки типу СФОЦ:** а – схема керування електрокалорифером на релейно-контактній базі; б – схема керування на мікропроцесорному обладнанні

Проектування практичної складової навчального процесу завершувалося лабораторним практикумом із навчальної дисципліни «Електротехнології в АПК», який базується на використанні сучасної лабораторної бази і включає чотири етапи. Зокрема, перший етап лабораторної роботи полягав у розрахунку електричних і теплових показників; другий – у створенні алгоритму програми і її реалізації; третій – включав перевірку правильності написання програми й налаштування параметрів усіх елементів програми та подальше завантаження з персонального комп'ютера (ПК) на мікропроцесорну плату *Arduino Leonardo*; четвертий етап – зняття реальних енергетичних параметрів систем та їх порівняння.

## Висновки

Наші дослідження показали, що спроектований лабораторний стенд може мати застосування у навчальному процесі із дисципліни «Електротехнології в АПК» зі спеціальності «Енергетика сільськогосподарського виробництва» для порівняльного аналізу релейно-контактних і мікропроцесорних автоматичних засобів керування на базі платформи *Arduino Leonardo*. Використання такого стенда сприяло

поглибленню знань студентів із дослідження основних електротехнічних параметрів електрокалориферних установок та формування професійних компетентностей майбутніх фахівців технічного профілю.

### Список літератури

1. Омельченко Л. М. Проблема формування професійної компетентності майбутніх фахівців енергетичного профілю у сучасних умовах / Л. М. Омельченко, О. М. Керницький // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 3/2010 (62), ч. 1. – 191 с.

2. Коваленко О. Е. Методичні основи технології навчання: теоретико-методичний та практичний аспект викладання дисциплін електроенергетичного циклу : монографія / О. Е. Коваленко. – Х. : Основа, 1996. – 184 с.

3. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования / М. З. Згуровский. – К. : Вища шк., 1990. – 351 с.

4. Єрмілов С. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: проблемні питання змісту та реалізації / С. Єрмілов // Дзеркало тижня. – 2006. – № 20 (599).

5. Зєніна-Біліченко А. С. Модернізація системи підготовки фахівців з вищою освітою в умовах інноваційного розвитку України / А. С. Зєніна-Біліченко, Д. А. Дашевська // Ефективна економіка. – 2013. – № 4.

6. Грищук Ю. С. Мікропроцесорні пристрої : навч. посіб. / Ю. С. Грищук. – Х. : ХПІ, 2007. – 280 с.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-ЭНЕРГЕТИКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

***С. В. Гайдукевич, Л. С. Колодийчук, М. В. Потапенко, Н. П. Семёнова***

**Аннотация.** *Обоснованы некоторые аспекты усовершенствования практической составляющей учебного процесса будущих специалистов технического профиля, на примере учебной дисциплины «Электротехнологии в АПК» по специальности «Энергетика сельскохозяйственного производства».*

**Ключевые слова:** ***практическая составляющая учебного процесса, лабораторный стенд, микропроцессорная техника***

## SOME ASPECTS OF IMPROVEMENT OF PRACTICAL STUDIES OF FUTURE ENGINEERS-POWER ENGINEERING SPECIALISTS OF AGRICULTURAL PRODUCTION

***S. Gaydukevich, L. Kolodiychuk, M. Potapenko, N. Semenova***

**Annotation.** *Grounded some aspects of improvement of practical constituent of educational process of future specialists of technical type, on the example of educational discipline of «Elektrotekhnology in AIC» from speciality of engineering «Specialist of agricultural production power».*

**Key words:** ***practical constituent of educational process, laboratory stand, microprocessor technique***

УДК 621.3:636.5

# УПРАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИЕЙ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ ПРИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

***Ю. Х. Шогенов, доктор технических наук***
***ФГБУ «Российская академия наук», г. Москва, Россия***
***А. В. Дубровин, доктор технических наук***
***ГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия***
***e-mail: dubrovin1953@mail.ru***

**Аннотация.** *Внешнее управление градиентами биоэлектрических потенциалов (БЭП) растения приводит к расширению границ и повышению адапта-ционных возможностей растений, что снижает потери продукционного процесса при действии природно-климатических и других факторов стресса. Расчётная продуктивность растений при экономически оптимальной температуре окружающей среды теплицы, в условиях внешнего электрофизического воздействия на растения, позволяет вычислить инновационный прирост прибыли.*

**Ключевые слова:** ***градиенты биоэлектрических потенциалов, автоматизация технологических процессов, экономически оптимальное управление, технико-экономический параметр, низкоэнергетические электрические потенциалы***

Значительная часть физиологических процессов, происходящих в растениях, связана с электрическими явлениями. Благодаря различиям в функциональной жизнедеятельности тканей и органов, возникают градиенты биоэлектрических потенциалов (БЭП), физиологическое значение которых в настоящее время интенсивно изучается. Накоплен определенный экспериментальный материал, свидетельствующий об участии БЭП в морфогенетических процессах, перемещении веществ, электротонической передаче раздражений и регуляции процессов жизнедеятельности растений [1–3]. По принципу обратной связи, вероятно, можно влиять на эти процессы путем изменения естественных уровней градиентов БЭП внешними низкоэнергетическими электрическими потенциалами (НЭП) [4–6].

**Цель исследований** – управление адаптацией овощных культур низкоэнергетическими электрическими потенциалами.

**Материалы и методика исследований.** Для достижения поставленной цели вычисляется оптимальная, из условия равенства нулю

© *Ю. Х. Шогенов, А. В. Дубровин, 2016*

производной энергетических затрат на единицу продукции, температура воздуха в теплице, вычисляется оптимальная из условия равенства нулю производной от экономического критерия температура внутреннего воздуха теплицы. При этом известно управление экономичной технологией в животноводстве и птицеводстве [7,8]. Недостатками многих подобных технических решений является отсутствие возможности управления процессом выращивания растений в теплице по экономическому (хозяйственному) признаку (критерию) в условиях внешнего управления БЭП растений.

В связи с этим, решается хозяйственно-технологическая задача [9] экономически оптимального управления технологическим процессом выращивания растений в защищенном грунте в условиях внешнего электрического воздействия на градиенты БЭП растений. Точной математической модели количественной связи продуктивности растений с многочисленными функционально влияющими на неё факторами среды [10,11] в настоящее время нами не обнаружено. В литературе опубликованы работы, свидетельствующие о природе и чувствительности взаимосвязи такого критерия функционального и интегрального показателя состояния растений, как градиенты БЭП растений с характеристиками внешних факторов [2,12,13].

**Результаты исследований.** На рис. 1 представлен результат воздействия на стебель растения градиентов внешних низкоэнергетических электрических потенциалов (НЭП) биологически-детерминированного уровня $БЭП_{иск}^{макс}$, при котором наблюдается максимальное повышение продуктивности растений, и который по значению больше естественного в условиях среды обитания, близких к продуктивно наилучшим (к технологически оптимальным) $БЭП_{ест}^{макс}$. В показанном примере значение $БЭП_{опт3}$, т.е. $БЭП_{иск}^{макс} > БЭП_{иск} = БЭП_{ест}^{макс} = БЭП_{опт3,}$ В, – приводит к увеличению продуктивности до величины $Пр_{иск}$ ($БЭП_{иск}^{макс}$). Прибавка продуктивности растений за счёт воздействия на них низкоэнергетическими электрическими потенциалами (НЭП) весьма существенна, или близка (как минимум) к 20 % в близких к идеальным условиям среды обитания растений.

Это показано на рис. 1 самыми верхними тремя кривыми линиями продуктивности $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$. При этом, в уже напряженном электрическом режиме $БЭП_{иск}^{макс}$ и в почти идеальных условиях среды, приросты продуктивности в теоретически наилучшей совокупности условий теплицы являются наивысшими для растения данного вида и возраста и равны друг другу: $+\Delta У_{иск}^{макс} = +\Delta Ф_{иск}^{макс} = +\Delta Х_{иск}^{макс}$. Чем более условия обитания отличаются от близких к идеальным, тем меньшими будут при $БЭП_{иск}^{макс}$ соответствующие приросты продуктивности по сравнению с вариантами при $БЭП_{ест}^{макс}$. Это также показано уменьшающимися соответствующими приростами продуктивности $+\Delta У_{иск}^{макс} = +\Delta Ф_{иск}^{макс} = +\Delta Х_{иск}^{макс} > +\Delta У_{иск}^{мин} > +\Delta Ф_{иск}^{мин} > +\Delta Х_{иск}^{мин}$. Чем сильнее условия обитания растений отличаются от идеальных значений, тем сильнее максимальные уровни градиентов БЭП способствуют

повышению продуктивности растений в сходных условиях без дополнительного воздействия НЭП, т.е. при $БЭП_{иск}$ = 0 В. Повышается резистентность (сопротивляемость) растения к отрицательному воздействию на него неблагоприятных факторов окружающей среды.

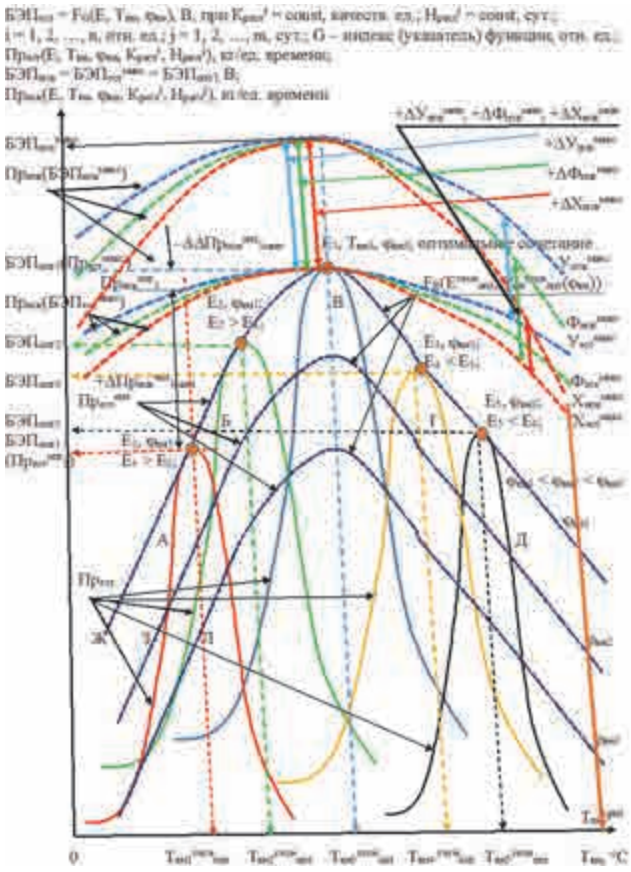


**Рис. 1. Результат воздействия на стебель растения градиентов внешних низкоэнергетических электрических потенциалов биологически-детерминированного уровня $БЭП_{иск}^{макс}$, при котором наблюдается максимальное повышение продуктивности растений и который по значению больше естественного в условиях среды обитания, близких к продуктивно наилучшим (к технологически оптимальным) $БЭП_{ест}^{макс}$**

Однако, при $БЭП_{иск}^{макс}$ имеет место и дополнительное снижение продуктивности растений по сравнению с её соответствующим значением в данных условиях окружающей среды при оптимальных уровнях градиентов БЭП, т.е. при $БЭП_{ест}^{макс}$ (кривые линии $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$ по сравнению с $У_{ест}^{макс}$, $Ф_{ест}^{макс}$, $Х_{ест}^{макс}$). При воздействии НЭП максимального уровня на градиенты $БЭП_{иск}^{макс}$ растение испытывает, наряду с неблагоприятными факторами среды, чрезмерные перегрузки по сравнению со случаем $БЭП_{ест}^{макс}$. Например, при температуре внутреннего воздуха, близкой к $Т_{вн}^{крит}$, верхние линии на рис. 1 пересекаются и меняются местами по положениям. Это означает, что при повышенной электрической нагрузке на растение, по сравнению с

естественной электрической нагрузкой, его продуктивность и резистентность (сопротивляемость) падают из-за чрезмерного его внутреннего физиологического напряжения, да ещё и неблагоприятных условиях среды обитания. Также ведёт себя растение, снижая свои возможности при подаче на него $БЭП_{иск} > БЭП_{иск}^{макс}$, т.е. при чрезмерных, и потому нежелательных, уровнях искусственных БЭП. Система верхних трёх выпуклых парабол сужается по оси абсцисс и снижается по оси ординат, не меняя технологически или экономически оптимального своего положения по значению $Т_{вн3}^{техн}{}_{опт.}$

На рис. 2 приведена иллюстрация экономичного выращивания растений в теплице с внешним воздействием НЭПна градиенты БЭП растений: $Т_{вн}$ – температура внутреннего воздуха в теплице, °С; $Т_{нар}$ – температура наружного воздуха, °С; БЭП – биологический электрический потенциал растения по высоте его стебля, от земли до его вершины, В; $БЭП_{ест}$ – естественные уровни БЭП растений в данных условиях окружающей среды, В; $+\Delta БЭП_{иск}$ – приращение градиентов БЭП внешними НЭП, В; Пр – продуктивность растений, кг/ед. времени; $+\Delta Пр_{иск}$ – приращение продуктивности растений за счёт действия искусственной величины «$+\Delta БЭП_{иск}$», кг/ед. времени; $Ц_р$ – стоимость произведённой растительной продукции в ценах её реализации, руб./ед. времени; $+\Delta Ц_{р\ иск}$ прирост стоимости произведённой растительной продукции в ценах её реализации за счёт действия искусственной величины «$+\Delta БЭП_{иск}$», руб./ед. времени; $Р_{обогр}$ – мощность обогрева теплицы, кВт; $З_{эн}$ – затраты энергии на обогрев теплицы, кВт-ч; С – стоимость затрат только энергии на общий обогрев теплицы, руб/ед. времени; $П = Ц_р - С$ – расчётная прибыль с учётом стоимости затрат только энергии на общий обогрев теплицы, руб./ед. времени; $+\Delta П$ – прирост расчётной прибыли с учётом затрат только энергии на общий обогрев теплицы за счёт действия искусственной величины «$+\Delta БЭП_{иск}$», руб./ед. времени; $Т_{вн}^{техн}{}_{опт}$ – технологически наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей продуктивности растений), °С; $Т_{вн}^{экон}{}_{опт1}\big|_{Тнар1}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания растений) при более низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$, °С; $Т_{вн}^{экон}{}_{опт2}\big|_{Тнар2}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания растений) при менее низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар2}$, °С; $Т_{нар1} < Т_{нар2}$, °С.

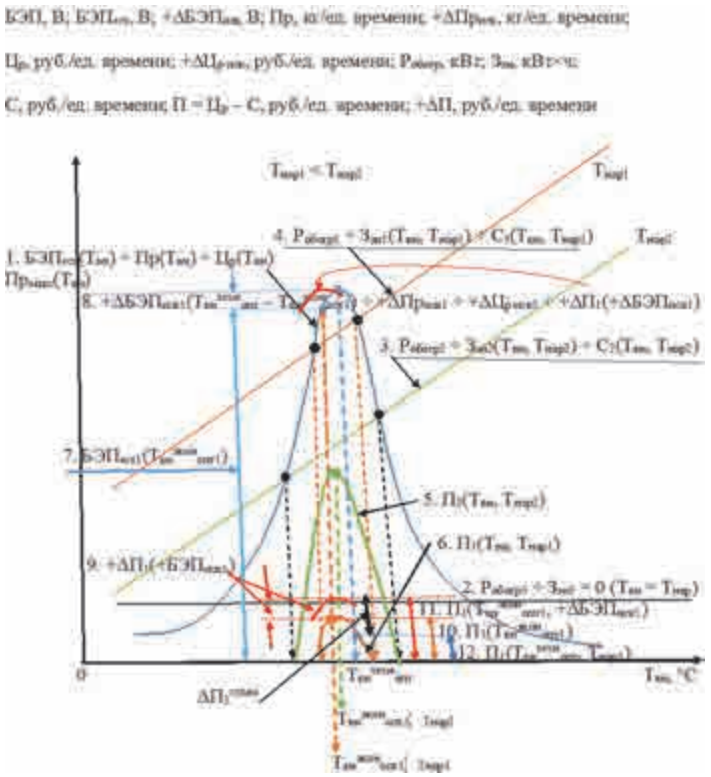


**Рис. 2. Иллюстрация экономической оптимизации в теплице с искусственным электрическим воздействием на градиенты БЭП растений**

С ростом температуры внутреннего воздуха $Т_{вн}$ сначала растёт, а затем снижаются естественные уровни градиентов БЭП растений $БЭП_{ест}$ ($Т_{вн}$). Существует такое значение температуры среды (воздуха теплицы) в указанном диапазоне температур воздуха, при всех прочих равных воздействиях, при котором биологические процессы роста растения наиболее активны и соответствующий им БЭП растения имеет экстремальное значение [7]. Уровни градиентов БЭП растения могут характеризовать продуктивность растения, естественно, с определённым коэффициентом пересчёта (пропорциональности). Подача на стебель растения максимального электрического потенциала $БЭП_{иск}^{макс}$, при котором повышение продуктивности растений максимально, и который по значению больше естественного в условиях среды обитания (рис. 1), близких к наилучшим (к технологически оптимальным) $БЭП_{ест}^{макс}$, в показанном примере значению $БЭП_{опт3}$, т.е. $БЭП_{иск}^{макс} > БЭП_{иск} = БЭП_{ест}^{макс} = БЭП_{опт3}$, В, – приводит к увеличению продуктивности до величины $Пр_{иск}$ ($БЭП_{иск}^{макс}$). Это показано на рис. 1 самыми верхними тремя кривыми линиями продуктивности $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$.

При этом в уже напряженном электрическом режиме $БЭП_{иск}^{макс}$ и в почти идеальных условиях среды приросты продуктивности в теоретически наилучшей совокупности условий теплицы являются биологически детерминированными для растения данного вида и возраста и равны друг другу: $+ΔУ_{иск}^{макс} = +ΔФ_{иск}^{макс} = +ΔХ_{иск}^{макс}$. Чем

сильнее условия среды обитания отличаются от оптимальных, тем менее при $БЭП_{иск}^{макс}$ соответствующие приросты продуктивности по сравнению с вариантами при $БЭП_{ест}^{макс}$. Это показано на фигуре 1 уменьшающимися соответствующими приростами продуктивности $+\Delta У_{иск}^{макс} = +\Delta Ф_{иск}^{макс} = +\Delta Х_{иск}^{макс} > +\Delta У_{иск}^{мин} > +\Delta Ф_{иск}^{мин} > +\Delta Х_{иск}^{мин}$. Чем более условия среды обитания растений отличаются от близких к идеальным, тем сильнее максимальный электрический потенциал повышает продуктивность растений в сходных условиях без искусственного электрофизического воздействия, т.е. при $БЭП_{иск} = 0$ В. Повышается резистентность (сопротивляемость) растения к отрицательному воздействию на него неблагоприятных факторов среды обитания.

Однако, при $БЭП_{иск}^{макс}$ имеет место и дополнительное снижение продуктивности растений, по сравнению с её соответствующим значением в данных условиях окружающей среды при воздействии наилучшего значения естественного потенциала, т.е. при $БЭП_{ест}^{макс}$ (кривые линии $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$ по сравнению с $У_{ест}^{макс}$, $Ф_{ест}^{макс}$, $Х_{ест}^{макс}$). Это снижение продуктивности также вполне естественно, поскольку при наивысшем электрофизическом воздействии $БЭП_{иск}^{макс}$ растение испытывает, наряду с неблагоприятными факторами среды, чрезмерные перегрузки по сравнению со случаем $БЭП_{ест}^{макс}$.

Например, при температуре внутреннего воздуха, близкой к $Т_{вн}^{крит}$, линии продуктивности цвета на рис. 1 пересекаются и меняются местами по положениям. Это означает, что при повышенной электрической нагрузке на растение, по сравнению с естественной электрической нагрузкой на растение, его продуктивность и резистентность (сопротивляемость) падают из-за чрезмерного его внутреннего физиологического напряжения, да ещё и неблагоприятных условий среды обитания. Также ведёт себя растение, снижая свои возможности при подаче на него $БЭП_{иск} > БЭП_{иск}^{макс}$, т.е. при чрезмерных, и потому совершенно не допустимых, уровнях НЭП.

Система верхних трёх выпуклых парабол сужается по оси абсцисс и снижается по оси ординат, не меняя технологически или экономически оптимального своего положения по значению $Т_{вн3}^{техн}{}_{опт}$. Чем более неблагоприятным является воздействие параметра среды на растение, тем более падает продуктивность растения (переход с кривой линии $У_{ест}^{макс}$ на линию $Ф_{ест}^{макс}$, с линии $Ф_{ест}^{макс}$ на линию $Х_{ест}^{макс}$). Например, если температура внутреннего воздуха в теплице снизилась со значения $Т_{вн3}^{техн}{}_{опт}$ до значения $Т_{вн1}^{техн}{}_{опт}$, то продуктивность упала от $Пр_{ест}^{макс}$, как минимум, до $Пр_{ест}^{опт}{}_{1}$. Это произойдёт, если компенсирующие управления другими управляемыми параметрами привели к максимально достижимой продуктивности в новых условиях с пониженной температурой воздуха.

Если же управление другими параметрами среды не происходит при снижении температуры, то продуктивность упадёт ещё больше. Таким образом, внешнее воздействие на БЭП растения в приведённом примере приводит к повышению продуктивности на величину $+\Delta Пр_{иск}^{опт}{}_{1мин}$ и более. Продуктивность растений $Пр_{иск}^{опт}{}_{1}$, достигаемая с помощью

электрофизического воздействия на растения в этих неблагоприятных условиях, снижается по сравнению с генетически возможной ($Пр_{ест}^{макс}$) всего лишь на величину $–ΔΔПр_{иск}^{опт}{}_{1мин}$, а не на гораздо большую величину ($Пр_{ест}^{макс}$) – ($Пр_{ест}^{опт}{}_{1}$) = $+ΔПр_{иск}^{опт}{}_{1мин}$ + $|–ΔΔПр_{иск}^{опт}{}_{1мин}|$ = $ΔПр_{иск}^{опт}{}_{1мин}+ΔΔПр_{иск}^{опт}{}_{1мин}$.

Далее необходимо умножить полученную продуктивность растений в условиях действия НЭП при экономически оптимальной температуре внутреннего воздуха в теплице на региональную рыночную удельную цену выращиваемых культур и получить искомую стоимость продукции в ценах её реализации. Соответственно, вычисляется инновационный прирост прибыли 9. $+ΔП_1(+БЭП_{иск1})$, показывающий экономическую эффективность процесса только за счёт электрофизического воздействия на растения (рис. 1). Вместе с прибылью, за счёт только экономически наилучшего управления режимом обогрева теплицы 10. $П_1(Т_{вн}^{экон}{}_{опт1})$, этот инновационный прирост прибыли в сумме даёт результирующую прибыль 11. $П_1(Т_{вн}^{экон}{}_{опт1}, +ΔБЭП_{иск1})$ (рис. 2). Точно такой же оптимум имеет температурная зависимость продуктивности растений $Пр(Т_{вн})$.

Соответствующий вид имеет температурная зависимость стоимости выращиваемой продукции в ценах её реализации $Ц_р(Т_{вн})$, равная произведению продуктивности растений и её удельной цены. Одинаковый вид этих совпадающих зависимостей на рис. 2 обозначен как 1. $БЭП_{ест}(Т_{вн}) ÷ Пр(Т_{вн}) ÷ Ц_р(Т_{вн})$. Мощность обогрева $Р_{обогр3}$ и затраты энергии на обогрев теплицы $З_{эн3}$ при равных температурах её внутреннего $Т_{вн}$ и наружного $Т_{нар}$ воздуха, при $Т_{вн} = Т_{нар}$, равны нулю. На рис. 2 линия мощности обогрева и затрат на обогрев теплицы показана не совпадающей с осью абсцисс, а для наглядности показана параллельной оси абсцисс и обозначена как 2. $Р_{обогр3} ÷ З_{эн3} = 0$ ($Т_{вн} = Т_{нар}$). Физический смысл такого варианта также существует: постоянный обогрев нужен для компенсации потерь теплоты из помещения теплицы через пол помещения теплицы.

Если температура наружного воздуха $Т_{нар2}$ ниже температуры внутреннего воздуха $Т_{вн}$, то с ростом $Т_{вн}$ растёт мощность обогрева $Р_{обогр2}$, растут затраты энергии на обогрев $З_{эн2}$, растёт стоимость затрат энергии на обогрев: 3. $Р_{обогр2} ÷ З_{эн2}(Т_{вн}, Т_{нар2}) ÷ С_2(Т_{вн}, Т_{нар2})$. Зависимость роста линейная, так как тепловые потери помещения теплицы прямо пропорционально зависят от разности указанных температур. При очень низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$, или при условии $Т_{нар1} < Т_{нар2,}$ прямая линия смещается: 4. $Р_{обогр1} ÷ З_{эн1}(Т_{вн}, Т_{нар1}) ÷ С_1(Т_{вн}, Т_{нар1})$. Для получения температурной зависимости величины прибыли растениеводства в теплице при $Т_{нар2}$ надо из температурной зависимости стоимости выращиваемой продукции в ценах её реализации $Ц_р (Т_{вн})$ вычесть температурную зависимость стоимости затрат энергии на обогрев $С_2 (Т_{вн}, Т_{нар2})$. Разность на рис. 2: 5. $П_2(Т_{вн}, Т_{нар2})$.Так же на рис. 2 получается график прибыли при $Т_{нар1}$:6. $П_1(Т_{вн}, Т_{нар1})$.

При экономически оптимальной температуре $Т_{вн}^{экон}{}_{опт1}$, соответствующей низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$, растения имеют биоэлектрический потенциал $БЭП_{ест1}$: 7. $БЭП_{ест1}(Т_{вн}^{экон}{}_{опт1})$. Если

повысить его до максимального значения ($БЭП_{ест1}$ + $ΔБЭП_{иск1}$), соответствующего режиму наивысшей продуктивности растений $Пр_{макс}$ ($Т_{вн}$), то следует ожидать достоверного повышения продуктивности практически до этого наивысшего значения. Воздействие электрическим напряжением на растение позволяет, по рис. 2, искусственным образом повысить его биоэлектрический потенциал на $+ΔБЭП_{иск1}$, продуктивность растений на $+ΔПр_{иск1}$, увеличить стоимость выращиваемой продукции на $+ΔЦ_{р\ иск1}$, соответственно повысить прибыль на $+ΔП_1$:8. $+ΔБЭП_{иск1}(Т_{вн}{}^{техн}{}_{опт} – Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1}) ÷ +ΔПр_{иск1} ÷ +ΔЦ_{р\ иск1} ÷ +ΔП_1(+ΔБЭП_{иск1})$.

Эта прибавка прибыли$+ΔП_1$ перенесена вниз по рис. 2: 9. $+ΔП_1(+БЭП_{иск1})$ для сложения с прибылью в результате экономической оптимизации режима обогрева теплицы 10. $П_1(Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1})$ при низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$. Результат суммирования 11. $П_1(Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1}, +ΔБЭП_{иск1})$ показывает максимальную прибыль тепличного растениеводства, складывающуюся из результатов экономической оптимизации режима обогрева теплицы и внешним воздействием НЭП на градиенты БЭП растений при низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$. При традиционном в сельском хозяйстве управлении по технологическому критерию, то есть, по максимальной продуктивности растений, при технологически оптимальной температуре внутреннего воздуха $Т_{вн}{}^{техн}{}_{опт}$ и при низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1}$ получается величина прибыли: 12. $П_1(Т_{вн}{}^{техн}{}_{опт}, Т_{нар1})$.

Экономический (хозяйственный) выигрыш при предлагаемом способе хозяйственно наилучшего управления, с искусственным электрофизическим воздействием на естественный БЭП растений определённого вида и возраста и при низкой температуре наружного воздуха $Т_{нар1,}$ составляет: $ΔП_1{}^{сумм} = [11.\ П_1(Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1}, +ΔБЭП_{иск1}, Т_{нар1}) – 12.\ П_1(Т_{вн}{}^{техн}{}_{опт}, Т_{нар1})]$. При этом результатом является также повышение резистентности (сопротивляемости растений ), их адаптационных возможностей в условиях действия НЭП, повышение точности управления из-за учёта температуры наружного воздуха.

При наличии математических моделей продуктивности растений данного вида и определённого возраста в естественных условиях среды обитания, и при наличии внешнего электрического воздействияе на градиенты БЭП растений,можно вычислить численные значения указанных выше величин. Затем умножить полученную продуктивность растений при экономически оптимальной температуре внутреннего воздуха в теплице на региональную рыночную удельную цену выращиваемых растений и получить искомую стоимость продукции в ценах её реализации. Соответственно, вычисляется инновационный прирост прибыли 9. $+ΔП_1(+БЭП_{иск1})$, показывающий экономическую эффективность процесса только за счёт воздействия на БЭП растения внешними НЭП (рис. 2). Вместе с прибылью, за счёт только экономически наилучшего управления режимом обогрева теплицы 10. $П_1(Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1})$, этот инновационный прирост прибыли в сумме даёт результирующую прибыль 11. $П_1(Т_{вн}{}^{экон}{}_{опт1}, +ΔБЭП_{иск1})$ (рис. 3).

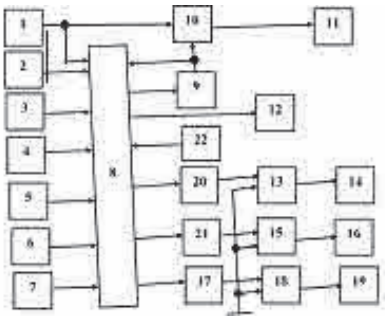


**Рис. 3. Функциональная схема устройства экономичного выращивания растений в закрытом грунте в условиях регулирования внешними низкоэнергетическими электрическими потенциалами градиентов БЭП растений:**

1 – датчик температуры внутреннего воздуха Твн; 2 – датчик относительной влажности внутреннего воздуха; 3 – датчик температуры наружного воздуха Тнар; 4 – датчик относительной влажности наружного воздуха; 5 – датчик облучённости; 6 – датчик скорости движения наружного воздуха или скорости ветра; 7 – блок задатчиков времени, имитированного сигнала температуры внутреннего воздуха, сигналов развёртки в технологическом диапазоне температуры внутреннего воздуха, значений коэффициентов и констант математических моделей продуктивности и теплообмена теплицы с окружающей средой; 8 – вычислительный блок; 9 – первый блок управления или первый формирователь экономически оптимального значения температуры внутреннего воздуха, или первый оптимизатор; 10 – первый регулятор температуры внутреннего воздуха Тв; 11 – обогреватель; 12 – блок индикации технических, технологических и экономических параметров и характеристик процесса выращивания растений в теплице; 13 – регулятор относительной влажности внутреннего воздуха; 14 – исполнительный элемент системы увлажнения или увлажнитель воздуха; 15 – регулятор облучённости растений; 16 – исполнительный элемент системы облучения или осветительные приборы, или лампы; 17 – формирователь искусственного электрического наивысшего значения БЭП растений данного вида и возраста при близких к оптимальным условиям среды обитания; 18 – второй регулятор напряжения искусственного биологического электрического потенциала или искусственно созданного внешнего электрического отрицательного потенциала, приложенного к вершине растения по отношению к грунту; 19 – входное электрическое сопротивление стеблей растений теплицы, верхушки которых механически закреплены на прочных электропроводящих шпалерах и электрически присоединены к ним; 20 – формирователь экономически оптимального значения относительной влажности внутреннего воздуха, или второй оптимизатор; 21 – формирователь экономически оптимального значения облучён-ности растений, или третий оптимизатор; 22 – датчик направления ветра

Датчик направления ветра 22 даёт информацию о наветренной поверхности теплицы с повышенным теплосъёмом. В соответствии с рис.1, рис. 2 и рис. 3, происходит экономически оптимальное управление

процессом обогрева теплицы при воздействии на градиенты БЭП растений. С выхода блока управления 9 сигнал экономически оптимальной температуры внутреннего воздуха также поступает на четвёртый вход вычислительного блока 8, в результате чего вычисляются, при этой температуре, прибавка продуктивности растений, приращение стоимости произведённой растительной продукции в ценах её реализации, прирост расчётной прибыли с учётом затрат только энергии на общий обогрев теплицы, за счёт действия сформированного сигнала разности БЭП. Эта величина внешнего электрического отрицательного потенциала, приложенного к вершине растения по отношению к его основанию, формируется на втором выходе вычислительного блока 8 и подаётся на инвертирующий вход второго регулятора напряжения 18. Имеется возможность подстраивать три регулируемых параметра микроклимата теплицы (температура и влажность внутреннего воздуха, освещённость растений) в технологически наилучшее их сочетание.

## Выводы

Рост продуктивности растений дополнительно стимулируется внешними НЭП, которые на 20–30 % повышают градиенты БЭП вдоль продольной оси растений искусственным путем. При этом значения градиентов БЭП которого в условиях среды обитания, близких к технологически наилучшим, повышены на 20–30 %. Предельно возрастает именно *экономическая* эффективность процессов экономически оптимального, экономичного обогрева теплицы с искусственным внешним воздействием НЭП на градиенты БЭП растений в отрасли промышленного тепличного растениеводства.

## Список литературы

1. Медведев С. С. Механизмы формирования и физиологическая роль полярности в растениях / С. С. Медведев // Физиология растений. – 2012. – Т. 59. – № 4. – С. 502–514.

2. Vasil'ev V. A., Garkusha I. V., Petrov V. A., Romanovskii Yu. M., Shogenov Yu. Kh. Light induced electrical activity of green plants // Biophysics. – 2003. – Vol. 48. – № 4. – P. 662–671.

3. Luis A. Gurovich. Electrophysiology of Woody Plants. Publisher InTech., 2012. – 25 pp.

4. А. с. 1639496 СССР. Способ стимуляции роста растений. А 01 G 7/00. Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева / Н. Н. Третьяков, Л. Г. Прищеп, Ю. Х. Шогенов, К. И. Каменская, А. И. Лузик. – № 4419902/15 ; заявл. 01.04.1988 ; опубл. 07.04.1991, Бюл. №13.

5. А. с. 1558341 СССР. Способ определения режимов электростимуляции растений. А 01 G 7/04. Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева / К. И. Каменская, Н. Н. Третьяков, Ю. Х. Шогенов. – № 4398273/30-13 ; заявл. 28.03.1988 ; опубл. 23.04.1990 г., Бюл. № 15.

6. Shogenov Yu. Kh., Mironova E. A., Moiseenkova V. Yu., Romanovsky Yu. M. Effeck of monochromatic electromagnetic irradiation in the wavelength range of

330-3390 nm on plant bioelectric activity // Russian Journal of Plant Physiology. – 1999. – Vol. 46. – № 5. – P. 697–703.

7. Патент 2300194 РФ. Способ управления экономичной обогревательной технологией в животноводстве и птицеводстве и устройство для его осуществления / А. В. Дубровин и др. ; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. – 2007, Бюл. № 16.

8. Дубровин А. В. Автоматизация технологических процессов обогрева в птицеводстве / А. В. Дубровин. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 336 с.

9. Дубровин А. В. Основы автоматического управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А. В. Дубровин. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

10. Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Том 3. Проблемы восстановления и сохранения систем биосферы / Солнцева Н. П., Федоров В. М., Рубин А. Б. и др. ; под ред. Н. В. Красногорской. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1992. – 356 с.

11. А. с. № 886835 СССР. Способ регулирования факторов внешней среды при выращивании растений и устройство для его осуществления. A 01 G 7/00. / А. С. Дорошек, И. А. Рыбин ; Уральский Ордена Трудового Красного Знамени государственный университет им. А. М. Горького. – № 2724185/15 ; заявл. 14.02.1979 ; опубл. 07.12.1981, Бюл. № 45.

12. Шогенов Ю. Х. Математическая модель биоэлектрической полярности высшего растения / Ю. Х. Шогенов // НТБ ВИМ. – 1992. – Вып. 85. – С. 33–37.

13. Бородин И. Ф. Адаптация растений к локальному монохроматическому электромагнитному излучению / И. Ф. Бородин, Ю. Х. Шогенов, Ю. М. Романовский // Доклады Россельхозакадемии. – 1999. – № 6. – С. 46–49.

## КЕРУВАННЯ АДАПТАЦІЄЮ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОТЕНЦІАЛАМИ ПРИ ЕКОНОМІЧНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

***Ю. Х. Шогенов, О. В. Дубровін***

**Анотація.** *Зовнішнє керування градієнтами біоелектричних потенціалів (БЕП) рослини призводить до розширення кордонів і підвищення адаптаційних можливостей рослин, що знижує втрати продукційного процесу при дії при-родно-кліматичних та інших факторів стресу. Розрахункова продуктивність рослин за економічно оптимальної температури навколишнього середовища теплиці в умовах зовнішнього електрофізичного впливу на рослини дає змогу обчислити інноваційний приріст прибутку.*

**Ключові слова:** ***градієнти біоелектричних потенціалів, автоматизація технологічних процесів, економічно оптимальне управління, техніко-економічний параметр, низькоенергетичні електричні потенціали***

## MANAGE ADAPTATION OF VEGETABLE CROPS LOW-ENERGY ELECTRIC POTENTIALS AT ECONOMIC OPTIMIZATION IN CONDITIONS OF PROTECTED GROUND

***Y. Shogenov, A. Dubrovin***

**Annotation.** *External control of gradients of bioelectric potentials (BEP) plants leads to an expansion of borders and increase the adaptive capacity of plants, which reduces the loss of the production process under the influence of climatic and other stresses. Estimated productivity of plants at cost-optimal ambient conditions in greenhouses external electrophysical effects on plants allows us to calculate an innovative profit growth.*

**Key words:** ***gradients of bioelectric potentials, process automation, cost optimal control, techno-economic parameter, low-energy electric potentials***

УДК 631.358.42

## РУХ ПОТОКУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПОВЕРХНЕЮ РОБОЧОГО ОРГАНУ З ПЛОСКИМИ ЛОПАТКАМИ

***М. Б. Клендій, О. М. Клендій, кандидати технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Для збільшення довжини технологічної магістралі гвинтового конвеєра запропоновано використати перевантажувальний патрубок. Встановлено залежності для визначення кінематичних параметрів руху потоку матеріалу в гвинтовому конвеєрі з лопатевим робочим органом, а також виведено залежності для визначення потужності транспортування сипкого матеріалу.*

**Ключові слова:** ***гвинтовий конвеєр, перевантажувальний патрубок, лопатевий робочий орган, сипкий матеріал, потік матеріалу***

Застосування в гнучких гвинтових конвеєрах перевантажувальних патрубків з центральним приводом технологічних магістралей дає змогу суттєво підвищити експлуатаційну надійність таких засобів механізації. Однак існуючі конструкції перевантажувальних патрубків не повною мірою задовольняють експлуатаційні вимоги. Основними їх недоліками є підвищені енерговитрати, а також підвищене пошкодження сипкого

*© М. Б. Клендій, О. М. Клендій, 2016*

## MANAGE ADAPTATION OF VEGETABLE CROPS LOW-ENERGY ELECTRIC POTENTIALS AT ECONOMIC OPTIMIZATION IN CONDITIONS OF PROTECTED GROUND

***Y. Shogenov, A. Dubrovin***

**Annotation.** *External control of gradients of bioelectric potentials (BEP) plants leads to an expansion of borders and increase the adaptive capacity of plants, which reduces the loss of the production process under the influence of climatic and other stresses. Estimated productivity of plants at cost-optimal ambient conditions in greenhouses external electrophysical effects on plants allows us to calculate an innovative profit growth.*

**Key words:** ***gradients of bioelectric potentials, process automation, cost optimal control, techno-economic parameter, low-energy electric potentials***

УДК 631.358.42

## РУХ ПОТОКУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПОВЕРХНЕЮ РОБОЧОГО ОРГАНУ З ПЛОСКИМИ ЛОПАТКАМИ

***М. Б. Клендій, О. М. Клендій, кандидати технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Для збільшення довжини технологічної магістралі гвинтового конвеєра запропоновано використати перевантажувальний патрубок. Встановлено залежності для визначення кінематичних параметрів руху потоку матеріалу в гвинтовому конвеєрі з лопатевим робочим органом, а також виведено залежності для визначення потужності транспортування сипкого матеріалу.*

**Ключові слова:** ***гвинтовий конвеєр, перевантажувальний патрубок, лопатевий робочий орган, сипкий матеріал, потік матеріалу***

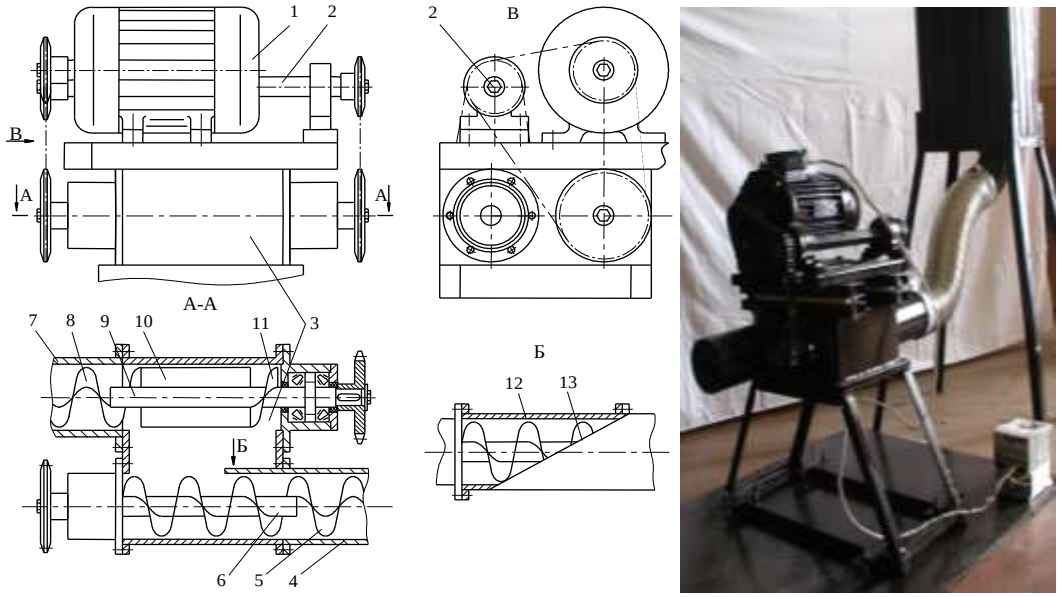
Застосування в гнучких гвинтових конвеєрах перевантажувальних патрубків з центральним приводом технологічних магістралей дає змогу суттєво підвищити експлуатаційну надійність таких засобів механізації. Однак існуючі конструкції перевантажувальних патрубків не повною мірою задовольняють експлуатаційні вимоги. Основними їх недоліками є підвищені енерговитрати, а також підвищене пошкодження сипкого

*© М. Б. Клендій, О. М. Клендій, 2016*

матеріалу та складність конструкцій патрубків, особливо при їх значних габаритних розмірах. У відомих конструкціях перевантажувальних патрубків [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7], в яких частково вирішені вищезгадані проблеми, суттєво ускладнюється процес переведення сипкого матеріалу, а за певних режимів роботи зростає ймовірність виникнення заторів, що призводить до втрати працездатності конвеєра.

**Мета досліджень** – підвищення експлуатаційних показників перевантажувальних патрубків гвинтових конвеєрів.

**Матеріали та методика досліджень.** Задля підвищення надійності та експлуатаційних показників гнучких гвинтових конвеєрів запропоновано використовувати перевантажувальний патрубок гвинтового конвеєра, який подано на рис. 1 [8].




*а)* *б)*

**Рис. 1. Конструктивна схема (а) і зальний вигляд (б) перевантажувального патрубка гвинтового конвеєра:**
1 – електродвигун; 2 – проміжний вал; 3 – перевантажувальний патрубок; 4 – кожух; 5 – вивантажувальна спіраль шнека; 6 – привідний вал, 7 – кожух; 8 – завантажувальна спіраль шнека; 9 – вал шнека; 10 – плоскі пластини; 11 – сектор спіралі шнека; 12 – напрямна труба; 13 – клиноподібний виріз

У процесі роботи кінематично з'єднані приводні вали, проміжний вал та вал електродвигуна забезпечують обертання робочих спіралей шнеків. При подачі сипкого матеріалу спіраль 8 переміщає його у кожуху в бік перевантажувального патрубка. Оскільки приводні вали розташовані в горизонтальній площині, передача матеріалу на вивантажувальну магістраль здійснюється радіальними плоскими пластинами. Сектор спіралі шнека 11 забезпечує зведення всієї маси сипкого матеріалу на радіальні плоскі пластини для уникнення заторів. Далі сипкий матеріал

потрапляє на розвантажувальну робочу спіраль шнека, яка, затягуючи його в клиноподібний виріз труби 12, переміщає по кожуху в зону вивантаження. Наявність клиноподібного вирізу забезпечує поступовий вхід матеріалу в циліндричну трубу, яка переходить у кожух 4, що сприяє зменшенню пошкодження сипкого матеріалу.

Одним із перспективних напрямів визначення технологічності виготовлення робочих органів гвинтових конвеєрів є застосування замість гвинтових спіралей плоских похилих до осі обертання лопаток, які прикріплені до циліндричного вала основи. Такі лопатки доцільно виготовлювати методом штампування листового матеріалу з подальшим приварюванням їх до циліндричного вала.

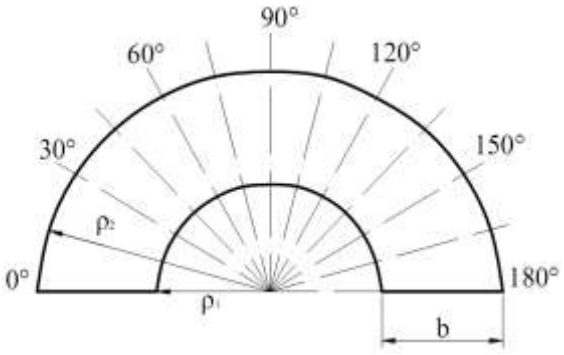



**Рис. 2. Розгортка плоскої похилої лопатки**

На рис. 2 показана розгортка похилої лопатки. Встановлено, що в межах кута розгортки φ від 0º до 20º, а також від 50º до 90º ширина ребра b і радіус внутрішньої крайки розгортки ρ1 змінюється несуттєво. Найбільш різка змінаспостерігається в діапазоні φ = 20º– 50º [9].

Саме тому доцільно використовувати плоскі похилі лопатки із сектором розгортки 180º. Загальний вигляд лопатевого робочого органу перевантажувального патрубка – вал із похилими плоскими лопатками показано на рис. 3.

**Рис. 3. Загальний вигляд лопатевого робочого органу**

**Результати досліджень.** Визначення параметрів руху матеріальної частинки поверхнями робочих органів перевантажувального патрубка дає змогу визначити основні їх кінематичні параметри, які робочими поверхнями подавального робочого органу переводяться на приймальний. Проте дослідження сходження всього потоку для швидкісних конвеєрів є достатньо складною задачею, оскільки при цьому спостерігаються розриви потоку, за яких частинки можуть роз'єднуватись у відокремлені об'єкти, причому взаємодія між собою та з робочими поверхнями буде мати стохастичний характер. У цьому разі параметри потоку доцільно описувати інтегральними показниками.

Зокрема осьова складова швидкості потоку при сходженні його з лопатки визначиться як середнє арифметичне швидкості кожної із *n* – частинок:

$$V_{Zn} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i(\omega - \omega_i)\,\mathrm{tg}\,\gamma_0 \cos\varphi_i\,, \qquad (1)$$

де $R_i$, $\varphi_i$ та $\omega_i$ відповідно, радіальний та кутовий параметри *i*-ої частинки в потоці відносно лопатки та її кутова швидкість.

Залежність (1) запишемо у вигляді:

$$V_{Zn} = R\cdot\omega\cdot\mathrm{tg}\,\gamma_0\sum_{i=1}^{n}\frac{R_i}{R}\left(1-\frac{\omega_i}{\omega}\right)\cos\varphi_i\,. \qquad (2)$$

У зоні сходження кутова швидкість довільної частинки $\omega_i$ буде мало залежати від її розміщення, а тому відношення $k_\omega = \dfrac{\omega_i}{\omega}$ буде відносно стабільною величиною, що залежить тільки від конструктивного виконання робочого органу і його кутової швидкості $\omega$ . Для швидкохідних перевантажувальних патрубків, в яких використовують робочі органи з кутами розміщення лопаток $\gamma_0$ близьких до 30º, $k_\omega = 0{,}13 - 0{,}17$.

Оскільки між радіусом лопатки R та кожухом є зазор (зовнішній радіус потоку $R_{\Pi}$ є більшим за R) то середній радіус потоку, по аналогії з гвинтовим транспортуванням, доцільно приймати близьким до радіуса лопатки R.

Тоді відношення $k_R = \dfrac{R_{\Pi}}{R} = \dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\dfrac{R_i}{R} = 0{,}95...1$ є також величиною стабільною, а отже, у першому наближенні залежність (2) запишемо у вигляді:

$$V_{Z\Pi} = k_R(1-k_\omega)R\cdot\omega\cdot tg\gamma_0\sum_{i=1}^{n}\cos\varphi_i\,. \qquad (3)$$

Кут сходження вантажу з лопатки за експериментальними спостереженнями становить $\varphi_i = 45°...70°$, а усереднене значення параметра $k_\varphi = \sum_{i=1}^{n}\cos\varphi_i$ буде розміщуватися в діапазоні $k_\varphi = 0{,}55...0{,}65$.

Слід відзначити, що величина $\mathrm{tg}\,\gamma_c = \mathrm{tg}\,\gamma_0\sum_{i=1}^{n}\cos\varphi_i = k_\varphi\,\mathrm{tg}\,\gamma_0$ – є усереднений кут підйому в зоні сходження вантажу.

Відповідно, осьова складова швидкості потоку визначається:

$$V_{Z\Pi} = k_\varphi k_R(1-k_\omega)R\cdot\omega\cdot\mathrm{tg}\,\gamma_0 = K_{\Pi}\cdot R\cdot\omega\cdot\mathrm{tg}\,\gamma_0. \qquad (4)$$

Кутова складова швидкості потоку дорівнює:

$$N = \rho g Q W_{\Pi} L_{\Pi}\,. \qquad (5)$$

Швидкість потоку за модулем буде рівною:

$$V_{П} = \sqrt{V_{ZП}^2 + R_{П}^2 \cdot \omega_{П}^2} = R\omega\sqrt{k_{Ї}^2 \operatorname{tg}^2 \gamma_0 + k_R^2 k_\omega^2} \ . \qquad (6)$$

Із умови забезпечення стабільності роботи необхідно щоб максимальна продуктивність (об'ємний розхід) вивантажувального шнека $Q_{2max}$, за найбільш несприятливого розміщення гнучкого вивантажувального шнека, була більша від максимально допустимої продуктивності завантажувального $Q_{1max}$, за найбільш сприятливе його розміщення, а максимальна продуктивність перевантажувального патрубка $Q_{Пmax}$ була б не меншою за продуктивність завантажувального шнека $Q_{1max}$ ($Q_{2max} \geq Q_{1\max}$; $Q_{Пmax} \geq Q_{1\max}$).

Відомо, що:

$$Q_1 = \pi\varphi_{q1} V_{Z1}(R_1^2 - r_1^2); \qquad Q_2 = \pi\varphi_{q2} V_{Z2}(R_2^2 - r_2^2), \qquad (7)$$

де $\varphi_{з1}$ та $\varphi_{з2}$ – коефіцієнти заповнення, відповідно, у першому та другому шнеках;

$V_{Z1}$ та $V_{Z2}$ – відповідно, осьові швидкості потоку першого та другого шнека;

$R_1$, $r_1$ та $R_2$, $r_2$ – радіуси шнеків та валів, відповідно, першого та другого шнеків.

Для гвинтових конвеєрів:

$$V_Z = k_\varphi R\ \omega\ \operatorname{tg}\alpha \ , \qquad (8)$$

де $\alpha$ – кут нахилу гвинтової поверхні;

$k_ш$ – коефіцієнт, що визначає осьову складову швидкості у гвинтовому русі.

Для швидкохідних шнеків $k_\varphi$, у першому наближенні, дорівнює:

$$k_\varphi = \frac{\cos\alpha \cos(\alpha + \varphi_T)}{\cos\varphi_T}, \qquad (9)$$

де $\varphi_T$ – кут тертя вантажу по поверхні гвинта, $\varphi_T = \operatorname{arctg}\mu$.

Аналізуючи залежності (4) та (8), бачимо аналогію між транспортуванням вантажу плоскою лопаткою із приведеним кутом нахилу $\gamma_c$ та гвинтовою поверхнею із кутом підйому $\alpha$. А тому, для визначення коефіцієнта $k_П$, можна користуватися залежністю, аналогічною (9), де замість $\operatorname{tg}\alpha$ підставляють значення приведеного кута нахилу лопатки:

$$\operatorname{tg}\gamma_c = k_\varphi \operatorname{tg}\gamma_0 .$$

Відповідно, значення $k_П$ дорівнює:

$$k_{П} = \frac{\cos\gamma_c \cos(\gamma_c + \varphi_T)}{\cos\varphi_T}. \qquad (10)$$

Враховуючи те, що коефіцієнти заповнення $\varphi$ та нахил гвинтових робочих поверхонь $\alpha$ вибираються із рекомендованих параметрів, умова $Q_{1max} \le Q_{2\max}$ x вимагає, щоб $R_2{}^3\omega_2 \ge R_1{}^3\omega_1$, що рівносильне умові $R_2 \ge R_1$, або $\omega_2 \ge \omega_1$ за незмінних інших параметрів.

Із умови стабільності роботи перевантажувального патрубка доцільно,

щоб осьова складова швидкості потоку при перевантаженні відповідала умові:

$$V_{Z1} \le V_{ZП} \le V_{Z2}. \qquad (11)$$

При цьому, автоматично виконується умова:

$$Q_{1\max} \le Q_{П\max} \le Q_{2\max}. \qquad (12)$$

Крім цього, наявність такої осьової складової швидкості потоку $V_{ZП}$ забезпечує мінімальні витрати енергії на пришвидшення частинок вивантажувальним робочим органом. Отже, кут нахилу лопатки доцільно приймати $\operatorname{tg}\gamma_0 \ge \frac{\operatorname{tg}\alpha}{k_\varphi}$.

При усталеному русі розхід перевантажувальної системи:

$$Q = Q_1 = Q_{П} = Q_2, \qquad (13)$$

а отже, коефіцієнт заповнення другого шнека має бути не більше, ніж першого, тобто $\varphi_{z1} \ge \varphi_{z2}$. У випадку однакового конструктивного виконання вивантажувального та завантажувального шнеків, необхідно конструктивно забезпечити обмеження величини заповнення завантажувального шнека.

У загальному випадку, потужність транспортування у гвинтовому конвеєрі із застосуванням горизонтального перевантажувального патрубка і лопатевого робочого органу рівна:

$$N = \rho g Q W L, \qquad (14)$$

де $\rho$ – насипна густина вантажу;

$g$ – прискорення вільного падіння;

$Q$ – об'ємний розхід вантажу;

$W$ – коефіцієнт питомих втрат на тертя по довжині транспортування;

$L$ – довжина транспортування.

Оскільки масовий розхід вантажу, що задається завантажувальним шнеком, $Q_m = \rho g Q$, то порція вантажу $\Delta m$, що викидається лопаткою за один оберт, визначається із залежності:

$$\Delta m = \frac{2\pi\rho g Q}{\omega_1}. \qquad (15)$$

Ударна сила, що діє на робочі поверхні другого шнека, буде:

$$\bar{F} = \Delta m(\bar{v}_+ - \bar{v}_-)/\Delta t, \qquad (16)$$

де $\bar{v}_-$ та $\bar{v}_+$ – усереднені вектори швидкості масиву до і після контакту з робочою поверхнею.

Із (12) випливає, що значення сили $F$, а отже, і втрати енергії на контактну взаємодію і тертя вантажу, будуть мінімальними при $\bar{v}_+ - \bar{v}_- \to \min$. Крім цього, мінімальною буде і втрата енергії на пришвидшення матеріалу вивантажувальним робочим органом, що визначається із залежності:

$$W_k = \Delta m(V_+^2 - V_-^2)/2. \qquad (17)$$

А тому, мінімальні втрати при перевантаженні будуть в системі, де шнеки обертаються односпрямовано і де виконується умова (11).

При цьому потужність, що витрачається на перевантаження вантажу, можна визначати за залежністю, аналогічною (10):

$$N = \rho g Q W_{II} L_{II}, \qquad (18)$$

де $L_{II}$ – приведена довжина зони перевантаження;

$W_{II}$ – коефіцієнт втрат при перевантаженні, що перевищує коефіцієнт питомих втрат конвеєра $W$. Залежно від конструктивного виконання $W_{II} = (1{,}7...2{,}5)W$.

## Висновки

Запропоновано нову конструкцію перевантажувального патрубка, який дає змогу підвищити довжину транспортування матеріалів конвеєра при загальному зниженні енерговитрат.

Запропоновано використовувати, замість гвинтових спіралей, плоскі похилі до осі обертання лопатки, прикріплені до циліндричного вала основи. Встановлено, що доцільно використовувати плоскі похилі лопатки з сектором розгортки 180º.

Виведено залежності для визначення кінематичних параметрів руху потоку матеріалу в гвинтовому конвеєрі з лопатевим робочим органом, а також виведені залежності для визначення потужності транспортування сипкого матеріалу.

## Список літератури

1. Герман Х. Шнекове машины в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л. : Машиностроение, 1975. – 280 с.

2. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта / Зенков Р. Л., Иванков Н., Колобов Л. И. – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.

3. Hevko R. B., Klendiy O. M. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation // INMATEH : Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 42. – № 1. – P. 55–60.

4. Hevko R. B., Dzyura V. O., Romanovsky R. M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor mechanism operation // INMATEH : Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 44. – № 3. – P. 103–110.

5. Hevko R. B., Zalutskyi S. Z., Tkachenko I. G., Klendiy O. M. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface // INMATEH : Agricultural engineering. – 2015. – Vol. 46. – № 2. – P. 133–138.

6. Гевко Р. Б. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія / Гевко Р. Б., Вітровий А. О., Пік А. І. – Тернопіль : Астон, 2012. – 204 с.

7. Гевко Р. Б. Перспективи використання гнучких спіральних систем для транспортування вантажів / Р. Б. Гевко, М. В. Любін, О. А. Токарчук // Зб. наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – 2011. – Вип. 38. – С. 342–351.

8. Клендій М. Б. Дослідження процесу перевантаження сипкого вантажу гвинтовими робочими органами / М. Б. Клендій // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2006. – Т. 3. – С. 92–100.

9. Клендій М. Б. Методика досліджень нових типів перевантажувальних патрубків гвинтових конвеєрів / М. Б. Клендій, Р. Б. Гевко // Зб. наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – 2005. – Вип. 20. – С. 190–195.

## ДВИЖЕНИЕ ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПО ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПЛОСКИМИ ЛОПАСТЯМИ

***Н. Б. Клендий, А. Н. Клендий***

**Аннотация.** *Для увеличения длины технологической магистрали винтового конвейера предложено использовать перегрузочный патрубок. Установлены зависимости для определения кинематических параметров движения потока материала в винтовом конвейере с лопастным рабочим органом, а также выведены зависимости для определения мощности транспортировки сыпучего материала.*

**Ключевые слова:** ***винтовой конвейер, перегрузочный патрубок, лопастной рабочий орган, сыпучий материал, поток материала***

## TRAFFIC FLOW OF BULK MATERIAL TO SURFACE OF A WORKING BODY WITH THE FLAT VANES

***M. Klendii, O. Klendii***

**Annotation.** *To increase the length of a screw conveyor of technology pipe line of the transfer branch is proposed. The dependences for determination of kinematic parameters of the flow material into a screw conveyor with vanes working body and deduced dependence for determination a power of transportation bulk material.*

**Key words:** ***screw conveyor, reloading pipe, vane working body, bulk materials, the flow of material***

УДК 620.92

# ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПОТУЖНОСТІ НАСОСА ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО ЗМІШУВАЧА

***Г. А. Голуб, доктор технічних наук***
***М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, кандидати технічних наук***
***Національний університет біоресурсів і природокористування України***
***С. М. Кухарець, доктор технічних наук***
***О. Ю. Осипчук, інженер***
***Житомирський національний агроекологічний університет***
***e-mail: maxim_pavlenko@i.ua***

**Анотація.** *Наведено результати експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива на споживану потужність насоса для перемішування рослинної олії при використанні дискового змішувача.*

**Ключові слова:** ***потужність, гідростанція, насос, дискова форсунка, глибина занурення***

При виробництві дизельного біопалива одним із ключових моментів є забезпечення повного проходження процесу естерифікації, адже від цього залежить якість отриманого продукту. На проходження процесу естерифікації впливають правильно підібрані хімічні компоненти, температурний режим, час проведення процесу та вид перемішування. Враховуючи те, що в процесі естерифікації відбувається змішування двох різних за своєю густиною речовин (рослинної олії та метилату калію) [6], правильно підібраний вид перемішування забезпечує повноту проходження самого процесу. Для виробництва дизельного біопалива використовують механічне [6], гідродинамічне та гідрореактивне перемішування. Завдяки своїм особливостям, гідрореактивне перемішування при виробництві дизельного біопалива набуває дедалі більшого поширення. На особливу увагу заслуговує використання при цьому дискового змішувача.

Удосконаленням обладнання й технологічних ліній для виробництва дизельного біопалива з використанням гідрореактивного та гідродинамічного перемішування займалися М. М. Барановський, М. І. Трегуб, В. В. Чуба, які запропонували використовувати в обладнанні для виробництва дизельного біопалива гідрокавітаційну камеру для підвищення якості перемішування [4, 5]. Розроблено також обладнання для виробництва дизельного біопалива, з використанням у процесі естерифікації гідрореактивної мішалки [1, 2]. Експериментально досліджено параметри обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням циркуляційного перемішування та встановлено режими, при яких витрати

*© Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець, О. Ю. Осипчук, 2016*

енергії мінімальні. У даному обладнанні основне змішування виконують форсунки, розміщені на стінках реактора [3].

Однак питання визначення споживаної потужності, залежно від параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива на основі гідрореактивного перемішування з використанням дискового змішувача, залишається недослідженим.

**Мета досліджень –** експериментально дослідити вплив технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні для виробництва дизельного біопалива з гідрореактивним перемішуванням та використанням дискового змішувача.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження впливу технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні для виробництва дизельного біопалива з гідрореактивним перемішуванням та використанням дискового змішувача здійснювали в лабораторних умовах із використанням шестерінчастого насосу для перекачування емульсії. Для встановлення взаємозв'язку впливу зазору між дисками форсунки ($d$), частоти обертання насоса ($n_D$) та глибини занурення ($h$) на споживану потужність насоса ($P$), було проведено експеримент за планом Бокса-Бенкіна. Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів наведено в табл. 1.

**1. Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів**

| Найменування фактора та його позначення | Рівні факторів | | | Інтервали варіювання |
|---|---|---|---|---|
| | -1 | 0 | +1 | |
| Глибина занурення, мм | 0 | 100 | 200 | 100 |
| Частота обертання двигуна, об./хв. | 96 | 796 | 1496 | 700 |
| Зазор між дисками форсунки, мм | 1,8 | 3,6 | 5,4 | 1,8 |

**Результати досліджень.** За результатами експерименту отримали математичну модель – рівняння регресії у вигляді полінома другого порядку, яке у розкодованій формі має вигляд:

$$P = 347{,}8221 + 0{,}4456\, n_D - 107{,}7907 d + $$
$$+ 0{,}0007 n_D^2 + 18{,}1199\, d^2 - 0{,}0958\, n_D d \qquad (1)$$

Результати вимірювань під час проведення досліджень наведені в табл. 2.

Аналіз свідчить (рис. 1), що, зі збільшенням частоти обертання насоса, споживана потужність збільшується. Це пояснюється зростанням енерговитрат електродвигуна за рахунок збільшення продуктивності насоса.

Зі збільшенням зазору між дисками форсунки споживана потужність насоса зменшується (рис. 2), що пояснюється зменшенням енерговитрат електродвигуна, який обертає насос, через зменшення напору насоса.

**2. Значення заданих та вимірюваних величин під час проведення досліджень**

| № п/п досліду | Глибина занурення, мм ($h$) | Частота обертання насоса, об./хв. ($n_D$) | Зазор між дисками форсунки, мм, ($d$) | *P, Вт* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 200 | 1496 | 3,6 | 1890 |
| 2 | 0 | 96 | 3,6 | 241,5 |
| 3 | 200 | 96 | 3,6 | 236,5 |
| 4 | 0 | 1496 | 3,6 | 1900 |
| 5 | 200 | 796 | 5,4 | 700 |
| 6 | 0 | 796 | 1,8 | 850 |
| 7 | 200 | 796 | 1,8 | 865 |
| 8 | 0 | 796 | 5,4 | 700 |
| 9 | 100 | 1496 | 5,4 | 1785 |
| 10 | 100 | 96 | 1,8 | 231,5 |
| 11 | 100 | 1496 | 1,8 | 2255 |
| 12 | 100 | 96 | 5,4 | 244,5 |
| 13 | 100 | 796 | 3,6 | 725 |
| 14 | 100 | 796 | 3,6 | 720 |
| 15 | 100 | 796 | 3,6 | 725 |

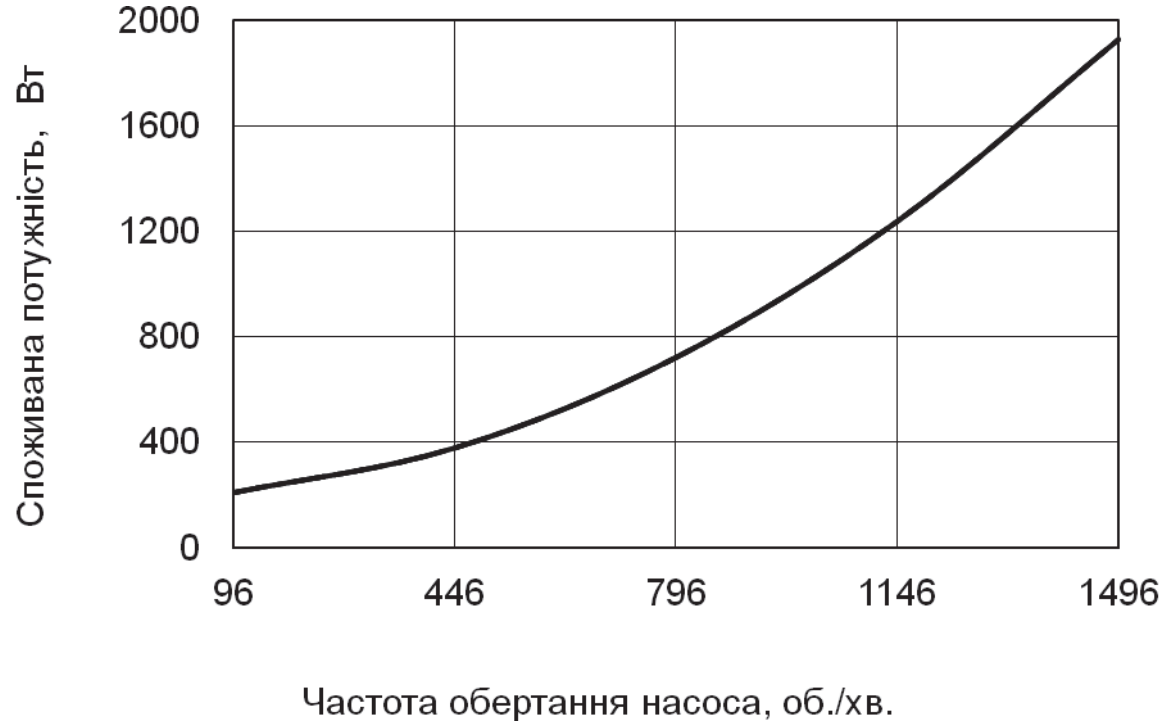



**Рис. 1. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від частоти обертання насоса**

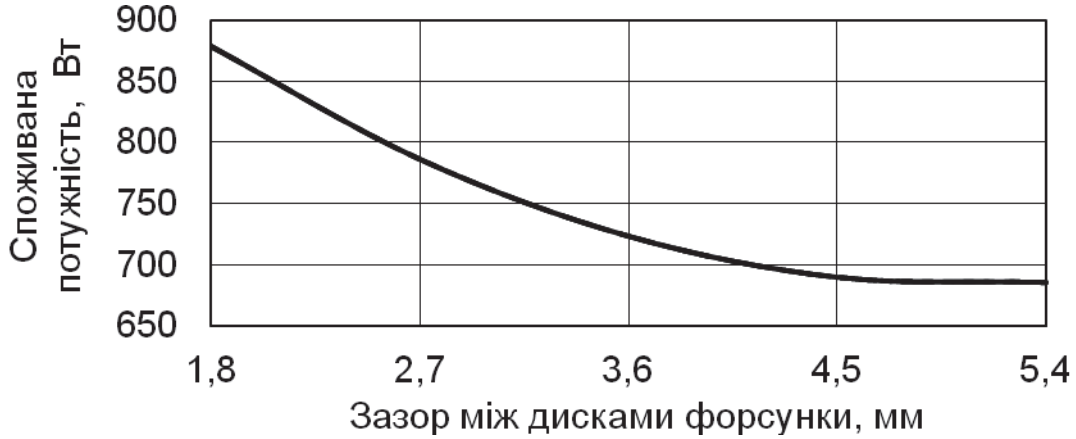



**Рис. 2. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від зазору між дисками форсунки**

Аналіз взаємного впливу частоти обертання насоса та зазору між дисками форсунки на споживану потужність насоса при використанні дискового змішувача свідчить (рис. 3), що, зі збільшенням зазору між дисками форсунки та зменшенням частоти обертання насоса, споживана потужність дискового змішувача зменшується за рахунок зменшення витрат енергії на перемішування та зменшення споживаної потужності електродвигуна через зменшення напору насоса.

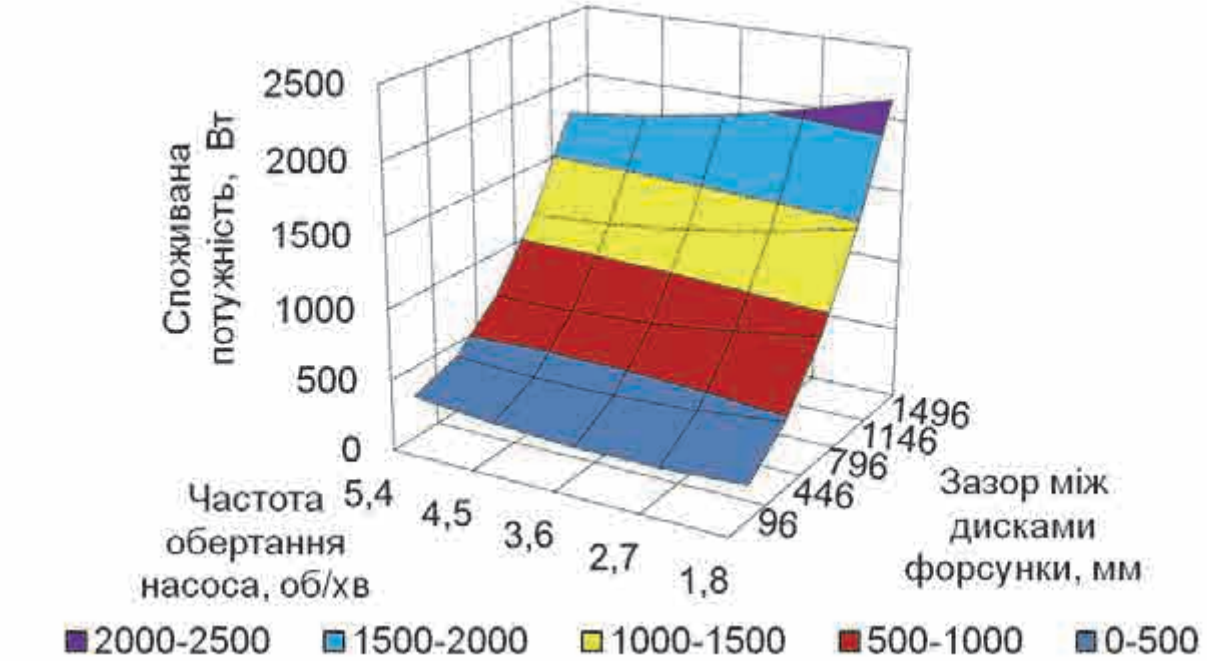



**Рис. 3. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від зазору між дисками форсунки та частоти обертання насоса**

Мінімальна споживана потужність досягається при зазорі між дисками форсунки 5,4 мм, частоті обертання насоса 96 об/хв. і становить 210 Вт. Глибина занурення не має значущого впливу на споживану потужність насоса при використанні дискового змішувача.

## Висновки

Удосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням дискових змішувачів повинно рухатися в напрямку зменшення споживаної потужності за рахунок створення нових конструкцій, які дадуть змогу якісно змішати компоненти та будуть мати мінімальний гідравлічний тиск.

## Список літератури


1. Голуб Г. А. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 350–355.

2. Голуб Г. А. Вплив параметрів гідрореактивної мішалки на її частоту обертання при виробництві дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Вип. 99, т. 2. – Глеваха, 2014. – С. 84–93.

3. Голуб Г. А. Дослідження енергетичної ефективності циркуляційних реакторів-розділювачів / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. Ю. Осипчук [та ін.] // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2015. – Вип. 19 (33). – С. 276–282.

4. Деклараційний патент на корисну модель України (UA) № 27052, МПК (2006) C10L1/00, F24H 4/00. Установка для виготовлення біопалива / Барановський М. М., Трегуб М. І., Чуба В. В. : заявники та патентовласники. – № u200707007 ; заявл. 22.06.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

5. Деклараційний патент на корисну модель України (UA) № 36284, МПК (2006) C10L1/00, F24H 4/00. Модульна біодизельна установка / Барановський М. М., Трегуб М. І., Чуба В. В. : заявники та патентовласники. – № u200804331 ; заявл. 07.04.2008 ; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.

6. Павленко М. Ю. Енергетичні показники процесу етерифікації ріпакової олії / М. Ю. Павленко, Г. А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» / редкол. : Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 3. – С. 91–100.


## ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЩНОСТИ НАСОСА ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА И ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ


***Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарец, О. Ю. Осипчук***



**Аннотация.** *Приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных параметров оборудования для производства дизельного биотоплива на потребляемую мощность насоса для перемешивания растительного масла при использовании дискового смесителя.*



**Ключевые слова:** ***мощность, гидростанция, насос, дисковая форсунка, глубина погружения***

## RELATIONSHIP POWER PUMP FOR MIXING VEGETABLE OIL AND SETTING DISK MIXER

***G. Golub, M. Pavlenko, V. Chuba, S. Kuharets, O. Osypchuk***

**Annotation.** *An experimental results influence the design parameters of equipment for the production of biodiesel at the pump power consumption when using a disk mixer while mixing vegetable oil are given.*

**Key words:** ***power, hydro stations, pump, disk atomizer, diving depth***

УДК21.785.53

# ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У СТАЛІ ШХ15 ПІСЛЯ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ

***В. Г. Каплун, доктор технічних наук***
***Т. В. Донченко, кандидат економічних наук***
***Хмельницький національний університет***
***П. В. Матвіїшин, кандидат технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Проаналізовано вплив залишкових напружень на міцність та експлуатаційні характеристики конструкційних покриттів. Наведено результати експериментальних досліджень залишкових напружень у дифузійних шарах після іонного азотування сталі ШХ15 у безводневих середовищах за різними технологічними режимами. На основі планування експериментів одержано аналітичні й графічні залежності величини залишкових напружень від зміни технологічних параметрів процесу іонного азотування, встановлено залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару від його твердості.*

**Ключові слова:** ***іонне азотування, залишкові напруження, технологічні параметри, твердість***

Підвищення зносостійкості, надійності й довговічності конструкційних елементів є одним з найважливіших завдань машинобудування. Одним із перспективних напрямів у вирішенні цього завдання є зміцнення поверхні із застосуванням функціональних покриттів. Нині у промисловості застосовують багато методів нанесення покриттів із використанням процесів осадження, дифузії, імплантації, електроіскрового і лазерного легування тощо та існує понад 100 різних технологій зміцнення поверхні з використанням даних методів. При нанесенні покриттів у поверхневих

*© В. Г. Каплун, Т. В. Донченко, П. В. Матвіїшин, 2016*

## RELATIONSHIP POWER PUMP FOR MIXING VEGETABLE OIL AND SETTING DISK MIXER

***G. Golub, M. Pavlenko, V. Chuba, S. Kuharets, O. Osypchuk***

**Annotation.** *An experimental results influence the design parameters of equipment for the production of biodiesel at the pump power consumption when using a disk mixer while mixing vegetable oil are given.*

**Key words:** ***power, hydro stations, pump, disk atomizer, diving depth***

УДК21.785.53

# ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У СТАЛІ ШХ15 ПІСЛЯ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ

***В. Г. Каплун, доктор технічних наук***
***Т. В. Донченко, кандидат економічних наук***
***Хмельницький національний університет***
***П. В. Матвіїшин, кандидат технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Проаналізовано вплив залишкових напружень на міцність та експлуатаційні характеристики конструкційних покриттів. Наведено результати експериментальних досліджень залишкових напружень у дифузійних шарах після іонного азотування сталі ШХ15 у безводневих середовищах за різними технологічними режимами. На основі планування експериментів одержано аналітичні й графічні залежності величини залишкових напружень від зміни технологічних параметрів процесу іонного азотування, встановлено залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару від його твердості.*

**Ключові слова:** ***іонне азотування, залишкові напруження, технологічні параметри, твердість***

Підвищення зносостійкості, надійності й довговічності конструкційних елементів є одним з найважливіших завдань машинобудування. Одним із перспективних напрямів у вирішенні цього завдання є зміцнення поверхні із застосуванням функціональних покриттів. Нині у промисловості застосовують багато методів нанесення покриттів із використанням процесів осадження, дифузії, імплантації, електроіскрового і лазерного легування тощо та існує понад 100 різних технологій зміцнення поверхні з використанням даних методів. При нанесенні покриттів у поверхневих

*© В. Г. Каплун, Т. В. Донченко, П. В. Матвіїшин, 2016*

шарах виникають залишкові напруження, що впливають на напружено-деформований стан, міцність та експлуатаційні характеристики конструкційних елементів [1–5]. Виникнення залишкових напружень у покриттях зумовлено різними факторами: різницею коефіцієнтів температурного розширення матеріалів основи й покриття, наявністю захоплених атомів газу, дефектністю конденсату, тощо.

Дослідженнями [1, 3–5] показано, що в дифузійних покриттях виникають залишкові напруження стиску, які позитивно впливають на міцність і довговічність конструкційних елементів при розтягу, багатоцикловій втомі, згині та контактній витривалості, циклічному навантаженні. Залишкові напруження не рівномірно розподіляються по товщині покриття, а їх величина та характер розподілу залежать і керуються технологічними параметрами процесу дифузійного насичення.

На сьогодні існує багато способів визначення залишкових напружень, серед яких найпоширеніші експериментально-розрахункові методи. Для практики надзвичайно важливе значення має визначення величини й характеру залишкових напружень з урахуванням матеріалу і конструктивних особливостей деталей машин, виду покриттів та технології їх нанесення. Серед існуючих способів більшість присвячена визначенню середньої величини залишкових напружень у покриттях, що одержуються методом осадження, з допущенням їх рівномірного розподілу по товщині [6, 7, 9, 10]. Приклади визначення таких залишкових напружень у вакуум-плазмових покриттях описані в працях [9, 10]. Недоліком такого методу є низька точність визначення залишкових напружень при товщині пластинок із покриттям більшим за 1мм.

Значно менша частина способів існує для визначення залишкових напружень у дифузійних покриттях, в яких має місце значна нерівномірність їх розподілу по товщині покриття, що є важливим для експлуатаційних характеристик. Прикладом визначення таких залишкових напружень у дифузійних покриттях є метод М. М. Давиденкова [2].

Величина залишкових напружень та їх розподіл по глибині дифузійного шару визначаються за методом М. М. Давиденкова [2] шляхом безперервного видалення травленням напруженого шару з одночасним автоматичним записом кривої деформації плоского зразка на приладі ПІОН. Розрахунок напружень проводиться за формулою:

$$\sigma = \frac{E \cdot a^2 \cdot K}{3b^2} \cdot \frac{df}{da}, \qquad (1)$$

де E – модуль пружності матеріалу, Па;

*a* – товщина зразка в середньому січенні без половини стравленого шару, мм;

*b* – половина віддалі між осями закріплюючих гвинтів, мм;

*df*/da – інтенсивність зміни стріли прогину зразка залежно від його товщини;

*K* – коефіцієнт, що дорівнює відношенню масштабів запису по осях X і Y.

Недоліком методу є те, що він складний, потребує спеціального обладнання й відповідних травників для покриття.

Ми застосували експериментально-розрахунковий спосіб визначення залишкових напружень у дифузійних покриттях [11], який включає визначення параметра відхилення зразка у вигляді пластини певного січення від прямолінійного положення при навантаженні консольно защемленого зразка з покриттям на верхній площині та ідентичного зразка без покриття однаковим вантажем величиною P, який створює в зразку без покриття максимальні напруження згину, що мають величину більшу за залишкові напруження, але не перевищують границю пропорційності матеріалу. Вимірюють відхилення кожного зразка від початкового положення і знаходять різницю прогинів зразків із дифузійним покриттям і без покриття. За цією різницею прогинів із формули прогину консольної балки визначають силу $P_1$, по якій знаходять величину залишкових напружень за формулою згину консольної баки при дії відомого згинального моменту й моменту опору січення зразка.

**Мета досліджень** – визначення залишкових напружень у сталі після іонного азотування.

**Матеріали та методика досліджень.** На стальну пластину, завширшки b і завтовшки h, з одного боку наносять дифузійне покриття методом іонного азотування за певним режимом, консольно прикріплюють зразок покриттям уверх. Протилежний кінець зразка на віддалі L навантажують силою P і за допомогою лазерного датчика з великою точністю заміряють стрілу прогину Y1. Аналогічно вимірюємо стрілу прогину Y2 для зразка без покриття (рис. 1). Знаходимо різницю прогинів:

$$Y = Y_2 - Y_1. \qquad (2)$$

З формули прогину консольної балки під дією сили $P_1$

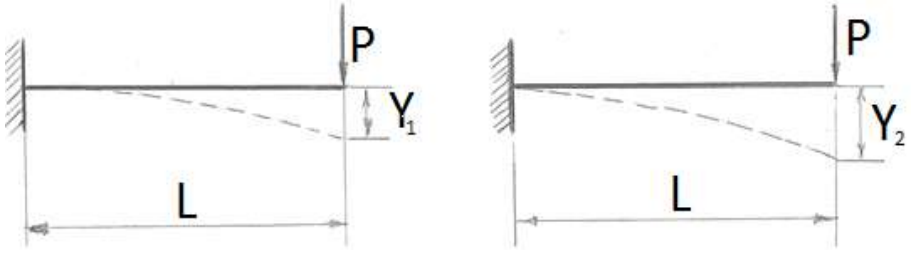
$$Y = \frac{P_1 L^3}{3EJ_Z}, \qquad (3)$$

знаходимо $P_1$.

$$P_1 = \frac{3YEJ_Z}{L^3}, \qquad (4)$$

де E – модуль Юнга матеріалу пластини;

$J_z$ – момент інерції поперечного січення пластини.




*а* *б*

**Рис. 1. Схема навантаження пластини при випробуваннях:**
а – пластина з покриттям; б – пластина без покриття

Визначаємо середнє значення залишкових напружень за формулою:

$$\sigma = \frac{6P_1L}{bh^2}. \qquad (5)$$

Величину залишкових напружень в будь-якій точці покриття знаходимо за формулою:

$$\sigma_z = \sigma \cdot e^{-\frac{k(z-0.45h_n)}{h_n - z}}, \qquad (6)$$

де $z$ – віддаль від поверхні до точки знаходження залишкових напружень у покритті;

$h_n$ – товщина покриття;

$k$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури Т°К нанесення дифузійного покриття. Наприклад, при іонному азотуванні k = 900/ Т°К, який знаходиться з експерименту.

Наведемо конкретний приклад реалізації запропонованого способу.

Пластини зі сталі ШХ15 завтовшки 3 мм і завширшки 12 мм після іонного азотування за різними режимами (табл. 1) навантажували силою P = 60 Н на віддалі L = 140 мм від защемленого кінця і замірювали прогин пластини $Y_1$ у місці прикладання сили. Аналогічно навантажували ідентичну пластину без покриття такою самою силою P і замірювали прогин $Y_2$. Використовуючи формули (4), (6) і (7) знаходимо Y, $P_1$ і σ для кожного режиму іонного азотування.

Для скорочення кількості експериментів при дослідженні впливу зазначених вище технологічних параметрів на фізико-механічні властивості та залишкові напруження в азотованому шарі, було застосовано метод планування експериментів – 4-факторний план другого порядку Хартлі [12], відповідно до якого, азотування проводилося за 17 режимами (табл.1). При цьому математична залежність залишкових напружень від технологічних параметрів процесу азотування описується рівнянням регресії , яке має вигляд:

$$\varphi(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{44} x_4^2 +$$

$$+ \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{24} x_2 x_4 + \beta_{34} x_3 x_4, \qquad (7)$$

де $\varphi(x)$ – функція відклику (вихідна змінна);

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – коефіцієнти рівняння регресії;

$x_i, x_j$ – незалежні змінні величини (фактори).

**Результати досліджень.** Результати експериментів та розрахунків наведено в табл. 1. З таблиці видно, що технологічні параметри процесу азотування мають значний вплив на властивості та залишкові напруження в азотованих шарах, які змінюються у широких межах. Зокрема, середнє значення залишкових напружень $\sigma_c$ знаходиться в межах 262–346 МПа, а максимальні залишкові напруження на поверхні $\sigma_п$ – у межах 477–651 МПа за даних режимів азотування. При цьому вони залежать від твердості й товщини азотованого шару. На основі експериментальних

даних одержано математичну залежність $\sigma_п$ від технологічних параметрів процесу азотування як рівняння регресії другого порядку:

$$\sigma_п\,(\text{МПа}) = 620 + 85\,x_1 + 62{,}5\,x_2 + 12{,}2\,x_3 - 16{,}8\,x_4 - 52{,}9\,x_1^2 - 33{,}2\,x_2^2 - 25{,}7\,x_3^2 - 91{,}6\,x_4^2 - 58{,}9\,x_1x_2 + 21{,}4\,x_1x_3 - 29{,}6\,x_1x_4 - 30\,x_2x_3 - 32{,}1\,x_2x_4 - 95{,}8\,x_3x_4, \quad (8)$$

Де $x_1 = \frac{T - 540}{60}$; $x_2 = \frac{P - 240}{160}$; $x_3 = \frac{\tau - 130}{110}$; $x_4 = \frac{Ar - 38}{38}$

На рис. 2 і 3 наведено графіки залежності $\sigma_п$ від технологічних параметрів процесу іонного азотування, побудовані на основі рівняння (8), з яких видно, що ці залежності мають екстремальний характер і існують певні значення кожного з технологічних параметрів (температури, тиску, часу дифузійного насичення і вмісту аргону в насичувальному середовищі), за яких залишкові напруження досягають екстремального значення. При цьому існує технологічний режим азотування, що забезпечує максимальне значення залишкових напружень. Для сталі ШХ15 таким технологічним режимом є: $T$ = 570 °С; $P$ = 240 Па; т = 240 хв; 81об.%$N_2$+19об.% Ar, що забезпечує $\sigma_п$ = 718 МПа.

**1. Вплив технологічних режимів іонного азотування на товщину $h_п$ і мікротвердість $H_{100}$ азотованого шару та залишкові напруження на поверхні $\sigma_п$ і середні $\sigma_с$, у сталі ШХ15**

| № режиму азотування | Значення факторів режиму азотування | | | | $h_п$, мкм | $H_{100}$, МПа | $Y$, мм | $\sigma_с$, МПа | $\sigma_п$, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T$, °С | $P$, Па | т, хв. | об. % Ar, | | | | | |
| 1 | 570 | 320 | 185 | 57 | 317 | 8248 | 6,82 | 313 | 589 |
| 2 | 510 | 320 | 185 | 57 | 230 | 7828 | 6,54 | 300 | 559 |
| 3 | 570 | 160 | 185 | 19 | 306 | 9110 | 7,54 | 346 | 651 |
| 4 | 510 | 160 | 185 | 19 | 218 | 7450 | 6,55 | 286 | 520 |
| 5 | 570 | 320 | 75 | 19 | 248 | 9105 | 7,48 | 349 | 650 |
| 6 | 510 | 320 | 75 | 19 | 162 | 7970 | 6,82 | 313 | 545 |
| 7 | 570 | 160 | 75 | 57 | 216 | 8660 | 7,26 | 333 | 619 |
| 8 | 510 | 160 | 75 | 57 | 171 | 7115 | 6,08 | 279 | 480 |
| 9 | 480 | 240 | 130 | 38 | 158 | 6680 | 5,61 | 262 | 430 |
| 10 | 600 | 240 | 130 | 38 | 312 | 9060 | 6,50 | 344 | 647 |
| 11 | 540 | 80 | 130 | 38 | 188 | 7440 | 6,37 | 292 | 510 |
| 12 | 540 | 400 | 130 | 38 | 280 | 9190 | 7,70 | 353 | 656 |
| 13 | 540 | 240 | 20 | 38 | 120 | 8249 | 7,22 | 331 | 589 |
| 14 | 540 | 240 | 240 | 38 | 300 | 8591 | 7,11 | 326 | 614 |
| 15 | 540 | 240 | 130 | 0 | 277 | 8374 | 6,92 | 318 | 598 |
| 16 | 540 | 240 | 130 | 76 | 233 | 7902 | 6,55 | 300 | 564 |
| 17 | 540 | 240 | 130 | 38 | 276 | 8780 | 7,26 | 330 | 627 |

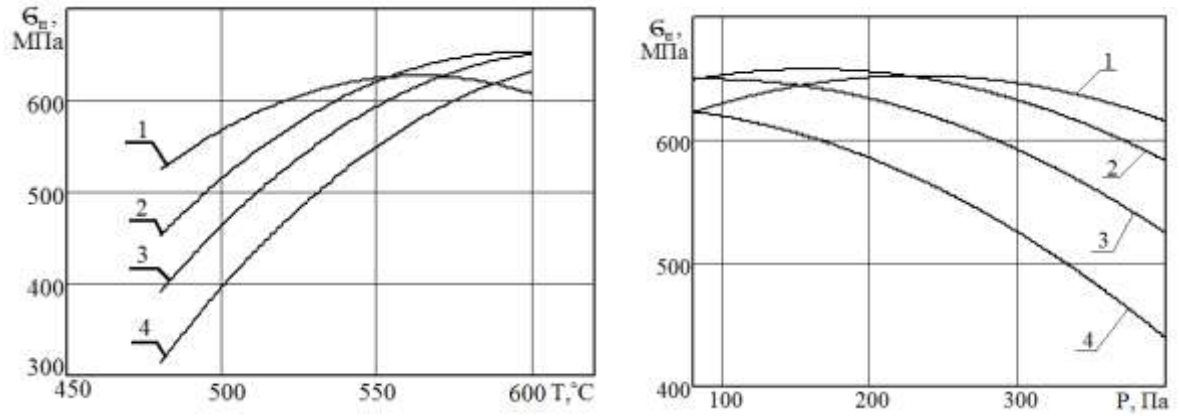
На рис. 4 наведено залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі ШХ15 від твердості цієї поверхні за різних режимів іонного азотування в безводневих середовищах. З рисунка

видно, що існує кореляційна залежність між цими характеристиками, яку можна описати такою формулою:

$$H_п = H_o + k \cdot \sigma_п, \qquad (9)$$

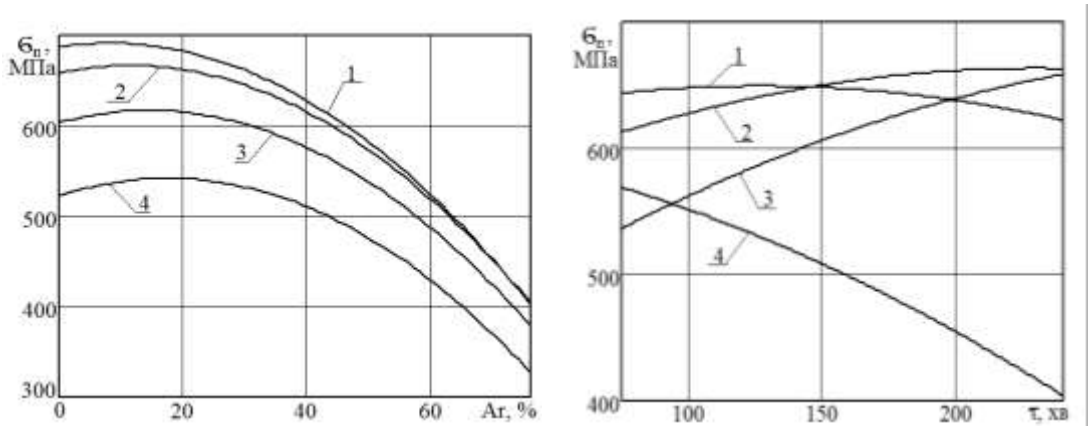
де $H_п$ *і* $H_o$ – твердість поверхні азотованого шару й твердість основи сталі;

*k* – коефіцієнт пропорційності, який знаходиться з експерименту для кожної марки сталі після азотування. Коефіцієнт $k = \mathrm{ctg}\alpha = (H_п - H_o)/\sigma_п$ і для сталі ШХ15 дорівнює 10,2.




а б

**Рис. 2. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі ШХ15 від температури іонного азотування й тиску у вакуумній камері:** а) $\sigma_п$= ?(T°C) при т = 130 хв, суміші 81об.% N2 + 19 об. % Ar, тиску: 1 – 80 Па, 2 – 240 Па, 3 – 320 Па, 4 – 400 Па; б) $\sigma_п$ = ?(P) при часі дифузійного насичення т= 130 хв, в суміші 62 об.%$N_2$ + 38 об. % Ar та за різних температур азотування: 1 – 600 °C, 2 – 570 °C, 3 – 540 °C, 4 – 510 °C




а б

**Рис. 3. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі ШХ15 від вмісту аргону в насичувальному середовищі та часу дифузійного насичення:** а) $\sigma_п$ = ?(Ar об. %) при часі азотування т = 240 хв. і тиску P = 240 Па та за різних температур азотування: 1 – 600 °C, 2 – 570 °C, 3 – 540 °C, 4 – 510 °C; б) $\sigma_п$ = *ƒ*(т) при тиску P = 240 Па і температурі 570 °C та в різних середовищах: 1 – 62 об. % $N_2$ + 38 Ar об. %, 2 – 84 об. % $N_2$ + 19 Ar об. %, 3 – 100 об. % $N_2$, 4 – 24 об. % $N_2$ + 76 Ar об. %

Відомо [1], що в азотованих шарах твердість та модуль пружності пов'язані зі структурою матеріалу і зменшуються по товщині від поверхні в глибину за експоненціальною залежністю. Залишкові напруження в азотованому шарі також пов'язані з його структурою і розподіляються по товщині покриття нерівномірно. Для визначення розподілу залишкових напружень по товщині азотованого шару запропоновано формулу (6), з використанням якої одержано графіки (рис. 5) розподілу залишкових напружень по товщині азотованих шарів, отримані після азотування за режимами (табл. 1).

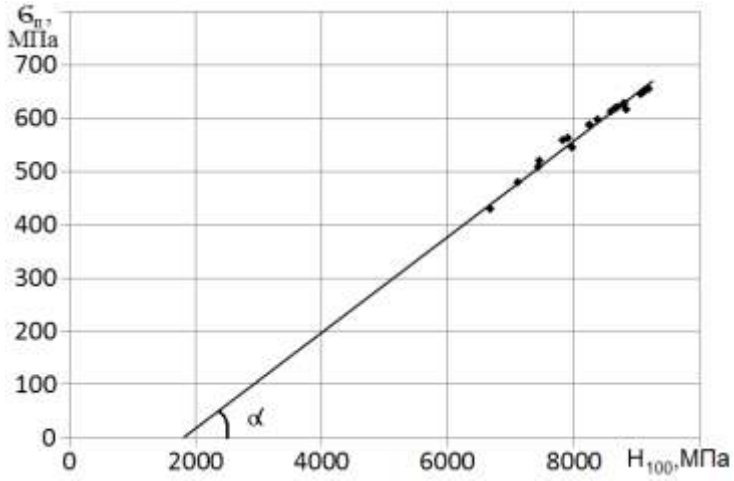



**Рис. 4. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару $б_п$ від твердості $H_{100}$ азотованої поверхні сталі ШХ15**

З графіків видно, що максимальні залишкові напруження стиску виникають на поверхні, зменшуються по товщині азотованого шару за експоненціальною залежністю і досягають мінімального значення на границі з основою.

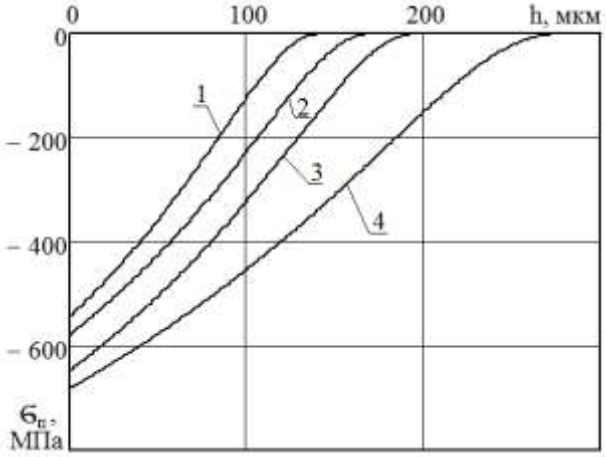



**Рис. 5. Розподіл залишкових напружень в азотованому шарі сталі ШХ15 після іонного азотування за різними режимами (табл. 1):**
1 – режим № 9, 2 – режим № 11, 3 – режим № 7, 4 – режим № 3

## Висновки

Технологічні параметри процесу іонного азотування значною мірою впливають на залишкові напруження стискання, що виникають в азотованих шарах, і їх величину можна змінювати в широких межах за рахунок зміни температури, тиску, складу насичувального середовища та часу дифузійного насичення.

Залежність залишкових напружень в азотованих шарах від технологічних параметрів процесу азотування має екстремальний характер із вираженим максимумом, що дає змогу оптимізувати процес зміцнення задля одержання оптимальних значень залишкових напружень для забезпечення максимальних експлуатаційних характеристик конструкційних елементів.

Залишкові напруження на поверхні азотованих шарів мають кореляційний зв'язок із твердістю поверхні азотованого шару та зменшуються по товщині азотованого шару за експоненціальною залежністю.

## Список літератури


1. Каплун В. Г. Ионное азотирование в безводородных середах / В. Г. Каплун, П. В. Каплун // Хмельницький : ХНУ, 2015. – 344 с.

2. Давиденков Н. Н. Об измерении остаточных напряжений / Н. Н. Давиденков // Заводская лаборатория. – 1937. – № 8. – С. 987–990.

3. Карпенко Г. В. Влияние диффузионных покрытий на прочность стальных изделий / Г. В. Карпенко, В. И. Похмурский, В. Б. Далисов, В. С. Замиховский. – К. : Наук. думка, 1971. – 167 с.

4. Барвинок В. А. Теоретические и экспериментальные исследования формирования напряженного состояния плазменных покрытий / В. А. Барвинок, В. И. Богданович, А. Г. Цидулко // В кн.: Температуроустойчивые покрытия. – Л. : Наука, 1985. – С. 141–145.

5. Похмурский В. И. Характер распределения остаточных напряжений первого рода в поверхностных слоях сталей и сплавов с защитными покрытиями / В. И. Похмурский, Г. В. Карпенко // Физико-химическая механика металлов, 1968. – Т. 4, № 4. – С. 381–383.

6. Антонюк В. С. Залишкові напруження в вакуум-плазмових покриттях TiN, (TiAl)N, (TiC)N / В. С. Антонюк, О. Б. Сорока, А. В. Рутковський, В. І. Мірненко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2004. – № 7 (77), ч. 2. – С. 206–210.

7. Teixeira V. Residual stress and cracking in thin PVD coatings / V. Teixeira // Vacuum. – 2002. – V. 64, № 3–4. – С. 393–399.

8. Патент 101477030 CN. G01N19/04. Measuring method for residual stress in coating / Binshi Xu, Xiancheng Zhang, Haidou Wang; Yixiong Wu. – № 200810055923.1; заявл. 02.01.2008 ; опубл. 08.07.2009.

9. Патент № 28383 Україна: GO 1L1/06. Спосіб визначення структурних і температурних складових залишкових напружень в покриттях / Антонюк В. С., Сорока О. Б., Клименко С. А., Копейкіна М. Ю. – № u200707507 ; заявл. 04.07.2007 ; опубл. 10.12.2007

10. А.С. 1805307. G01L1/00. Способ определения остаточных напряжений в полосовых заготовках / Колмогоров Г. Л. – № 4888114/28 ; заявл. 06.12.1990 ; опубл. 30.03.1993, Бюл. № 12.

11. Каплун П. В. Визначення залишкових напружень в азотованих шарах після іонного азотування / П. В. Каплун, В. А. Гончар, Т. В. Донченко, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 6.– С. 7–12.

12. Красовский Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СТАЛИ ШХ15 ПОСЛЕ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

***В. Г. Каплун, Т. В. Донченко, П. В. Матвиишин***

**Аннотация.** *Проанализировано влияние остаточных напряжений на прочность и эксплуатационные характеристики конструкционных покрытий. Приведены результаты экспериментальных исследований остаточных напряжений в диффузионных слоях после ионного азотирования стали ШХ15 в безводородных средах за разными технологическими режимами. На основе планирования экспериментов получены аналитические и графические зависимости величины остаточных напряжений от изменения технологических параметров процесса ионного азотирования, установленна зависимость остаточных напряжений на поверхности азотированного слоя от его твердости.*

**Ключевые слова:** ***ионное азотирование, остаточные напряжения, технологические параметры, твердость***

## RESIDUAL STRESSES IN SHH15 STEEL AFTER ION NITRIDING

***V. Kaplun, T. Donchenko, P. Matviishin***

**Annotation.** *The analysis of influence of residual stresses on the strength and performance of construction parts. The experimental results of residual stresses in the diffusion layers after ion nitriding of SHH15 steel in hydrogen-free environments in different technological modes. Based on the planning experiments we have arrived at the results on analytical and graphical dependence of residual stress of changing technological parameters of ion nitriding. We specified the relation of residual stresses on the surface of the nitrided layer to its hardness.*

**Key words:** ***ion nitriding, residual stresses, technological parameters, hardness***

УДК 621.825.5/.7

# НАВАНТАЖУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ МУФТ ІЗ ТОРЦЕВОЮ УСТАНОВКОЮ КАНАТІВ РІЗНИХ ВАРІАНТІВ РОЗТАШУВАННЯ

***В. О. Проценко, кандидат технічних наук***
***О. Ю. Клементьєва, аспірантка****
***Херсонська державна морська академія***
***e-mail: vesnyk_ksma@ukr.net***

**Анотація.** *Подано теоретичні дослідження навантажувальної здатності муфт із торцевою установкою канатів хордального та тангенціального розташування. Досліджено можливості забезпечення рівної навантажувальної здатності цих двох конструкцій муфт. Дослідження навантажувальної здатності муфт із тангенціальним розташуванням виконано з урахуванням геометричних обмежень їх існування. Результати чисельного моделювання, що проілюстровані графіками, дають змогу наочно оцінити отримані результати. У результаті проведених досліджень встановлено, що за однакових габаритів, кількості канатів та їх робочого натягу, муфта з хордальним їх розташуванням має більшу навантажувальну здатність, ніж муфта із тангенціальним розташуванням канатів. Показано, що способом забезпечення рівної їх навантажувальної здатності є збільшення кількості канатів при незмінному їх діаметрі та робочому натягу.*

**Ключові слова:** ***муфта, канат, навантаження, компоновка, обмеження***

Проектування сучасних машин потребує створення ефективних конструкцій їх деталей, які, за можливості, повинні характеризуватися рівноміцністю. Для цього необхідно мати чітке уявлення про вплив специфіки роботи різних машин на вимоги до деталей і складальних одиниць загального призначення. Це потребує нових теоретичних та експериментальних досліджень деталей машин.

У попередніх працях авторів [1, 2] запропоновано нові конструкції муфт із торцевою установкою канатів – муфти з канатами хордального розташування та муфти з канатами тангенціального розташування. Виконано обґрунтування деяких конструктивно-силових параметрів таких муфт, проте співвідношення характеристик (зокрема навантажувальної здатності) цих муфт для виявлення випадків переважного застосування кожної конструкції, не встановлено.

---

* Науковий керівник – кандидат технічних наук В. О. Проценко

*© В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва, 2016*

**Мета досліджень –** теоретичне дослідження навантажувальної здатності муфт з торцевою установкою канатів хордального і тангенціального розташування.

**Матеріали та методика досліджень.** Розглянемо подібну для обох муфт конструктивну схему, показану на рис. 1 на прикладі муфти з тангенціальним розташуванням канатів.

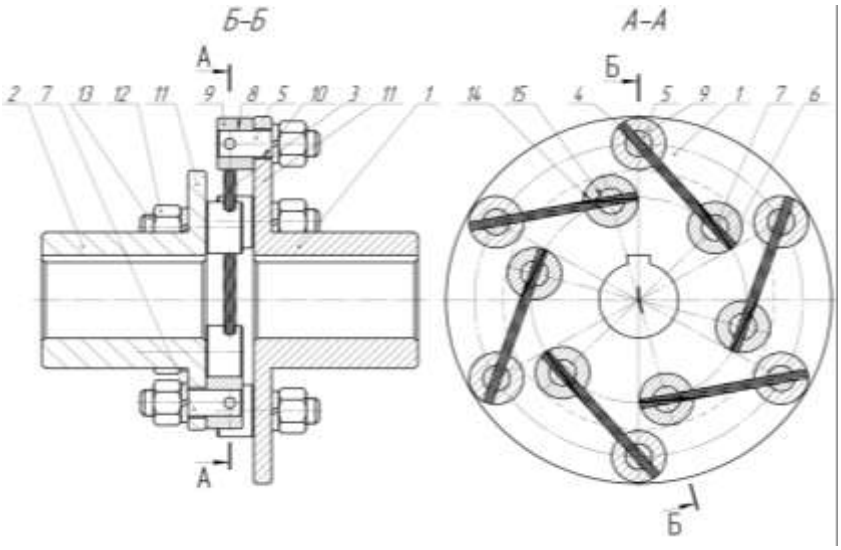



**Рис. 1. Схема муфт із торцевою установкою прямих канатів (на прикладі муфти з канатами тангенціального розташування)**

Муфта складається з двох напівмуфт – зовнішньої 1 і внутрішньої 2, що сполучені за рахунок пружних елементів 3, якими є канати, кожен з яких закріплений одним кінцем 4 в пальці 5, встановленому в зовнішній напівмуфті 1, а іншим кінцем 6 в пальці 7, встановленому у внутрішній напівмуфті 2. Пальці 5 і 7 пропущені в осьові отвори 8 втулок 9 та отвори 10 фланців 11 напівмуфт 1 і 2 та затягнуті гайками 12, встановленими на їх різьбові кінці 13. Канати пропущені в поперечні отвори 14 втулок 9 і отвори 15 пальців 5 і 7. Пальці 5 і 7 в муфті з тангенціальним розташуванням канатів встановлені у своїх напівмуфтах на колах різних діаметрів $D_{зв}$ та $D_{вн}$, а в муфті з хордальним розташуванням – на колі одного діаметра $D_{зв}$ (для якого осі канатів є хордами).

З метою оцінки навантажувальної здатності було розглянуто розрахункову схему муфти з хордальним розташуванням канатів, у якої $D_{зв}$ = 145 мм, $d_к$ = 4,0 мм, $d_{вт}$ = 24 мм. При цьому встановлено, що на діаметрі $D_{зв}$ = 145 мм можна розташувати $z$ = 8 канатів завдовжки $L_к \approx 56$ мм. Прийнявши допустиму робочу силу натягу канатів $F_н$ = 1000 Н (для зручності обрахунку), встановлено, що ця муфта при хордальному розташуванні канатів може передавати момент $T_x$ = 536 Нм.

**Результати досліджень.** Розрахункову схема муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування показано на рис. 2.

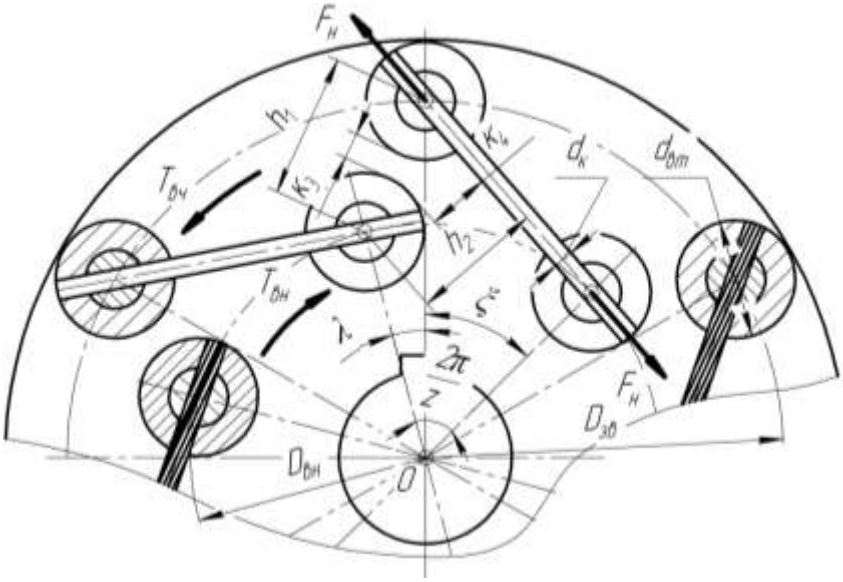



**Рис. 2. Розрахункова схема муфти з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування**

Одними з основних вихідних даних під час перевірки зазначених умов існування муфти, крім згаданих, є кут монтажного зміщення напівмуфт $\xi$, який визначає навантаженість канатів та навантажувальну здатність муфти, тому за рахунок його зміни можна виконувати зміну моменту муфти. Кут $\xi$ визначає також виконання геометричних умов існування муфти – відсутність інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт (1) і відсутність інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти (2). Перша зі згаданих умов виконується за наявності зазору $к_3$ між ними. Друга умова виконується за наявності зазору $к_4$ між ними. Таким чином, забезпечення вказаної умови зводиться до обчислення величини відстані $h_2$ між віссю $C$ втулки внутрішньої напівмуфти та віссю $AB$ каната.

$$\kappa_3 = h_1 - d_{вт} \geq 0. \qquad (1)$$

$$\kappa_4 = h_2 - 0{,}5(d_{вт} + d_к) \geq 0. \qquad (2)$$

$$h_1 = 0{,}5\left(D_{зв} - D_{вн}\cos\lambda\right)\times\sqrt{1+B^2}, \qquad (3)$$

$$h_2 = \frac{0{,}5\left(D_{зв} - D_{вн}\cos\lambda\right)\times\sqrt{1+B^2}\times C}{\sqrt{1+C^2}}, \qquad (4)$$

де

$$A = \frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi}, \qquad (5)$$

$$B = \frac{D_{вн} \sin \lambda}{D_{зв} - D_{вн} \cos \lambda}, \qquad (6)$$

$$C = \frac{A + B}{1 - A \times B}, \qquad (7)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{z} - \xi. \qquad (8)$$

Іншою умовою існування муфти з тангенціально розташованими канатами є умова забезпечення можливості затягування гайок (9).

$$t_{вн} = D_{вн} \sin \frac{\pi}{z} \geq [A], \qquad (9)$$

де [*A*] – розмір «під ключ» згідно з ГОСТом 13682-80.

Момент, що здатна передати муфта з тангенціально розташованими канатами становить:

$$T_m = \frac{z D_{зв} D_{вн} \sin \xi F_н}{4\sqrt{0{,}25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - 0{,}5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}. \qquad (10)$$

Для встановлення взаємного впливу конструктивних параметрів муфт із тангенціальним розташуванням канатів було виконане чисельне моделювання за наведеними формулами (1)–(10) для кількох варіантів співвідношень конструктивних параметрів муфт.

Під час розрахунків використовували основні конструктивні параметри аналогічні муфті з хордально розташованими канатами, що наведені вище, крім цього вважали, що наближено $A \geq 6d_к$. Результати чисельного моделювання для кількох варіантів співвідношень конструктивних параметрів муфт наведені нижче як графіки.

*Варіант 1.* Кількість канатів *z* (8 шт.), їх натяг $F_н$, діаметр $d_к$ та зовнішній габарит муфти ($D_{зв}$ = 145 мм, $D_{вн}$ = 110 мм) з тангенціально розташованими канатами відповідають кількості та параметрам канатів, а також габариту муфти-прототипу з хордально розташованими канатами. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів подано на рис. 3.

Аналіз графіків, поданих на рис. 3 дає можливість стверджувати, що обмеження по затягуванню гайок, згідно з умовою (9), за такої кількості канатів відсутнє, оскільки суцільна пряма лінія $t_{вн}$ лежить вище, ніж штрихова пряма *[A]*.

Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок згідно з умовами (1) та (2) відсутня при кутах $\xi \approx 0\ldots27°$. Лімітуючим компоновочним параметром є розрахунковий зазор $к_3$, який при куті $\xi$ менше за 27° приймає значення більше від нуля (цій позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). Крім

цього, графік показав, що за однакових габаритів, кількості та натягу канатів, муфта з хордальним їх розташуванням має на 18 % більшу навантажувальну здатність ($T_x$ = 536 Нм) порівняно з муфтою із тангенціальним розташуванням канатів ($T_m$ = 439 Нм).

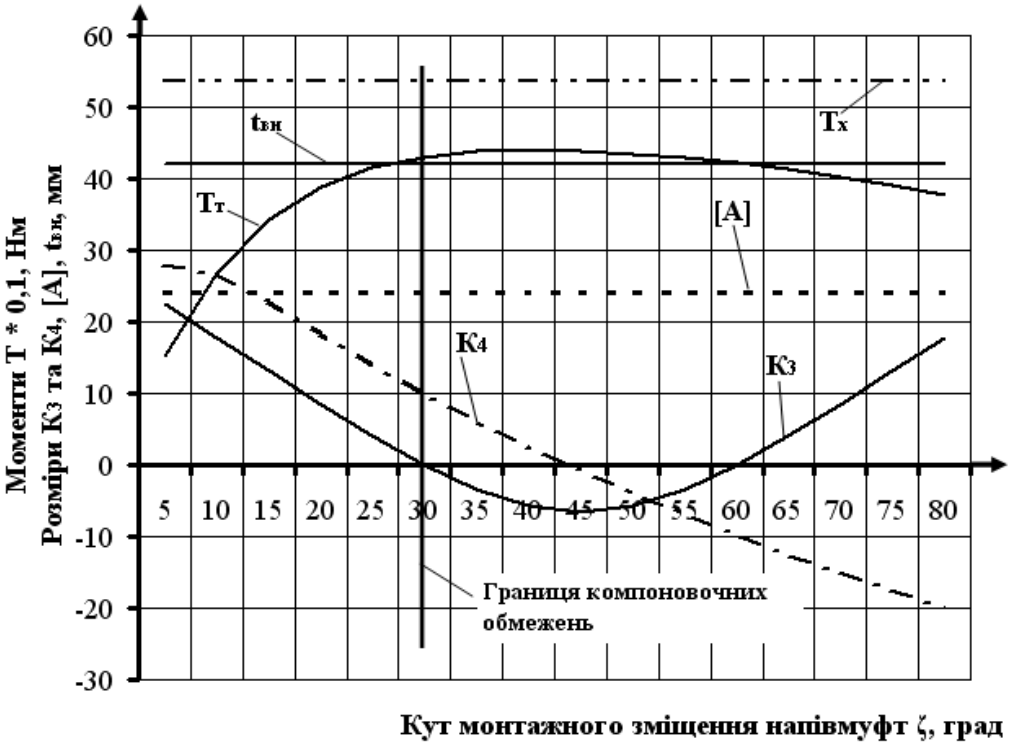



**Рис. 3. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по першому варіанту**

*Варіант 2.* Кількість канатів $z$, у муфті з тангенціально розташованими канатами збільшена на 50 % (з 8 до 12 шт.), їх натяг $F_н$ та діаметр $d_к$, а також зовнішній габарит ($D_{зв}$ = 145 мм, $D_{вн}$ = 110 мм) відповідають муфті-прототипу з хордально встановленими канатами. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів подано на рис. 4.

Аналіз графіків на рис. 4 свідчить, що обмеження по затягуванню гайок згідно з умовою (9), за такої кількості канатів (12 шт.) також відсутнє. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок, згідно з умовами (1) та (2), відсутня при кутах $\xi \approx 0…13^{\circ}$. Лімітуючим компоновочним параметром є розрахунковий зазор $к_3$, який при куті $\xi$ менше за 13º приймає значення більше від нуля (цій позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). Дані рис. 4 дають змогу стверджувати, що за однакових габаритів, діаметра та натягу встановлених канатів муфти з хордальним і тангенціальним їх розташуванням можуть мати практично однакову навантажувальну здатність ($T_x$ = 536 Нм, $T_m$ = 515 Нм), однак її забезпечення потребує збільшення кількості канатів у муфті з тангенціальним їх розташуванням на 50 % (з 8 до 12 шт.).

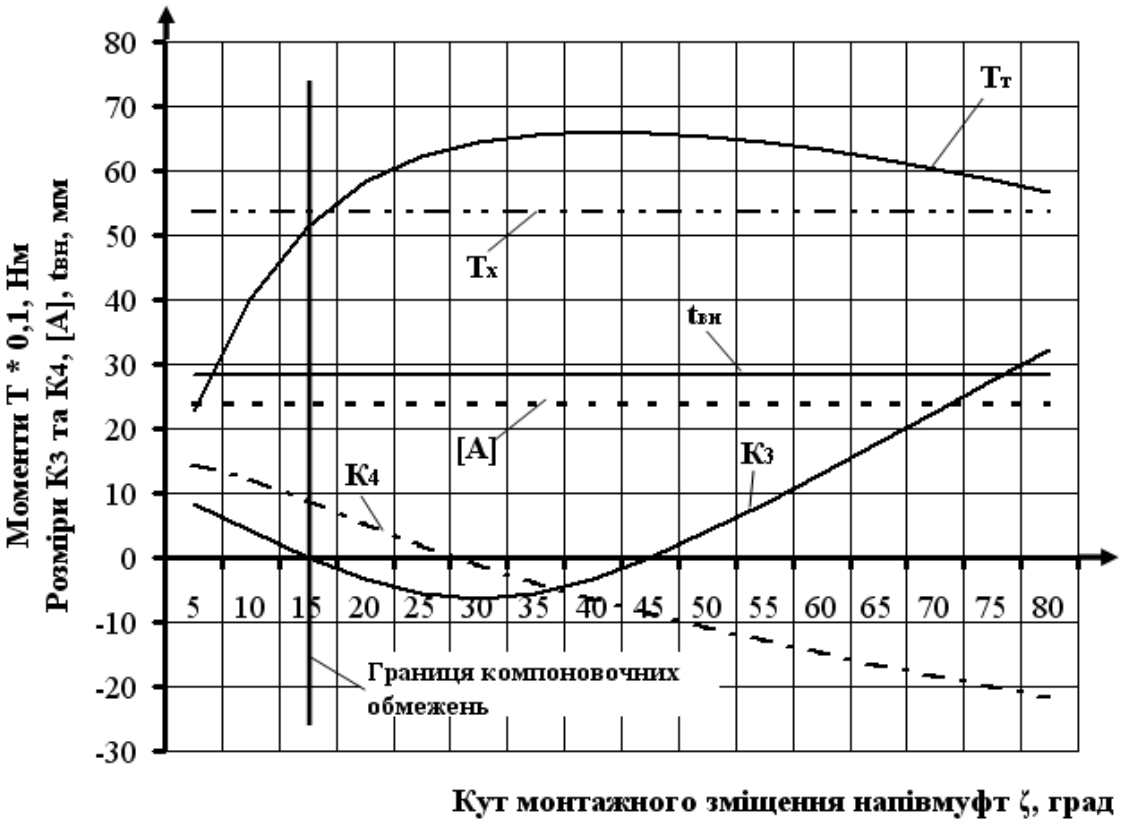



**Рис. 4. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по другому варіанту**

*Варіант 3.* Діаметр канатів $d_к$ у муфті з тангенціальним їх розташуванням зменшений вдвічі (з 4 до 2 мм) із відповідним зменшенням вдвічі діаметрів пальців та втулок, а також допустимого робочого натягу канатів до $F_н$ (з 1000 до 500 Н). Зовнішній габарит залишений без змін ($D_{зв}$ = 145 мм, $D_{вн}$ = 112 мм). За рахунок зменшення діаметрів втулок $d_{вт}$ у цьому варіанті вдалося збільшити кількість канатів $z$ втричі (з 8 до 24 шт.). Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів подано на рис. 5.

Аналіз графіків на рис. 5 дає змогу встановити, що обмеження по затягуванню гайок у цьому варіанті відсутні, але резерв для збільшення кількості канатів залишається незначний. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок відсутня при кутах $\xi \approx 0…20^{\circ}$. Лімітуючим компоновочним параметром є розрахунковий зазор $к_4$, який при куті $\xi$ менше, ніж 20° приймає значення більше від нуля (цій позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). Муфта з тангенціально розташованими канатами в такому варіанті може передавати момент $T_m$ = 603 Нм, який практично дорівнює моменту муфти-прототипу з хордально розташованими канатами ($T_x$ = 536 Нм).

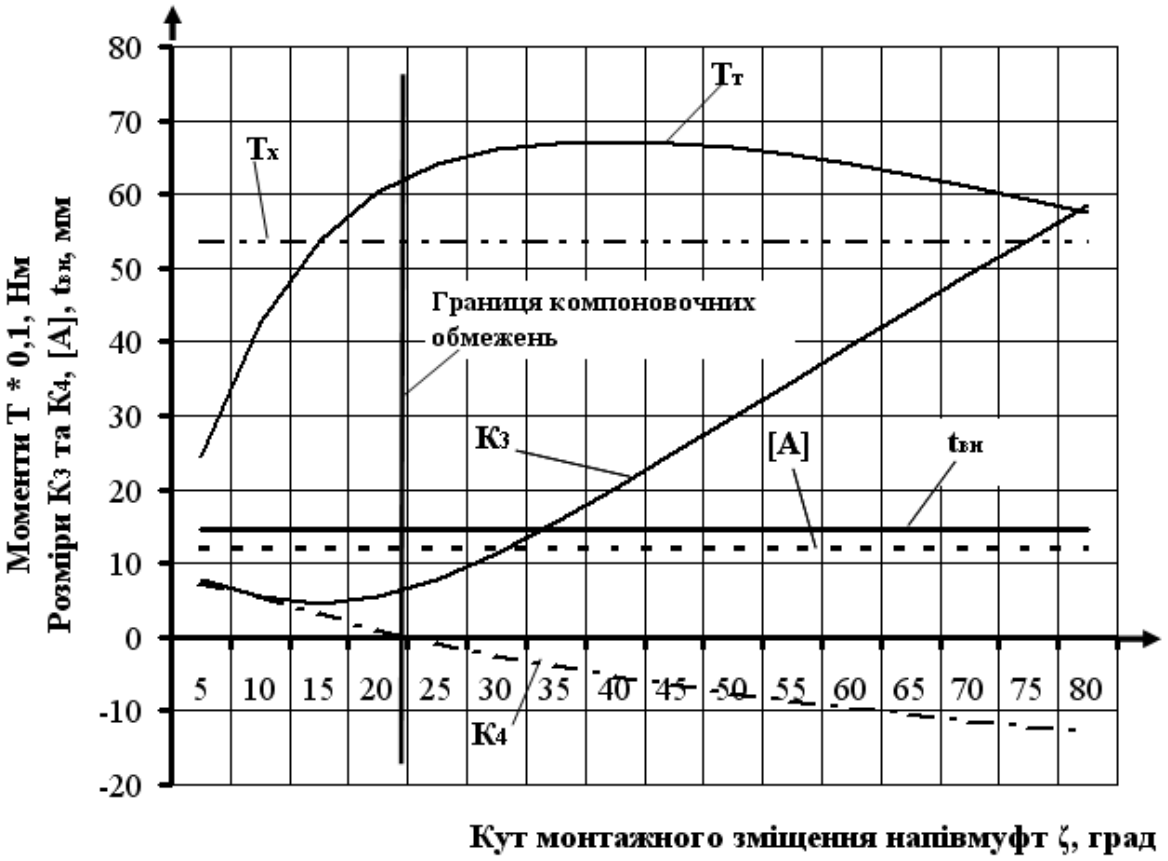



**Рис. 5. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по третьому варіанту**

Таким чином, за однакових габаритів, рівну навантажувальну здатність муфт із хордальним і тангенціальним розташуванням канатів можна забезпечити за рахунок оснащення останньої, втричі більшої, кількості канатів вдвічі меншого діаметра та допустимого натягу.

## Висновки

1. Показано, що за однакових габаритів, кількості канатів ($z$ = 8) та їх робочого натягу, муфта з хордальним їх розташуванням має на 18 % більшу навантажувальну здатність ($T_x$ = 536 Нм), ніж муфта із тангенціальним розташуванням канатів ($T_m$ = 439 Нм).

2. Встановлено, що за однакових габаритів, діаметра та робочого натягу встановлених канатів, муфти з хордальним і тангенціальним їх розташуванням можуть мати практично однакову навантажувальну здатність ($T_x$ = 536 Нм, $T_m$ = 515 Нм), однак її забезпечення потребує збільшення кількості $z$ канатів у муфті з тангенціальним розташуванням на 50% (з 8 до 12 шт.).

3. Показано, що в муфті з тангенціально розташованими канатами, за зменшення діаметра та робочого натягу канатів удвічі й збільшення їх кількості втричі, можливо забезпечити навантажувальну здатність ($T_m$ = 603 Нм), адекватну базовій муфті з хордально розташованими канатами ($T_x$ = 536 Нм) за незмінних габаритів.

## Список літератури

1. Проценко В. О. Проектування муфти з торцевою установкою прямих канатів / В. О. Проценко // Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини. – К. : КНУБА. – 2011. – Вип. 77. – С. 44–50.

2. Проценко В. О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В. О. Проценко, В. О. Настасенко, О. Ю. Клементьєва // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса : Інтерпрінт, 2015. – № 4 (48). – С. 53–59.


## НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ МУФТ С ТОРЦЕВОЙ УСТАНОВКОЙ КАНАТОВ РАЗНЫХ ВАРИАНТОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ


***В. А. Проценко, О. Ю. Клементьева***



**Аннотация.** *Представлены теоретические исследования нагрузочной способности муфт с торцевой установкой канатов хордального и тангенциального расположения. Исследованы возможности обеспечения равной нагрузочной способности этих двух конструкций муфт с учетом геометрических ограничений их существования. В результате выполнения исследований установлено, что при одинаковых габаритах, количестве канатов и их рабочем натяжении, муфта с хордальным их расположением имеет большую нагрузочную способность, чем муфта с тангенциальным расположением канатов. Показано, что равную нагрузочную способность муфт с тангенциальным расположением канатов можно обеспечить за счет увеличения их количества.*



**Ключевые слова:** ***муфта, канат, нагрузка, компоновка, ограничения***


## LOAD CAPACITY OF COUPLINGS WITH FACE INSTALLATION ROPES WITH DIFFERENT LOCATION


***V. Protsenko, O. Klementyeva***



**Annotation.** *The article deals with theoretical researches the load capacity of couplings with face installation of ropes chordal and tangential arrangement. The possibilities of ensuring equal load capacity of these two designs of couplings based on geometric constraints of their existence. As a result of researches found that in the same space, the number of ropes and their work tension, coupling with chordal their location has a larger load capacity than the coupling with tangential arrangement of ropes. It is shown that an equal load capacity coupling with the tangential arrangement of the ropes can be achieved by increasing their number.*



**Key words:** ***coupling, rope, load, arrangement, restrictions***

УДК 502.7

# ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ РЕМОНТНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

***Є. В. Гороть, А. Л. Гловин***
***ВП НУБіП України „Бережанський агротехнічний інститут”***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Наведено результати розробки пристрою для очищення стічних вод сільськогосподарських ремонтних підприємств. Параметри пристрою обґрунтовані технологічними та міцнісними розрахунками, які допоможуть спроектувати й виготовити його в ремонтних цехах середнього рівня оснащеності.*

**Ключові слова:** ***стічні води, механічний метод очищення***

Ремонт сільськогосподарської техніки починається, супроводжується, а деколи й закінчується, мийними очисними операціями, і їх частка в загальній трудомісткості ремонту значна [1]. Відповідно, на ремонтних підприємствах накопичуються відходи, які необхідно утилізувати. В основному, це забруднені стічні води (далі стоки), які необхідно очищати перед скиданням в каналізаційну систему.

Великі ремонтні підприємства можуть розробити, виготовити й упровадити потрібні технології та засоби, чи то механічні, фізичні, хімічні, мікробіологічні, чи їх поєднання.

Існує чимало розроблених очисних систем [2]. Однак, як правило, це матеріало- й трудомісткі технології та великогабаритне устаткування.

Малі й середні фермерські господарства, яких є більшість, на своїх ремонтних дільницях такі нововведення запровадити не можуть через суттєве зростання капіталізації ремонтних витрат.

**Мета досліджень –** обґрунтування конструкції локального, невеликого, універсального й недорогого очисного пристрою з відповідною технологією очищення, обслуговування якого не супроводжувалося б значними матеріальними витратами, було періодичним і нетривалим.

Потреба у таких засобах величезна, оскільки забруднення довкілля викидами неочищених стоків, у тому числі й сільськогосподарських підприємств, призведе до того, що ми втратимо доступ до природно чистої питної води.

**Матеріали та методика досліджень.** Надалі ми обґрунтуємо нову розробку механічного методу очищення стоків, яка б задовольнила означені потреби, але спочатку наведемо загальну характеристику промислових стоків ремонтних сільськогосподарських підприємств. У складі стоків наявні: рідка фаза забруднюючих компонентів, таких як

*© Є. В. Гороть, А. Л. Гловин, 2016*

паливо мастильні речовини, у тому числі частково окислені, смоли, відпрацьовані синтетичні миючі засоби, в основі яких поверхнево-активні речовини (ПАР), синтетичні розчинники, лужні електроліти (кальцинована сода, металосилікат натрію), кислотні розчини та інші; тверда фаза: пісок, асфальтени, карбіди, металостружка, іржа, нагари, накипи; завислa фаза – згустки коагулянтів. У складі рідкої фази такі компоненти, як паливо-мастильні речовини, смоли, ПАР, синтетичні розчинники, є нерозчинними у воді, а кислоти, лужні електроліти – розчинними.

З метою ефективного очищення, як показав досвід, необхідно розділити забруднення по фазах відокремлених складових у такому порядку:

а) відокремити крупнодисперсну тверду фазу;

б) відокремити нерозчинну рідку й дрібнозернисту тверду фазу;

в) відокремити завислу фазу;

г) нейтралізувати, а згодом і відокремити, розчинну рідку фазу.

У такому самому порядку слід розміщувати й засоби очищення стоків. Для відзначених у пунктах а), б), в) найдоцільніше, з точки зору ефективності, енерго-, матеріало- і трудозатрат, використати новітні механічні способи й засоби очищення. Для відзначених у пункті г) фаз очищення слід використовувати хімічні, мікробіологічні способи чи їх поєднання. Однак, останнє стосується заключного, глибокого ступеня очищення і цим способом дрібні та середні сільськогосподарські підприємства користуватися не можуть. Винятком можуть бути спеціалізовані сільськогосподарські підприємства – постачальники пестицидів, отрутохімікатів, мінеральних та органічних добрив.

Далі покажемо передумови розробки нових механічних засобів очищення, які б відповідали потребам у компактності, малій матеріаломісткості, відсутності енергорушіїв та матеріалозатратному обслуговуванні.

У 80-х роках минулого століття в Українському НДІ поліграфічної промисловості (м. Львів) було розроблено і впроваджено технологію, сконструйовано й виготовлено ряд установок для очищення відпрацьованих розчинів формних процесів [3]. До складу розчинів входили солі та іони цинку й ПАР. В установці складники розмежовувалися, ПАР відбирався для повторного використання, а отруйні водні розчини з цинком нейтралізувалися (pH=8) і обезводнювалися фільтруванням. На установку й механізм ефективного розділення забруднень на складники отримано авторське свідоцтво [4].

Повертаючись до розмежування складників сільськогосподарських стоків по вищезазначених фазах, доцільне запозичення цього методу і пристрою саме для фаз очищення пункту б), але з урахуванням специфіки стоків ремонтних підприємств. Нетрадиційним було вирішення питань з інших пунктів щодо розмежування стоків. Так, для того, щоб відокремити від стоків крупнодисперсну тверду фазу (пункт а)), використано властивість випаду її в осад при одночасному сповільненні швидкості руху рідини та її напрямку на протилежний з “униз” на “угору”

через дію гравітаційних і відцентрованих сил, що діють на частинки. А для відокремлення завислої фази (пункт в)), використано метод фільтрування через шар кварцового піску.

**Результати досліджень.** Згідно з вищенаведеним, запропоновано конструкцію пристрою, схематично подану на рисунку. Пристрій умовно можна розбити на кілька блоків, а саме:

– блок I приймання стоків та відбирання з них крупнодисперсної твердої фази;

– блок II розшарування стоків відстоюванням на маслянисту складову, водний відстій і дрібнодисперсну тверду фазу;

– блок III – ємність для накопичення маслянистої складової;

– блок IV відбирання завислої складової фільтруванням;

– блок V – ємність накопичення водного відстою.

Блоки в конструкції розміщені компактно, з частковим перекриттям один одного і з розвитком їх габаритів по висоті. Продемонструємо конструкцію пристрою і опишемо його роботу (див. рис. 1). Стоки під тиском напомповуються в приймальний бачок 1 (блок 1), встановлений у верхній частині циліндричного цебра 2. Із бачка стоки ламінарним потоком, переливаючись через його крайки, спрямовуються обичайкою 3 вниз до дна цебра, обминають нижні крайки обичайки і піднімають вгору до переливу 4 цебра 2. Тверді частинки випадають в осад на дно цебра через багатократне сповільнення течії рідини стоків поза обичайкою, оскільки різко збільшилися об’єми протікання, через зміну напрямку течії з “униз” на “угору” через дію наведених вище чинників.

Далі сповільнена течія стоків уже фартухом 5 спрямовується у відстійну камеру 6 (блок II) під спливлу маслянисту складову, що відокремилася від водної за певний проміжок часу (освітлення стоків). Цей проміжок задається технологічно й залежить від співвідношення об’єму відстійної камери та маси порцій, що надходять за добу. Одночасно дрібнодисперсна складова осідає внизу камери 6 на піддон 7.

Порції стоків, що надходять, автоматично витісняють маслянисту складову через верхній перелив 8 у ємність-накопичувач 9 (блок III), а водний відстій – у кошик 10 (блок IV) із кварцовим піском через перелив 11, розміщений нижче від переливу 8 на розрахункову величину h (див. нижче). Зауважимо, що забір водного відстою з камери 6 відбувається з нижніх шарів, де його “освітлення” найбільш повне. Остання технологічна операція стала можливою завдяки введенню додаткової перегородки 12, вставленої з зазором до дна, відстійної камери. Після відокремлення завислої фази в кошику 10, очищений водний відстій накопичується в ємності 13.

Відзначимо важливу обставину, що супроводжує процес розшарування в камері 6. Розмежування стоків на складники відбувається за постійного об’єму рідини, з визначеними верхніми рівнями як маслянистої, так і водної складових, проходить повністю в автоматичному режимі й не потребує постійного обслуговування. Обслуговування зводиться до періодичного відбирання розшарованих складників забруднення з цебра 2, піддона 7 та ємності 2,10.

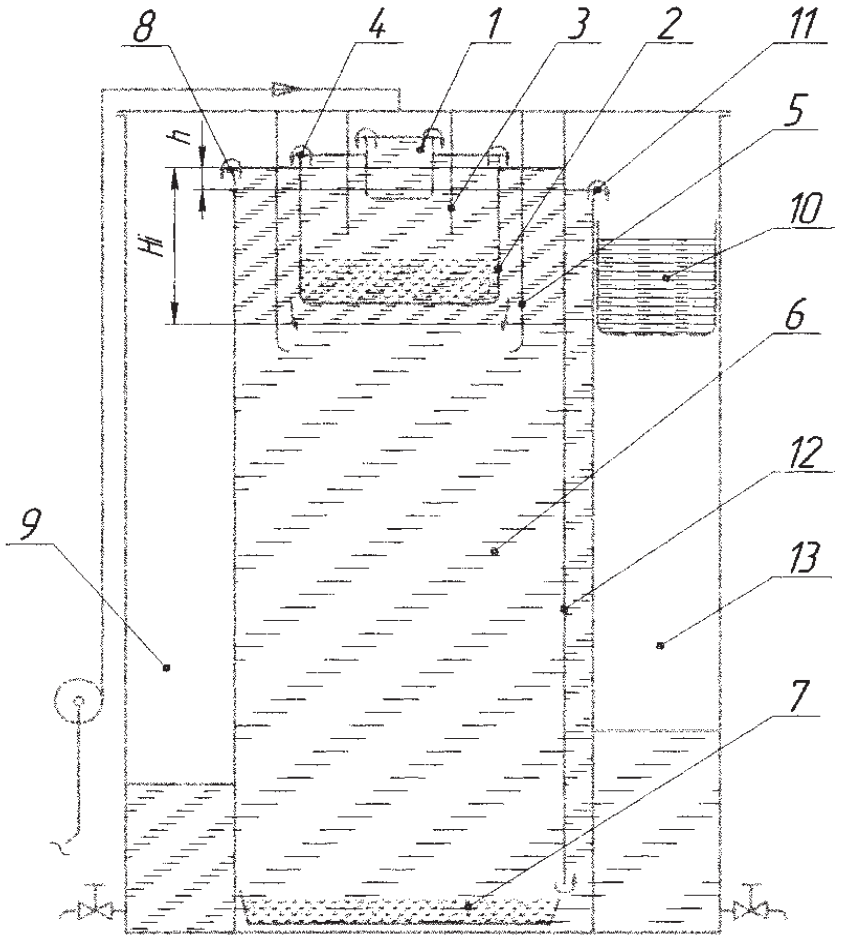



**Схема роботи пристрою для очищення стоків ремонтних сільськогосподарських підприємств**

Покажемо розрахунок основних технологічних та конструктивних (міцнісних) параметрів, які доцільно завести під час конструювання пристрою.

Відстань h між переливами 8, 11, тобто між верхніми рівнями $h$:

$$h = \sum_{i=1}^{n} Hi(1 - \frac{q_{Mi}}{q_u}),$$

де *Hi* – висота складників маслянистого шару;

$q_i$ – густина складників маслянистого шару;

$q_в$ – густина водного відстою.

Об'єм відстійної камери $W_к$ слід вибирати з розрахунку її пропорційності об'єму (масі) стоків, які надходять на очищення за визначений проміжок часу, тобто

$$V_{вк} = k \cdot V_c \cdot T,$$

де *k* – коефіцієнт пропорційності, *k*=1,3÷2,0;

$V_c$ – об'єм стоків, що надходять за відносний проміжок часу;

$T$ – відносний (у добі) час розшарування стоків на складові.

Об'єм ємкостей-накопичувачів забруднень 9, 10 визначають залежно від рівня середньої забрудненості стоків і періодичності обслуговування пристрою.

Далі покажемо деякі міцнісні розрахунки з метою оптимального вибору матеріалів конструкції. Оскільки запропонований пристрій в основному складається з ємкостей прямокутного профілю, матеріал стінок якого – тонколистова сталь, то розрахунок стосується згинальної деформації під максимальним статичним навантаженням q, що діє на дно ємкостей. Відстійна камера має найбільші розміри сторін a і b, а її крайки, у загальному випадку, опираються по контуру, то рівняння для функції прогинів ($W_{x,y}$) записується як рівняння Софі Жермен [5] з частинними похідними і яке в спрощеному варіанті за рівномірно розподіленого навантаження, має вигляд:

$$D(\frac{\partial^4 W}{\partial x^4}+\frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2}+\frac{\partial^4 W}{\partial y^4})=q.$$

Після перетворень та виконання ряду допущень величина $W_{max}$ максимального прогину у центрі при x= a/2, y=b/2 визначається виразом:

$$W_{\max}=f=\frac{q}{D}\cdot\frac{16}{\pi^6}\cdot\frac{1}{(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2})^2}.$$

де $D = E_1 I_1 = Eh^3/12(1-\mu^2)$ – згинальна жорсткість;

$E$ =1,8·10$^5$ МПа – модуль пружності;

$\mu$ = 0,3[5];

$h$ – товщина пластини.

Якщо прогин за розрахунком незначно переважає $W_{max}>h/4$, дно зміцнюють додатково ребрами жорсткості, аналогічно, це стосується й стінок ємкостей.

## Висновки

Наведені в статті дані дають змогу спроектувати й виготовити запропонований механічний пристрій очищення стоків ремонтних сільськогосподарських підприємств у ремонтних цехах середнього рівня технічної оснащеності.

Необхідність запровадження такого пристрою, як завершального засобу в технологічному процесі ремонту сільськогосподарської техніки, нині вже очевидна.

## Список літератури

1. Ремонт машин [Сідашенко О. І., Науменко О. А., Поліський А. Я. та ін. ; за ред. О. І. Сідашенка, А. Я. Поліського]. – К. : Урожай, 1994. – 400 с.

2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод / В. А. Ковальчук. – Рівне, Рівненська друкарня, 2002. – 614 с.

3. Старченко Ю. В. Очистка отработанных растворов формных процессов в полиграфии / Ю. В. Старченко. – Техника, 1991. – 124 с.
4. А.С. СССР № 841647, опубл. В БИ№ 24 от 30.06.1981.
5. Анілович В. Я. Міцність та надійність машин / Анілович В. Я., Грінченко О. С., Карабін В. В. – К. : Урожай, 1996. – 288 с.

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ РЕМОНТНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

***Е. В. Гороть, А. Л. Гловин***

**Аннотация.** *Приведены результаты разработки приспособления для очистки сточных вод сельскохозяйственных предприятий. Схематически представлена конструкция приспособления, обоснованная технологическими и прочностными расчётами, которые помогут спроектировать и изготовить его в ремонтных цехах среднего уровня оснащённости.*

**Ключевые слова:** ***сточные воды, механический метод очистки***

## THE DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR THE SEWAGE CLEANING OF THE REPAIRING OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

***E. Horot, A. Glovyn***

**Annotation.** *The results of device development for the cleaning sewage of agricultural repairing enterprises are given in the article. Schematically presented the construction of device is motivated by technological and durable calculations with which it will be able to design and to produce it at the repairing work shops of medium level of equipment.*

**Key words:** ***wastewater, mechanical cleaning method***

УДК 621.87

# ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК НА УНІВЕРСАЛЬНОМУ КОНТРОЛЬНО-ОБКАТНОМУ ВЕРСТАТІ 5А725

***А. П. Драган, кандидат технічних наук***
***ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***
***e-mail: pklen_@i.ua***

**Анотація.** *Наведено результати експериментальних досліджень формоутворення гвинтових гофрованих заготовок зі сталі 08кп і алюмінію Д16М за допомогою зубчастих коліс на універсальному контрольно-обкатному верстаті 5А725.*

**Ключові слова:** ***гвинтова гофрована заготовка, універсальний обкатний верстат***

Однією з передумов подолання кризової ситуації в національній економіці є подальший розвиток машинобудування, який сприяє зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності виробництва, поліпшенню якості продукції, та потребує принципово нових підходів до створення та використання високоефективних ресурсоощадних технологій.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, присвячених виробництву гвинтових гофрованих заготовок, рівень технологічного забезпечення в нашій державі та за її межами залишається недостатньо високим, а науково база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам за матеріало- та енергоємністю.

Питанням, що пов’язані з процесом формоутворення гвинтових заготовок присвячені праці ряду авторів [1, 2. 3], однак особливості формоутворення гофрованих гвинтових заготовок розглянуті недостатньо.

**Мета досліджень –** розробка рекомендацій для ефективного технологічного процесу формоутворення гвинтових гофрованих заготовок на універсальному контрольно-обкатному верстаті 5А725, який забезпечив би точність, економічність та підвищення продуктивності праці.

**Матеріали та методика досліджень.** Для дослідження технологічного процесу формоутворення гвинтових гофрованих заготовок слід провести комплекс експериментальних досліджень для уточнення конструктивних і технологічних параметрів.

Проведено експериментальні дослідження навивання гвинтових гофрованих заготовок на оправу зі щільним приляганням витків і на крок зі сталі 08 кп, і алюмінію Д16М завтовшки S=1…3 мм, завширшки b=10…80 мм. Навивали заготовки на універсальному контрольно-обкатному

*© А. П. Драган, 2016*

верстаті 5А725, частоту обертання шпинделя попередньо встановили в межах $\omega = 1{,}0...1{,}5$ с$^{-1}$. Силу навивання стрічки на оправу заміряли методом тензометрування. Датчики наклеювали на видовжений привід кінця оправи за мостовою схемою. Запис моментів здійснювали самописним пристроєм Н-388-П за допомогою тензометра Топаз 4-01.

**Рис. 1. Гвинтовий гофрований робочий орган**

Універсальний контрольно-обкатний верстат 5А725 призначений для підгонки й контролю розміщення плями контакту, заміру бокових зазорів і відносної безшумності конічних та гіпоїдних зубчастих передач, як ортогональних, так і неортогональних. Верстат дає можливість встановлювати конічні передачі під різними кутами (рис. 2), що дає змогу провести комплекс випробувань із формоутворення гофрованих гвинтових заготовок з дослідженням різноманітних параметрів.

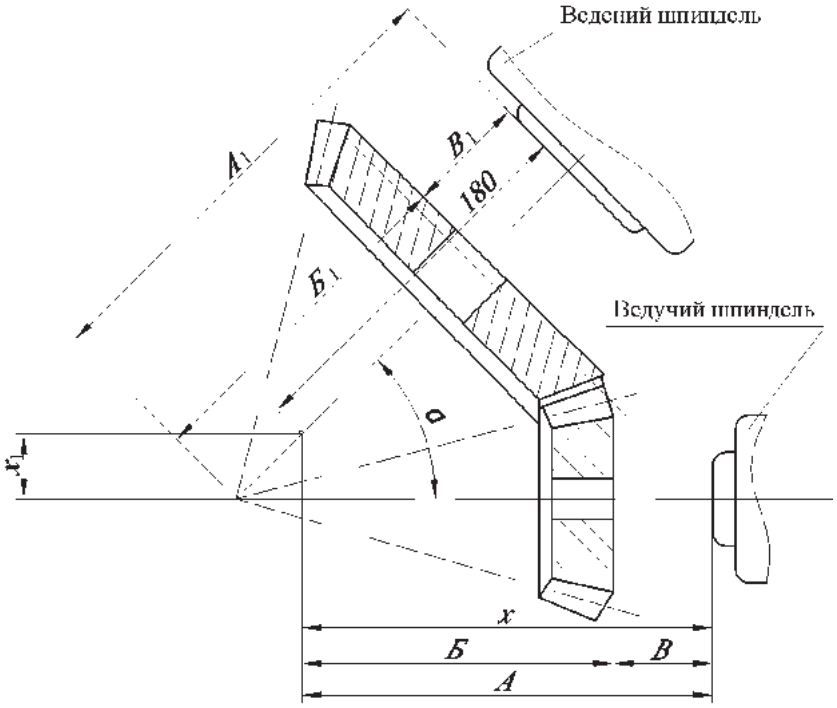



**Рис. 2. Схема встановлення неортогональних конічних передач**

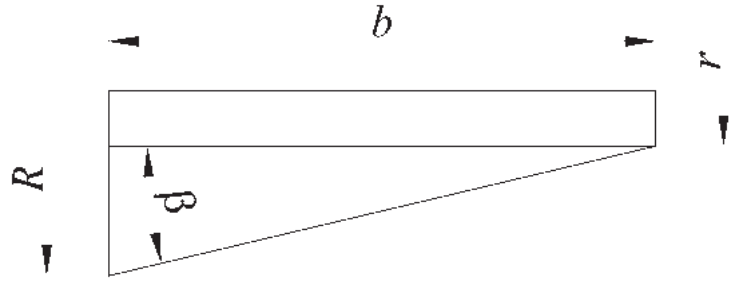



**Рис. 3. Профіль зуба**

**Рис. 4. Пара конічних коліс $\alpha$ =90º**

**Рис. 5. Технологічне спорядження для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок**

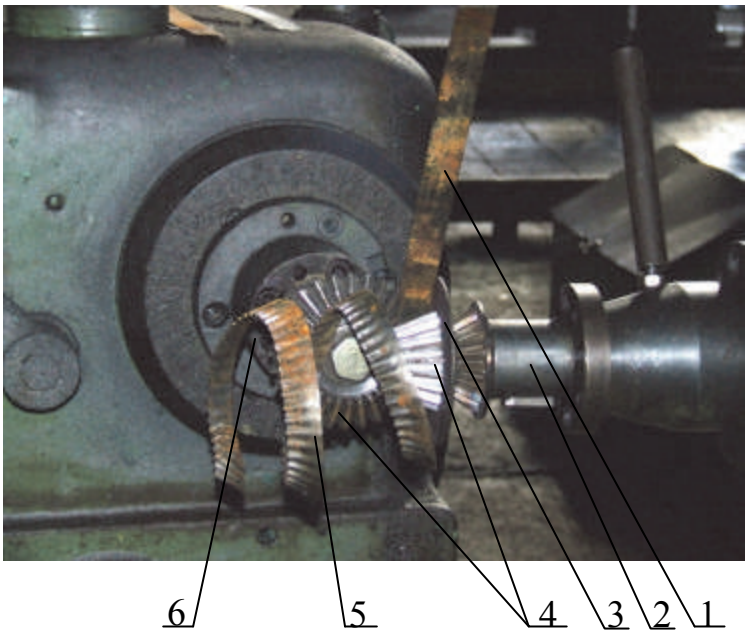



**Рис. 6. Технологічний процес навивання гвинтової гофрованої заготовки ($\alpha$ =90º):**1 – смуга; 2 – напрямний шпиндель; 3 – упорне кільце; 4 – пара конічних зубчастих коліс; 5 – гвинтова гофрована заготовка; 6 – ведений шпиндель

Результати досліджень. На рис. 7–9 наведено залежності сили гофроутворення від конструктивних параметрів заготовки та обладнання.

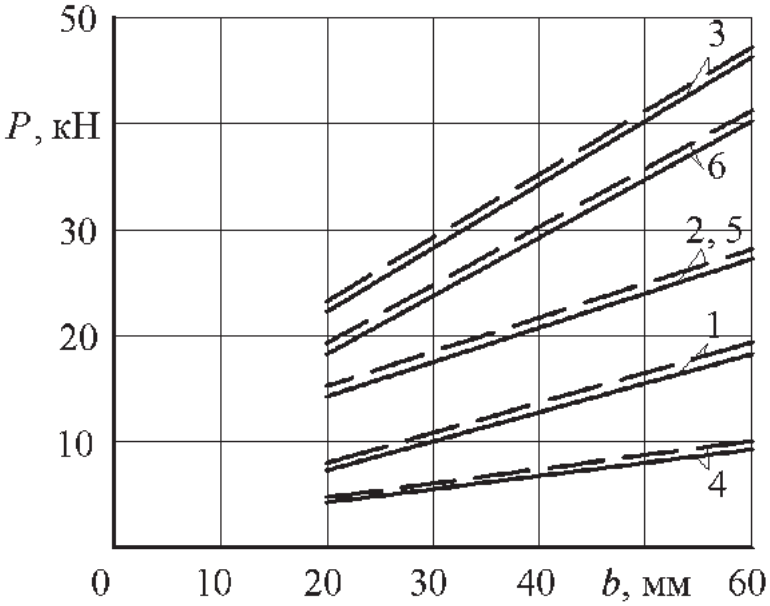



**Рис. 7. Залежність сили гофроутворення від ширини стрічки *t*=20 мм; *α*=70º:** сталь 08кп: 1) *S*=1 мм; 2) *S*=1,5 мм; 3) *S*=2 мм; алюміній Д16М: 4) *S*=1 мм; 5) *S*=2 мм; 6) *S*=2,5 мм;
---------- прямі колеса——— конічні колеса

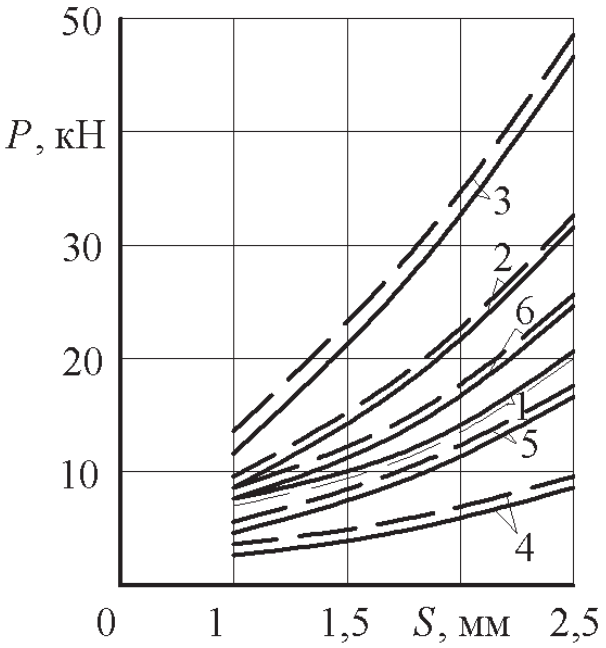



**Рис. 8. Залежність сили гофроутворення від товщини стрічки *t*=40 мм; *α*=80º:** сталь 08кп: 1) *b*=20 мм; 2) *b*=40 мм; 3) *b*=60 мм; алюміній Д16М: 4) *b*=30 мм; 5) *b*=40 мм; 6) *b*=60 мм;
---------- прямі колеса——— конічні колеса

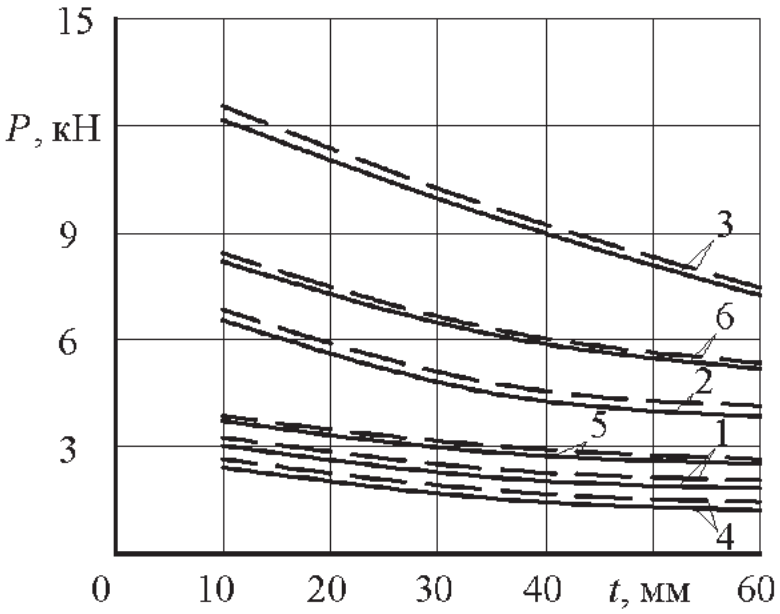



**Рис. 9. Залежність сили гофроутворення від кроку гофр *S*=1,5мм; *α*=60º:**
сталь 08кп: 1) b=20 мм; 2) b=30 мм; 3) b=50 мм; алюміній Д16М: 4) b=30 мм; 5) b=40 мм; 6) b=60 мм;
---------- прямі колеса——— конічні колеса

## Висновки

1. У результаті експериментальних досліджень встановлено можливість навивання гвинтових гофрованих заготовок за допомогою неортогональних зубчастих передач.

2. Зусилля гофроутворення, залежно від ширини стрічки, змінюється за лінійними залежностями й при збільшенні ширини стрічки зростає; залежно від товщини стрічки, зусилля змінюється за квадратичними залежностями, при збільшенні товщини стрічки зростає, при збільшенні кроку гофр зусилля зменшується.

3 Встановлено, що збільшення кута $\alpha$ призводить до зменшення радіуса гвинтової гофрованої заготовки.

## Список літератури


1. Пилипець М. І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / М. І. Пилипець. – Тернопіль, 2002. – 40 с.

2. Гевко Б. М. Технологические основы выбора конструктивных параметров шнеков / Б. М. Гевко // Изв. вузов. Машиностроение, 1982. – № 5. – С. 148–151.

3. Ляшук О. Л. Технологічне забезпечення виготовлення деталей типу “тіл обертання” з профільного прокату : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / О. Л. Ляшук. – Тернопіль, 2006. – 20 с.

4. Драган А. П. Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення гвинтових гофрованих заготовок / А. П. Драган, А. Є. Дячун // Зб. наукових праць ВДАУ. – Вип. 25. – Вінниця : ВДАУ, 2006. – С. 187–194.


## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВИНТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК НА УНИВЕРСАЛЬНОМ КОНТРОЛЬНО-ОБКАТОЧНОМ СТАНКЕ 5А725


***А. П. Драган***



**Аннотация.** *Приведены результаты экспериментальных исследований формообразования винтовых гофрированных заготовок из стали 08кп и алюминия Д16М с помощью зубчатых колес на универсальном контрольно-обкаточном станке 5А725.*



**Ключевые слова:** ***винтовая гофрированная заготовка, универсальный обкаточный станок***


## MAKING SPIRAL CORRUGATED BLANKS ON UNIVERSAL MACHINE 5A725


***A. Dragan***



**Annotation.** *The results of experimental studies forming spiral corrugated blanks from steel 08kp and aluminum D16M via gears on the universal machine 5A725.*



**Key words:** ***spiral corrugated blank, universal machine***

УДК 620.92

# ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЦИРКУЛЯЦІЙНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

***Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, доктори технічних наук***
***М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук***
***e-mail: maxim_pavlenko@i.ua***

**Анотація.** *Визначено ефективність використання обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням циркуляційного перемішування.*

**Ключові слова:** ***рослинна олія, дизельне біопаливо, метиловий спирт, лужний каталізатор, циркуляційне перемішування***

В основі процесу виробництва дизельного біопалива лежить естерифікація ненасичених жирних кислот рослинних олій під час перемішування її з метилатом калію або натрію. При додаванні розчину метилового спирту та лужного каталізатора (метилату калію) до рослинноїолії, отримані рідини розташовуються шарами відповідно до значень їх щільності. У зв'язку з цим, необхідно виконувати їх перемішування в турбулентному режимі, щоб отримати емульсію.

Чим більша міжфазна поверхня, тим швидше проходить естерифікація, оскільки вона відбувається в місцях поверхні контакту реагентів. Проте надмірно інтенсивне перемішування призводить до руйнування поверхні контакту реагентів, що, у свою чергу, не дає змоги відбуватися реакції естерифікації повною мірою. Зважаючи на це, необхідно забезпечувати як перемішування емульсії в області «перемішування», так і проходження реакції естерифікації в області «проходження реакції» [6], в умовах меншого рівня турбулізації суспензії. Найпоширеніший спосіб перемішування при виробництві дизельного біопалива – використання механічних мішалок лопатевого, рамкового, якірного, пропелерного та інших типів у реакторах періодичної дії [1].

Також ведуться дослідження щодо застосування кавітаційного перемішування при проведенні естерифікації. Однак використання цього методу може призвести до роздроблення структурних складових рослинної олії до однорідної маси, яка не поділяється на дизельне біопаливо і гліцериновий осад. Також для кавітаційного перемішування характерно швидке змішування, тоді як естерифікація рослинних олій має певну швидкість хімічної реакції, а тому при такому перемішуванні естерифікація рослинних ненасичених жирних кислот буде неповноцінною [7].

Турбулентне гідравлічне перемішування в потоці [4] із застосуванням трубчастого естеріфікатора забезпечує якісне змішування

*© Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, М. Ю. Павленко, 2016*

рослинної олії з розчином метилату калію. У цьому випадку, за рахунок довжини трубчастого естерифікатора і необхідної кількості турбулізаторів забезпечується повне проходження реакції естерифікації. Характерною особливістю такого обладнання є можливість застосування більш простого в технічному плані обладнання, що має меншу металоємність і забезпечує меншу енергоємність виробництва дизельного біопалива. Турбулентне гідравлічне перемішування в потоці доцільно використовувати в реакторах безперервної дії. Його використання в реакторах періодичної дії, які знаходять застосування в агропромисловому виробництві, недоцільно.

Гідромеханічне перемішування також забезпечує якісне змішування в усьому обсязі реактора. Таке перемішування відбувається за рахунок вильоту суміші з форсунок, в результаті чого утворюється реактивна сила, яка створює обертальний рух мішалки з лопатками, а вони, у свою чергу, здійснюють додаткове перемішування суміші. Використання даного типу перемішування забезпечує подвійне змішування компонентів, за рахунок якого забезпечується якісний вихід дизельного біопалива. Це обладнання розроблено для використання в сезонній роботі із застосуванням агропромислової технології виробництва дизельного біопалива [3].

Не менш ефективними пристроями для виробництва дизельного біопалива є пристрої циркуляційного перемішування, для яких характерна відсутність мішалок.

**Мета досліджень** – визначити ефективність використання обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням циркуляційного перемішування.

**Матеріали та методика досліджень.** Технологічну схему виробництва дизельного біопалива для потреб фермерських господарств зображено на рис. 1.

Для виконання процесу естерифікації рослинних олій з метою отримання дизельного біопалива ми запропонували використовувати обладнання на основі циркуляційного перемішування, що здійснюється багаторазовим перекачуванням рідини по замкненому контуру (рис. 2). Завдяки тому, що форсунки встановлені в корпусі реактора на одному рівні по висоті й орієнтовані таким чином, щоб при перекачуванні емульсії утворювати турбулентний круговий потік емульсії в його верхній частині, забезпечується рівномірне пошарове перемішування емульсії в зоні розміщення форсунок. При відкачці емульсії з нижньої частини реактора, перемішаний шар емульсії опускається нижче в зону проходження реакції естерифікації в умовах меншого рівня турбулізації.

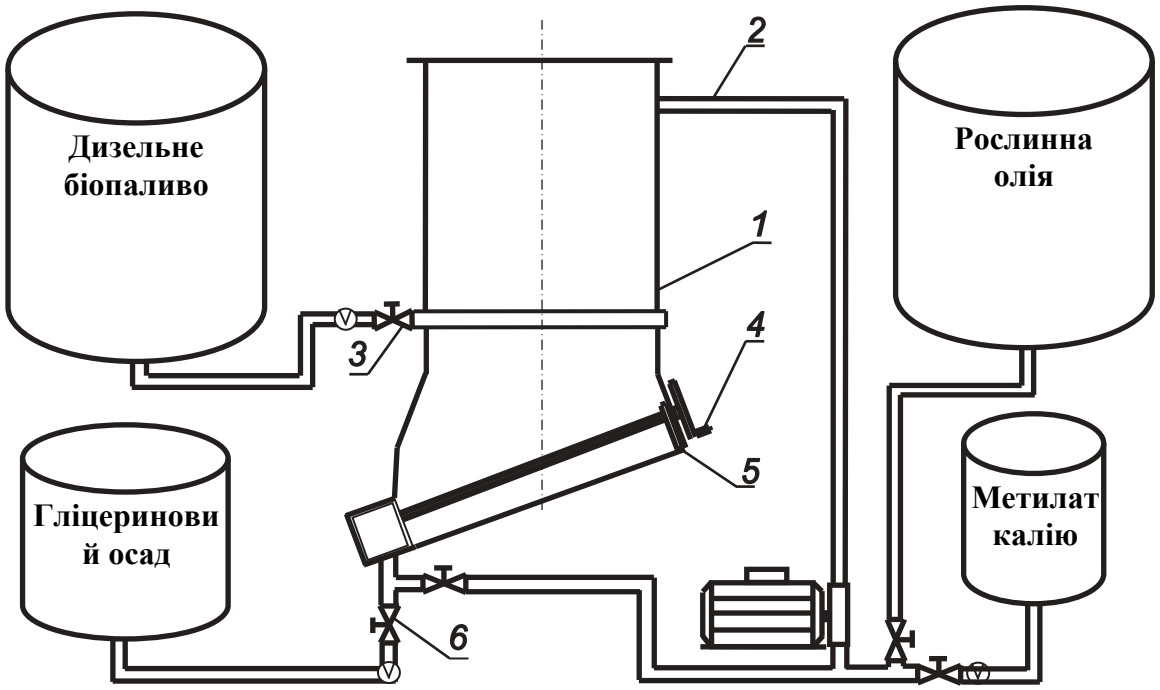



**Рис. 1. Технологічна схема виробництва дизельного біопалива:**
1 – корпус реактора; 2 – патрубок підводу емульсії; 3 – кран дизельного біопалива; 4 – механізм видалення гліцеринового осаду; 5 – скребок; 6 – кран для видалення гліцеринового осаду

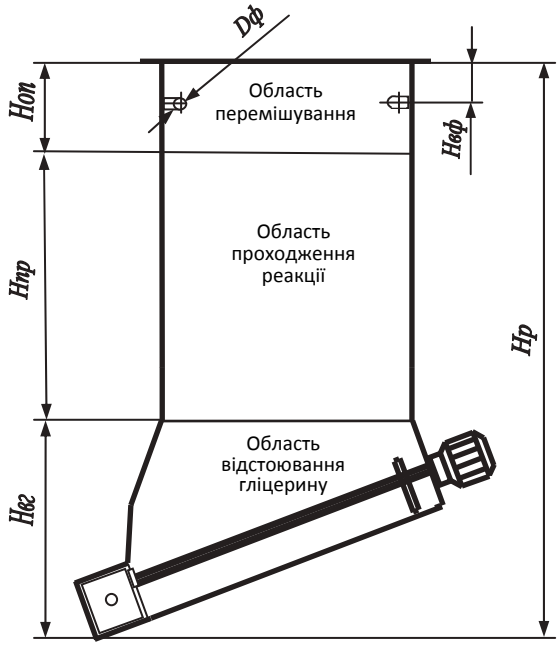



**Рис. 2. Схема циркуляційного реактора:** НР – висота реактора, м; НОП – висота області перемішування, м; Нпр – висота області проходження реакції, м; НВ Г – висота області відстоювання гліцерину, м; dФ – діаметр сопла форсунки, м; НВФ – висота установки форсунок, м

Після повного проходження реакції естерифікації рослинної олії, отримана емульсія залишається в реакторі до повного розділення на фракції дизельного біопалива та гліцеринового осаду. Відкачування дизельного біопалива здійснюється насосом через патрубок, встановлений на поплавковому пристрої. Дизельне біопаливо перекачується в ємність для зберігання біопалива, яка оснащена пристроєм для видалення метанолу.

Циркуляційний реактор при виробництві дизельного біопалива забезпечує зменшення витрат енергії на перемішування й спрощення конструкції обладнання при забезпеченні показників якості дизельного біопалива.

**Результати досліджень.** Техніко-економічне обґрунтування застосування циркуляційного реактора виконано на основі загальноприйнятих економічних показників за методиками, викладеними в [2, 5]. Як критерій для оцінки економічної ефективності прийнято мінімальні витрати на виробництво дизельного біопалива в умовах фермерських господарств. Згідно з розрахунком, собівартість виробництва дизельного біопалива становила від 12172 грн/т (для підприємства з площею ріллі 1000 га і використанням циркуляційного реактора об'ємом 2 м$^3$) до 12887 грн/т (для підприємства з площею ріллі 100 га і використанням циркуляційного реактора об'ємом 0,4 м$^3$). При розрахунках собівартості прийнято вартість рослинної олії 9700 грн/т і вартість Метилат калію 11000 грн/т. У загальному вигляді залежність собівартості дизельного біопалива від площі ріллі та обсягу реактора можна описати такою залежністю:

$$C_Д = 12908{,}5495 - 3{,}3934S + 606{,}7126V_P +$$
$$+ 0{,}0012S^2 + 0{,}4092SV_P - 132{,}319V_P^2$$

У графічному вигляді дану залежність наведено на рис. 3.

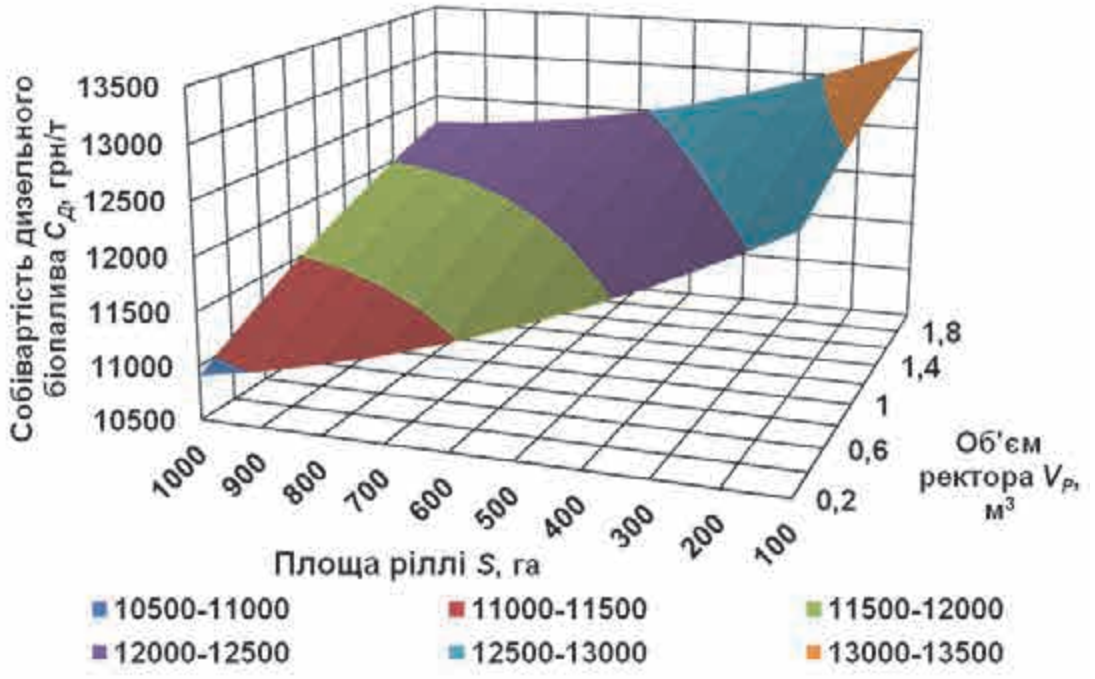



**Рис. 3. Залежність собівартості дизельного біопалива СД від площі ріллі S і обсягу реактора VP**

## Висновки

При ринковій вартості дизельного палива на рівні 16000 грн/т, річний прибуток від виробництва дизельного біопалива становитиме від 165 грн/га до 206 грн/га, а рівень рентабельності його виробництва – від 17% до 22%.

## Список літератури


1. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В., Кухарець С. М. ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. А. Голуба] // К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
2. Голуб Г. А. Аналіз динаміки співвідношення цін на зерно та паливо для дизелів / Г. А. Голуб, С. В. Лук'янець // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет": Економічні науки. – Вип. 152. – Сімферополь : АРІАЛ, 2013. – С. 101–109.
3. Голуб Г. А. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 350–355.
4. Голуб Г. А. Параметри кільцевого трубчатого етерифікатора для виробництва біодизельного палива / Г. А. Голуб, М. І. Вірьовка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / редколегія : Д. О. Мельничук (відповідальний редактор) та інші. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 124–131.
5. Голуб Г. А. Собівартість виробництва олії та дизельного біопалива в умовах сільськогосподарських підприємств / Г. А. Голуб, С. В. Лук'янець // Сучасні проблеми збалансованого природокористування : зб. наукових праць / Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ) ; науковий редактор М. І. Бахмат. – Кам'янець-Подільський, 2012. – С. 207–212.
6. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – 2014. – Спец. вип. : Сучасні проблеми збалансованого природокористування : матеріали наук.-практ. конф. – С. 137–144.
7. Сухенко Ю. Використання гідродинамічної кавітації у виробництві дизельного біопалива / Ю. Сухенко, О. Литвиненко, В. Сухенко // Техніка та технології АПК. – Дослідницьке, 2011. – № 10 (25). – С. 33–36.


## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА


***Г. А. Голуб, С. М. Кухарец, М. Ю. Павленко***



**Аннотация.** Определена эффективность использования оборудования для производства дизельного биотоплива с применением циркуляционного перемешивания.

**Ключевые слова:** ***растительное масло, дизельное биотопливо, метиловый спирт, щелочной катализатор, циркуляционное перемешивание***

## PERSPECTIVES OF EQUIPMENT WITH CIRCULATING STIRRING AT BIODIESEL PRODUCTION

***G. Golub, S. Kuharets, M. Pavlenko***

**Annotation.** *An efficient use of equipment for the production of biodiesel using circulating mixing is given.*

**Key words:** ***vegetable oil, diesel, biofuel, methyl alcohol, alkaline catalyst, circulating mixing***