

ВИМІРЮВАННЯ СТРУМУ ВИТОКУ В МЕРЕЖІ 0,38 кВ У ТВАРИННИЦЬКОМУ ПРИМІЩЕННІ

В. В. Козирський, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

В. П. Герасименко, асистент

Н. В. Майбородіна, кандидат фізико-математичних наук
ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»
e-mail: syavagvp@rambler.ru

Анотація. Визначено величину струму витоку залежно від виду навантаження, необхідного для технологічного процесу у тваринницьких приміщеннях.

Ключові слова: струм витоку, захист, ізоляція, дослідна установка, експериментальні дані, закон розподілу.

Збір інформації про розподіл струму витоку в електропроводках пов'язаний зі значними матеріальними витратами, тому постала потреба в отриманні необхідної інформації шляхом планування експерименту та використання методів математичної статистики під час опрацювання даних. Основним тут є визначення мінімально-необхідної кількості вимірювань досліджуваного параметра та статистична перевірка гіпотези про закон розподілу випадкової величини.

Мета досліджень – встановлення величини струму витоку для кожного з видів технологічного обладнання: освітлювального, електротермічного та електродвигунів і перевірка відповідності розподілу експериментальних даних до нормального закону розподілу випадкових величин.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізувавши наукову літературу [1, 2, 3], можна побудувати таку схему причин появи струму витоку в мережах з напругою 0,38 кВ для будівель сільськогосподарського призначення (рис. 1).

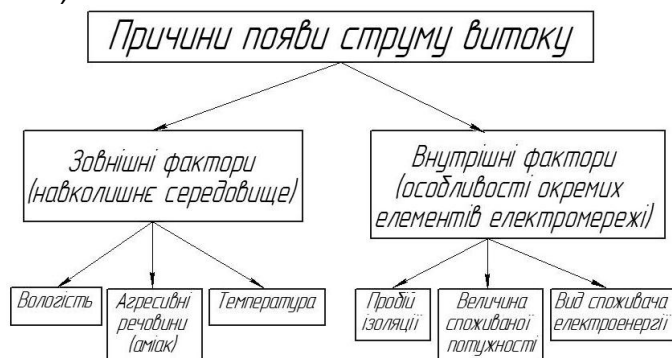


Рис. 1. Причини появи струму витоку

Під час проведення експериментального дослідження використовували спеціальну вимірювальну апаратуру – кліщі струмові багатофункціональні UNI-T UT201, що дозволяють фіксувати струм 0,001 А та мультиметр V&A VA18B, який можна підключати до ноутбука чи комп'ютера через роз'єм USB і таким чином фіксувати отримані дані та трансформатор струму, що дає змогу фіксувати диференціальний струм витоку на землю. На рис. 2 наведено їх зовнішній вигляд.



Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювальних пристроїв

На основі отриманих результатів постає потреба в дослідженні окремих елементів мережі, а саме: освітлювального й електротермічного технологічного обладнання та електродвигунів. Схема вимірювання струму витоку наведена на рис. 3.

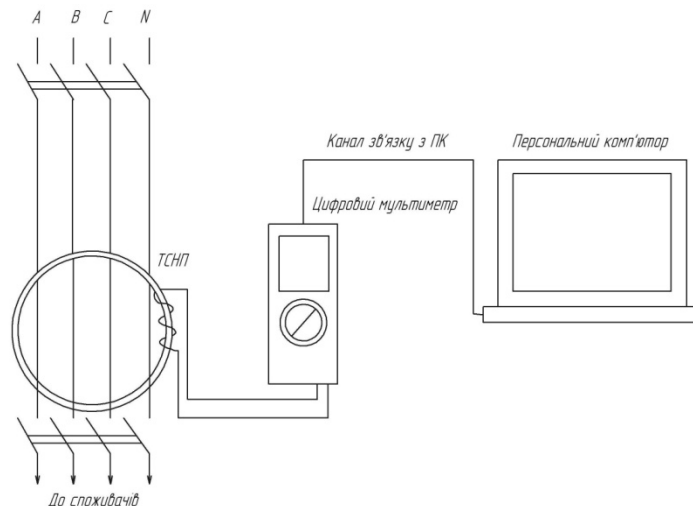


Рис. 3. Схема вимірювання струму витоку

Режим роботи технологічного обладнання такий:

1. З 7.30 до 10.20 проводиться доїння корів. Основним споживачем є два електродвигуни компресорів. Перший двигун вмикається при зниженні тиску в ресивері нижче за допустимий. Інтервал вмикання 4–7 хв, другий двигун працює майже весь час.

2. З 9.00 до 10.30 проводиться прибирання гною, установку приводять в дію три електродвигуни. Один із них змінює свій напрямок обертання кожні 7–8 хвилин.

3. Охолодження молока проводиться цілодобово. Охолоджувальну установку приводить в дію електродвигун компресора. Періоди вмикання та вимикання цього електродвигуна залежать від кількості молока, заданої температури та температури в приміщенні.

Потужність споживачів у корівнику: охолоджувач молока – 0,4 кВт; компресор (перший двигун) – 2,2 кВт; компресор (другий двигун) – 3 кВт; похилий транспортер – 3 кВт; поперечний транспортер – 1,5 кВт; поздовжній транспортер – 4 кВт; котельня – 0,35 кВт; водонагрівач – 5 кВт; люмінесцентні лампи (36 Вт) – 58 шт. (загальна потужність 2,1 кВт); лампи розжарювання (75 Вт) – 12 шт. (загальна потужність 0,9 кВт).

Результати досліджень. Отримані експериментальні результати вимірювання для кожного виду навантаження у вигляді гістограм наведені на рис. 4, 5, 6.

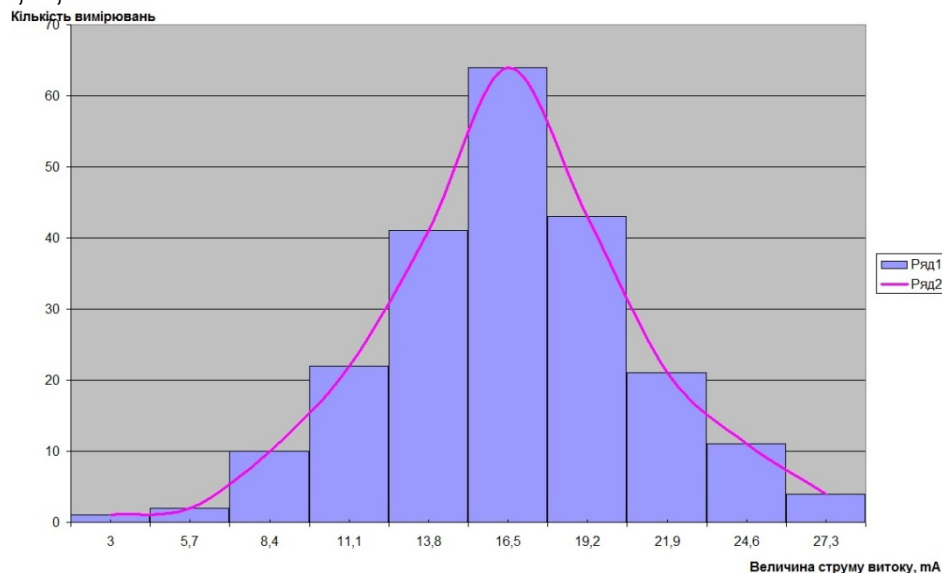


Рис 4. Гістограми струму витоку електродвигуна

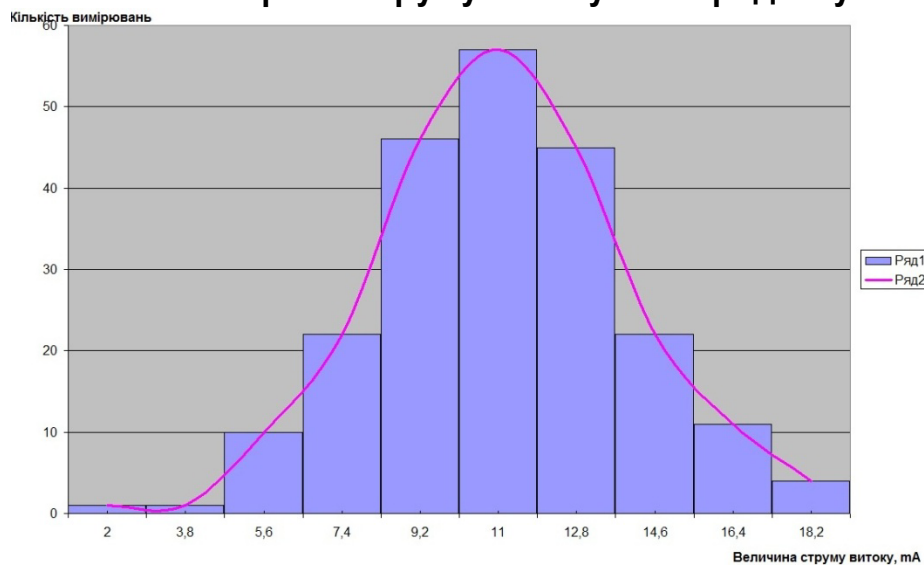


Рис 5. Гістограми струму витоку водонагрівача

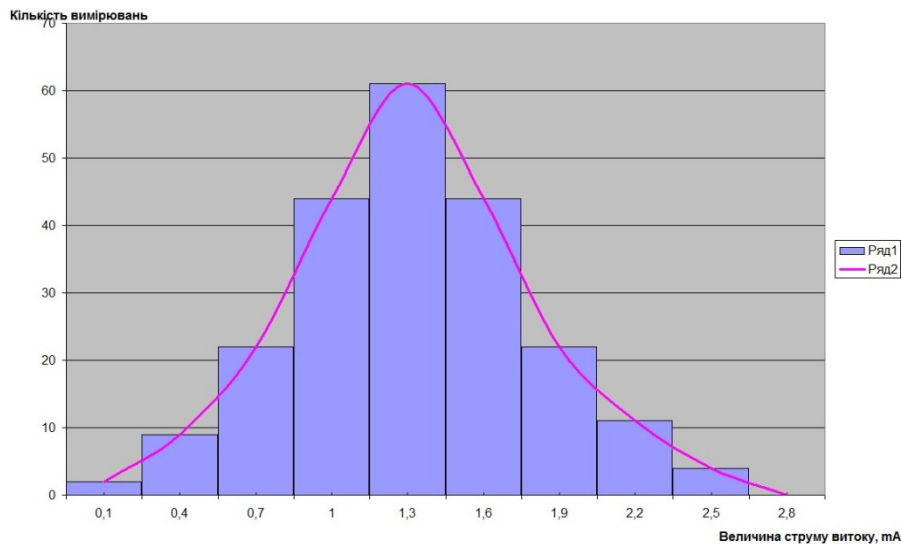


Рис 6. Гістограми струму витоку системи освітлення

Побудовані гістограми дозволяють візуально порівняти графіки з теоретичним і емпіричним розподілами випадкової величини. Оцінка нормальності розподілу струму витоку при використанні гістограми дозволяє візуально порівняти графік випадкової величини із зображенням кривої, розподіленої за нормальним законом.

Висновки

Проаналізувавши дані гістограми можна стверджувати, що розподіл струму витоку близький до нормального закону розподілу випадкових величин, що дає змогу використовувати параметричні статистичні методи побудови емпіричних залежностей.

З даних гістограм видно, що найбільший так званий фоновий струм витоку виникає в електродвигунах. Його величина сягає приблизно 30 мА.

Список літератури

1. Охрана труда в электроустановках : учебник для вузов / под ред. Б. А. Князевского. – 3-е. изд. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
2. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – 5-е изд. – Л. : Энергоатомиздат, 1991.
3. Козирський В. Вплив електричного струму на організм людини та сільськогосподарських тварин в мережах напругою до 0.4 кВ / В. Козирський, В. Герасименко // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 12 (15). – С. 22–24.
4. Герасименко В. П. Передумови підвищення надійності захисту та попередження появи струмів витоку в мережах 0,38 кВ / В. П. Герасименко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Т. 4, № 11. – С. 109–115.
5. Козирський В. В. Способи і засоби підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ / В. В. Козирський, В. П. Герасименко, О. В. Ковальов // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Т. 2, № 12. – С. 59–65.
6. Козирський В. В. Підвищення надійності захисту від струмів витоку в мережах 0,38 кВ / В. В. Козирський, В. П. Герасименко, Н. В. Майбородіна // Техніка і технології АПК. – 2012, № 2 (29). – С. 22–24.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА УТЕЧКИ В СЕТИ 0,38 кВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ

В. В. Козырский, В. П. Герасименко, Н. В. Майбородина

Аннотация. Определена величина тока утечки в зависимости от вида нагрузки, необходимой для технологического процесса в животноводческих помещениях.

Ключевые слова: ток утечки, защита, изоляция, исследовательская установка, экспериментальные данные, закон распределения.

LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT 0.38 kV NETWORK IN LIVESTOCK BUILDING

V. Kozyrsky, V. Gerasimenko, N. Maiborodina

Annotation. The objective of the study is the determination of the leakage current, depending on the type of load required to process in livestock buildings.

Key words: current leakage, protection, insulation, pilot plant, experimental data, distribution law.

УДК 621.31

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

В. С. Федорейко, доктор технічних наук

І. С. Іскерський, кандидат технічних наук

***Тернопільський національний педагогічний університет
ім. В. Гнатюка***

e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

Анотація. Розглянуто тенденції розвитку світової енергетики в найближчий період. Проаналізовано причини катастрофічної енергозатратності економіки України. Запропоновано шляхи підвищення енергоефективності в різних галузях, у тому числі, в агропромисловому комплексі. Фактологічно обґрунтовано конкретні пропозиції практичного вирішення розглянутої проблеми.

Ключові слова: енергоефективність, відновлювані джерела енергії, енергоринок, біопаливо, розподільна енергетика, енергетичний нігілізм.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА УТЕЧКИ В СЕТИ 0,38 кВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ

В. В. Козырский, В. П. Герасименко, Н. В. Майбородина

Аннотация. Определена величина тока утечки в зависимости от вида нагрузки, необходимой для технологического процесса в животноводческих помещениях.

Ключевые слова: ток утечки, защита, изоляция, исследовательская установка, экспериментальные данные, закон распределения.

LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT 0.38 kV NETWORK IN LIVESTOCK BUILDING

V. Kozyrsky, V. Gerasimenko, N. Maiborodina

Annotation. The objective of the study is the determination of the leakage current, depending on the type of load required to process in livestock buildings.

Key words: current leakage, protection, insulation, pilot plant, experimental data, distribution law.

УДК 621.31

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

В. С. Федорейко, доктор технічних наук

І. С. Іскерський, кандидат технічних наук

***Тернопільський національний педагогічний університет
ім. В. Гнатюка***

e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

Анотація. Розглянуто тенденції розвитку світової енергетики в найближчий період. Проаналізовано причини катастрофічної енергозатратності економіки України. Запропоновано шляхи підвищення енергоефективності в різних галузях, у тому числі, в агропромисловому комплексі. Фактологічно обґрунтовано конкретні пропозиції практичного вирішення розглянутої проблеми.

Ключові слова: енергоефективність, відновлювані джерела енергії, енергоринок, біопаливо, розподільна енергетика, енергетичний нігілізм.

Загальновідомо, що світове енергоспоживання пропорційне квадрату росту населення нашої планети. Сталий розвиток економіки та демографічні тенденції визначають динаміку росту продукування енергії з різних джерел, частку яких, в основному, визначила світова енергетична криза 1978 року [1].

З рис. 1 видно, що традиційні невідновлювані види енергії, з огляду на тенденції заангажованих конвенцією Ріо, будуть у найближчій перспективі втрачати домінуючу роль в енергетичному балансі. На провідну роль перейдуть відновлювані джерела – сонячна, вітрова, гідро- та біоенергія з нетрадиційною складовою (біоаеробні системи, енергорослини тощо) [2].

Зазначені тенденції повинні бути імplementовані в енергетичний комплекс сучасної держави, особливо на етапі проголошених всеосяжних реформ в економіці.

Мета досліджень – аналіз розвитку та визначення основних шляхів підвищення енергоефективності економіки України.

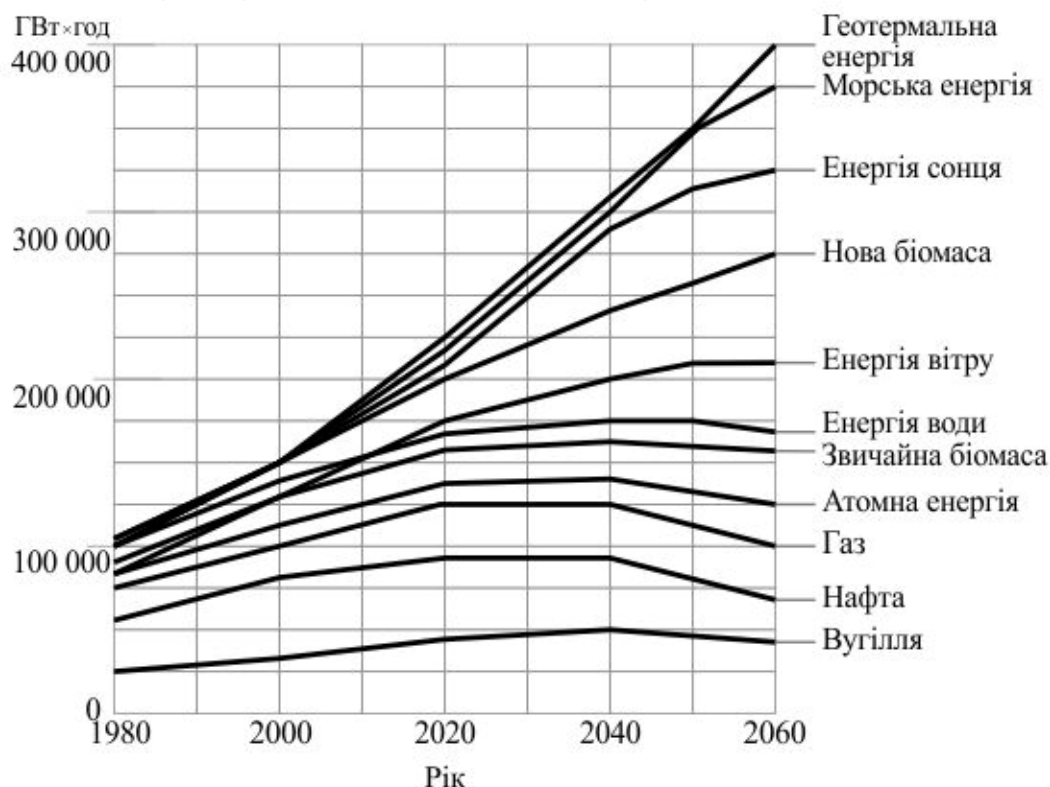


Рис. 1. Прогноз світового виробництва енергії до 2060 року

Результати досліджень. Останні роки повною мірою продемонстрували нагальну необхідність проведення реформ в енергетиці держави, які з об'єктивних і суб'єктивних причин ігнорувалися в нашій державі всі роки її незалежності. Поштовхом до дії стало підвищення тарифів на енергоносії, яке спонукало громадян і очільників держави зрозуміти нарешті, що субсидії в енергетиці є антиринковими явищами, які призводять до стагнації економіки України.

Але існує досвід цивілізованих країн, де після енергокризи кінця 70-х років зрозуміли, що кожна заощаджена одиниця енергії в 3–5 разів дешев-

ша за новозгенеровану. Тому всі зусилля було спрямовано на ефективне використання енергоресурсів за незначного зростання генерації. Враховуючи той факт, що кожний товар складається з трьох складників – комплектуючих, енергії та заробітної плати, зменшення другої складової призвело до збільшення відповідно конкурентоспроможності товарів і зарплати виробників. Україна практично ігнорує зазначені заходи і на сьогодні є світовим лідером по енергозатратах, витрачаючи в 5 разів більше енергії на одного жителя на одиницю валового внутрішнього продукту (ВВП), ніж Німеччина чи Японія [1].

Фактологічні дослідження демонструють, що виправити ситуацію в енергетичній галузі можна, здійснивши такі кроки:

1. В Україні близько 20–25 % від усієї електроенергії витрачається на освітлення. За фактом, ми практично єдина країна в Європі де на урядовому чи законодавчому рівні не заборонено виготовляти й експлуатувати лампи Едісона, які в 7–10 разів енергозатратніші за існуючі енергозберігаючі та світлодіодні джерела світла. Прикрим фактом є те, що Україна стала демпінговим полігоном для малоефективних ламп, у тому числі, з Киргизії (понад 50 % від обсягу реалізації на території країни).

У Польщі зусилля, спрямовані на витіснення архаїчних ламп розжарювання, дали змогу на 3,8 % зменшити загальне електроспоживання в країні. Адекватні заходи в Україні дозволили б вивести в резерв один енергоблок атомної електростанції та значно зменшити алогічні віялові відключення споживачів.

2. Загальновідома світова практика дво-, тритарифікації споживання електроенергії призводить до розмивання графіків навантаження енергосистеми в пікові періоди і, тим самим, унеможлиблює згадані віялові відключення споживачів.

Україна дотепер перебуває в системі цінностей, коли держава генерує електроенергію, а приватні структури розподіляють і реалізують, за повної відсутності стимулів до вирішення зазначеної задачі. Ми єдині в Європі, хто системно не займається переносом теплового та електро-механічного навантаження в нічний період експлуатації енергосистеми.

Навіть у координатах існуючих тарифів та коефіцієнтів обліку можна значно поліпшити режими роботи національної енергосистеми і вагомо зменшити закупки імпортного вугілля для теплоелектростанції, зменшити затратну гідроаккумуляцію.

3. Втрати в тепломережах України є поза всякою логікою.

Як можна споживати те, що не обліковується? Здебільшого, це має злочинно халатний характер існування тепломереж. Повна відсутність енергетичного аудиту і системного моніторингу унеможлиблює повноцінний аналіз і цивілізовані правила гри під час прийняття технічно-економічних рішень.

Тільки державне адміністрування в цій галузі може принести бажані 20–25 % економії теплової енергії. Для цього необхідно проводити прозорі енергоаудити, складати енергобаланси споживачів, територій, регіонів, а також створювати автоматизовані системи енергомоніторингу і на їх осно-

ві розроблювати конкретні заходи із санації енерговампірів та спонукати споживачів до цивілізованого споживання теплової енергії, пам'ятаючи про її повну конвертацію.

4. Одним із векторів покращення ситуації на енергоринку України є енергозаміщення традиційних видів енергії відновлюваними джерелами, в першу чергу для нашої ситуації, зокрема – біоенергією [3]. Європейський досвід свідчить, що при правильно вибудованій системі енергозаміщення (і це абсолютно реально для України) біомаса може витіснити 5–7 % традиційної енергії. Використання біобрикетів, пілетів, кускового палива з деревини, соломи, енергетичної лози й елеваторних відходів успішно конкурує з природним газом та електроенергією. За даними Української академії аграрних наук, підприємства АПК України можуть за рахунок біомаси стати повністю самодостатніми у генерації теплової енергії для сільського населення. У сукупності з виробництвом рідного біопалива для двигунів внутрішнього згоряння, це може бути вагомим внеском у енергетичний баланс України та створить тисячі додаткових робочих місць.

Синтез мікро- та макромереж у межах держави дозволить переформатувати та адаптувати енергетику на загальносвітові тенденції її розвитку, де впровадження нових технологій відновлюваних джерел енергії в найближчому майбутньому збільшить їх частку в енергетиці до 60–90 %. На рис. 2 показано місце біоенергетики у структурі енергоносіїв.

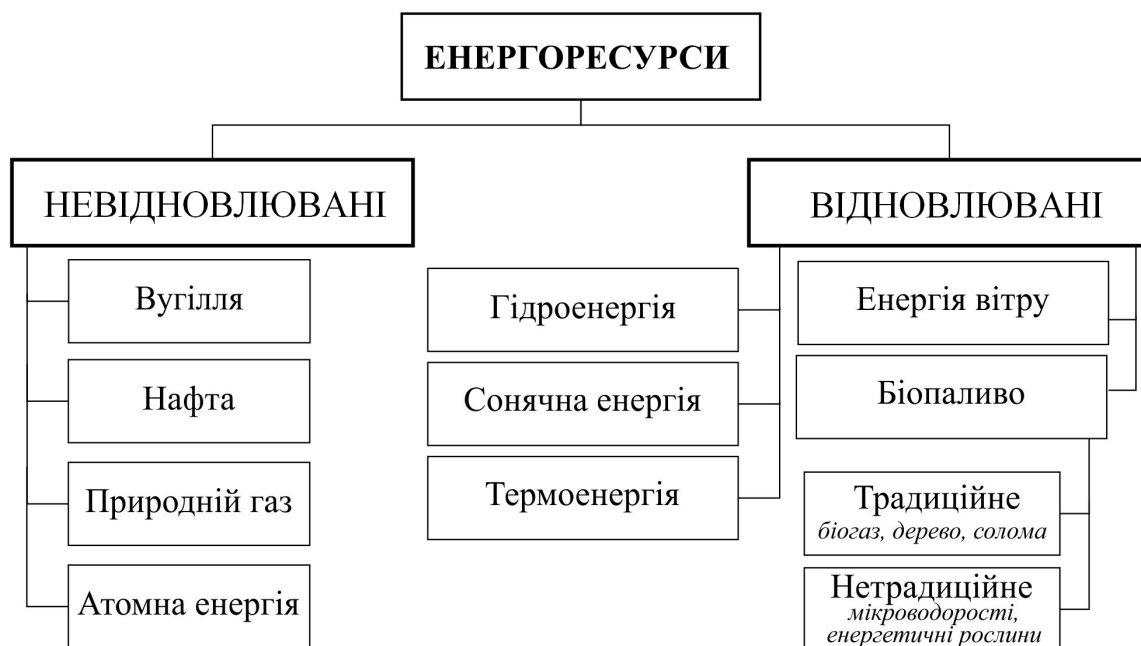


Рис. 2. Структура енергоресурсів України

5. Надзвичайно актуальною сферою економії електроенергії є використання автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) на базі енергоефективного регулювання швидкісними режимами електроприводів промислового обладнання (20–30 %).

В Україні даний напрям почав усвідомлено розвиватися в останні

десятиліття, коли споживачі наукової продукції, виробники технічних засобів та проектантські організації енергоощадних швидкісних режимів почали витіснити з технологічних процесів архаїчні механічні системи регулювання швидкості обертів технологічних машин і механізмів [4].

Керування координатами електродвигунів, які є основними споживачами електроенергії (понад 60 % у загальнодержавному балансі) у цілому дають змогу вирішити вагомий науково-практичний проблему, націлену на зменшення енергоємності економіки.

6. У період дешеvizни викопного вуглеводневого палива в Україні бездумно знищено або проігноровано відновлювану мініенергетику, побудовану на базі гідро-, тепло- та вітростанцій [2]. Нині для нашої держави настав час стимулювання розвитку мінігенерації з урахуванням сучасних тенденцій її розвитку. Це може стати фундаментом для створення базисних структур розподільної енергетики, яка розвивається у цивілізованому світі. Додаткові 1–2 % у загальний енергетичний баланс України дадуть споживачам змогу почувати себе більш комфортно та згладжувати колізії макроенергосистем.

7. Втрати в електромережах України сягають 15–17 % при загальноєвропейських до 10 %. Асиметрія, генерація реактивної енергії, та значні коливання напруги на шинах споживчих трансформаторів стали буденними явищами електроенергетики України. Але існують загальновідомі методи й засоби унеможливлення зазначених явищ, що призведе до економії щонайменше 3–5 % електроенергії та зменшить необхідність віялових відключень.

8. Наша країна вперто сповідує ідеологію енергетичного нігілізму. Навіть у Росії в школах проводять уроки енергоощадності, в університетах розроблені програми, а студентам читають лекції у цьому напрямі. В Україні на початку 2000-х планували реалізувати ці зусилля. Науковці Київської політехніки підготували чудові підручники, міністр освіти видав наказ про лекції в університетах. На цьому все завершилося.

Прохолодне ставлення засобів масової інформації до енергоефективності, економічні інтереси власників та просто банальний енергонігілізм населення призвели нашу державу до нинішнього стану економіки, який політики підігривають антидержавною тарифною, із присмаком абсурдних субсидій, тематикою.

Світовий досвід показує, що просвітництво та адміністрування держави в галузі енергоощадності та енергоефективності дають змогу зменшити енергозатратність економіки на 15–20 %.

Висновки

Отже, виконання зазначених зусиль, за цілеспрямованої державної підтримки, дасть змогу:

- повністю відмовитися від імпортного палива (природний газ, вугілля);
- зменшити навантаження на довкілля;
- припинити віялові відключення в електроенергетиці;
- підвищити конкурентоспроможність продукції українських підприємств;

- поліпшити інвестиційну привабливість України;
- створити додатково тисячі робочих місць.

Список літератури

1. Корчемний М. О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М. О., Федорейко В. С., Щербань В. П. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. – К. : Освіта України", 2007. – 464 с.
3. Fedoreyko V. Independent power supply of menage objects based on biosolid oxide fuel systems. / O. Beshta, V. Fedoreyko, A. Palchuk, N. Burega // Power engineering, control & information technologies. – CRC Press Boca Raton, London, New York, Leiden, 2015. – P. 33–39.
4. Федорейко В. С. Енергозбереження засобами електроприводу в АПК. / В. С. Федорейко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь : ТДАТА, 2005. – Вип. 32. – С. 13–19.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ

В. С. Федорейко, И. С. Искерский

Аннотация. Рассмотрены тенденции развития мировой энергетики в ближайший период. Проанализированы причины катастрофической энергозатратности экономики Украины. Предложены пути повышения энергоэффективности в различных отраслях, в том числе, в агропромышленном комплексе. Фактологически обоснованы конкретные предложения практического решения рассматриваемой проблемы.

Ключевые слова: энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, энергорынок, биотопливо, распределительная энергетика, энергетический нигилизм.

THE WAYS TO ENERGY EFFICIENCY INCREASING OF THE ECONOMY OF UKRAINE

V. Fedoreiko, I. Iskersky

Annotation. The tendencies of world energy development in the future period are considered. The causes of the catastrophic energy-intensive Ukrainian economy are also analyzed. The ways for improving energy efficiency in various sectors, including in agriculture are established. The evidence-based practice offers in order to specific solution of the problem are proposed in this article.

Key words: energy efficiency, renewable energy, energy market, biosoil, power distribution, energy nihilism.

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ЛУЧЕВОСПРИНИМАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

***В. В. Харченко, доктор технических наук
Б. А. Никитин, В. А. Майоров, В. А. Гусаров, А. Т. Беленов,
С. А. Ракитов, кандидаты технических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ), г. Москва
e-mail: kharval@mail.ru***

Аннотация. Рассмотрена зависимость выбора конструктивного решения установки с модулями солнечных батарей (стационарная или с системой слежения) от географической широты места расположения и временного периода эксплуатации (даты года и времени суток), проведён ориентировочный расчёт и сопоставление удельной выработки электроэнергии стационарной установкой и гелиоустановкой с системой слежения за положением Солнца для сравнения их энергетической эффективности. Предложено использовать отдельные фрагменты этой методики для оценки зависимости эффективной длительности светлой части суток в случаях монтажа солнечных батарей на крышах и стенах зданий.

Ключевые слова: *солнечная батарея, положение Солнца, генерация электроэнергии, стационарная установка, система слежения.*

Энергетическая эффективность работы фотоэлектрических модулей солнечных батарей (СБ) представляется важной задачей, особенно, когда они функционируют в качестве основных источников генерации электроэнергии.

Одним из самых распространённых и технически наиболее просто реализуемых вариантов их использования в наземных условиях является стационарное размещение конструкций. Этот вариант предусматривает как обособленную установку конструкции на поверхности земли с ориентацией лучевоспринимающей поверхности СБ на полуденное положение Солнца в заданной географической местности с учётом выбранного времени года, так и СБ, монтируемые на скатах крыш и стенах зданий, имеющих юго-восточную, южную или юго-западную ориентацию. Однако в любом случае утром и вечером лучи Солнца падают на рабочие поверхности фотопреобразователей под достаточно малыми углами, что заметно снижает эффективность их работы.

Использование для устранения этого недостатка автоматических устройств постоянного слежения за положением Солнца на небосводе в течение всего светового дня значительно усложняет конструкцию, увеличивает её стоимость и требует дополнительных затрат энергии, которая в местах установки СБ может быть весьма дефицитной [1]. А при размещении СБ на скатах крыш и стенах зданий применение систем слежения технически невозможно.

Цель исследований – определение влияния ориентации лучевоспринимающей поверхности на эффективность солнечных модулей.

Материалы и методика исследований. В ряде работ [2,3,4] предлагались выражения для расчётов угловой высоты солнечного диска над горизонтом для ориентации лучевоспринимающей поверхности СБ к поступающему солнечному излучению в данных конкретных случаях. Поэтому была поставлена задача разработать *методику* расчетного определения углового расположения солнечного диска на небосводе в течение всего светового дня для любой заданной географической точки. Это позволило бы более обоснованно выбрать конструктивное решение СБ: стационарное размещение под наиболее оптимальным углом или с применением системы слежения.

Результаты исследований. В общем виде для любой местности земного шара, с учетом дня и месяца года и времени суток, угловая высота центра солнечного диска над горизонтом h_0 зависит от:

- географической широты заданной местности φ (для заданной местности угол φ величина постоянная).

- угла β , связанного с изменением в течение года склонения Солнца относительно плоскости экватора земного шара. Изменение угла β в течение года обусловлено наклоном оси вращения земного шара относительно плоскости орбиты Земли вокруг Солнца. Экстремальные значения этого угла соответствуют дням летнего и зимнего солнцестояния и составляют $\pm 23,5^\circ$, а в дни весеннего и осеннего равноденствия угол β равен 0° .

- угла ω , определяемого суточным вращением земного шара и временем t после или до момента полуденного положения Солнца, т. е. когда солнечный диск достигает в выбранной местности максимальной угловой высоты.

Угол склонения β зависит от годового угла w и определяется выражением:

$$\beta = \eta \sin w, \quad (1)$$

где η – угол между осью вращения Земли и полюсом Мира ($\eta = 23,5^\circ$),

угол w – соответствует вращению Земли вокруг Солнца и может быть выражен соотношением:

$$w = 2\pi / N_f \cdot (N_0 - N), \quad (2)$$

где N_f – количество дней в году;

N – текущий день в году;

N_0 – число дней от начала года до дня равноденствия.

Склонение β можно также определить по приближенной формуле Купера. Округлённые значения величин склонения по месяцам года приведены в таблице.

Годовой ход изменения склонения Солнца β , °

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Величина β	-21	-14	-3	9	19	23	21	14	2	-10	-19	-23

Величина угла ω , в силу равномерного вращения земного шара вокруг своей оси, определяется по формуле:

$$\omega = t \cdot 360^\circ / 24\text{ч} = t \cdot 15^\circ / \text{ч}, \quad (3)$$

где 24 ч – период вращения Земли вокруг своей оси.

Зная для данной местности, момента времени суток и даты года трех перечисленных выше углов ω , β и φ , можно рассчитать продолжительность светлого солнечного времени суток. На рис.1 представлены зависимости длительности светлой части суток от времени года для местностей на географических широтах: 57° с.ш. (~ Москва) и 40° с.ш. (~ Джизак, Узбекистан).

Из анализа расчётных зависимостей следует, что теоретически (без учёта наличия облачности) продолжительность светового дня плавно меняется от сезона к сезону.

Основой для расчёта работы СБ с точным слежением является зависимость часового угла ω_H движения Солнца от угла склонения β и широты φ [5]:

$$\cos \omega_H = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

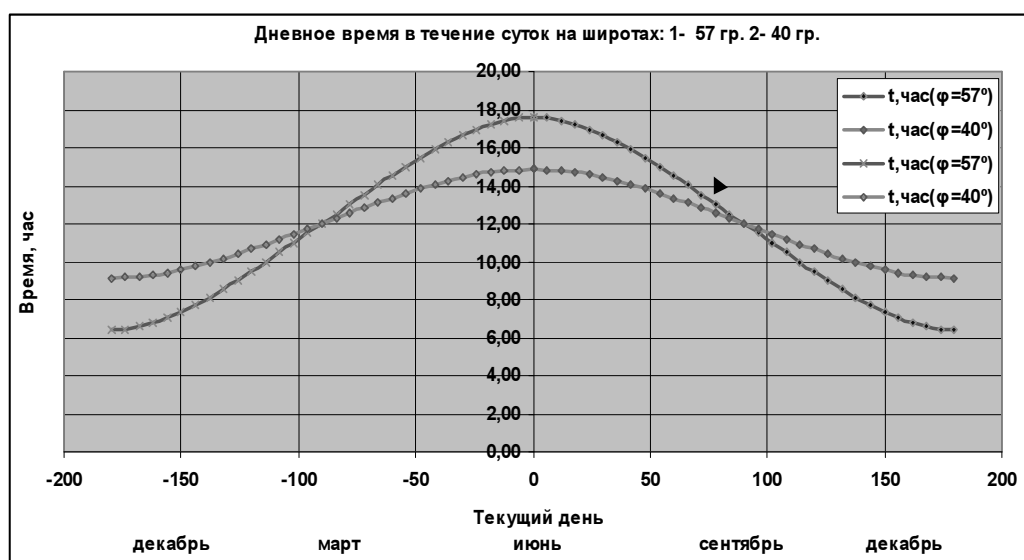


Рис. 1. Характер изменения светлого (солнечного) времени суток в течение года для широт: 57° (~ Москва); 40° (~ Джизак)

На основании формулы (2) рассчитывается зимнее (декретное) время t_z работы СБ со слежением:

$$t_3 = 2 \frac{\arccos \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{a}}{a}, \quad (5)$$

где $\alpha = 15^\circ/\text{час}$.

Летнее время t_n работы СБ со слежением выражается соотношением:

$$t_n = 2 \frac{\pi - \arccos \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{a}. \quad (6)$$

Стационарно установленные модули СБ не имеют системы слежения за положением Солнца на небосводе. Основой расчета времени работы планарных СБ является зависимость часового угла ω_n от угла склонения β .

Графики времени работы солнечных батарей: стационарной на широте 45° и с точным слежением за положением Солнца на широтах 40° и 57° представлен на рис. 2.

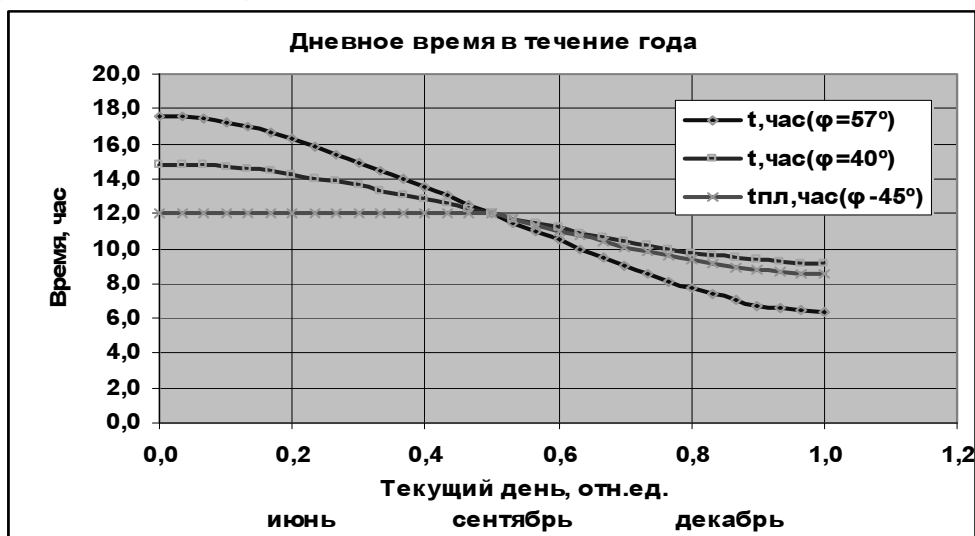


Рис. 2. Графики времени работы солнечных батарей: стационарной СБ на широте 45° и СБ с точным слежением на широтах 40° и 57°

На рис. 3 представлена зависимость выработки энергии стационарных СБ и СБ с концентраторами со слежением (площадью 1 м^2) от текущего дня в течение года (июнь – декабрь), на широтах $\varphi=40^\circ$ и $\varphi=57^\circ$.

Из приведенных сравнительных характеристик видно, что СБ с точным слежением за положением Солнца в 1,32 раза вырабатывает больше энергии в году, чем соответствующая стационарная планарная СБ, однако конструкция усложняется введением специального блока системы слежения, использованием подвижных несущих конструкций, усложнённой электрокоммутиацией, наличием ограничителей поворота и т. д. Стационарная СБ с концентратором вырабатывает по отношению к планарной СБ на 19% меньше энергии в году, но его конструкция содержит меньше дорогостоящих фотопреобразователей (приблизительно пропорционально его коэффициенту концентрации К). Что касается СБ, смонти-

рованных на скатах крыш и стенах зданий, то предложенные формулы (1), (2), (3) помогут оценить зависимости *эффективной* длительности светлой части суток от времени года для местностей на разных географических широтах и с учётом углов наклона скатов крыш и их азимутальной ориентации.

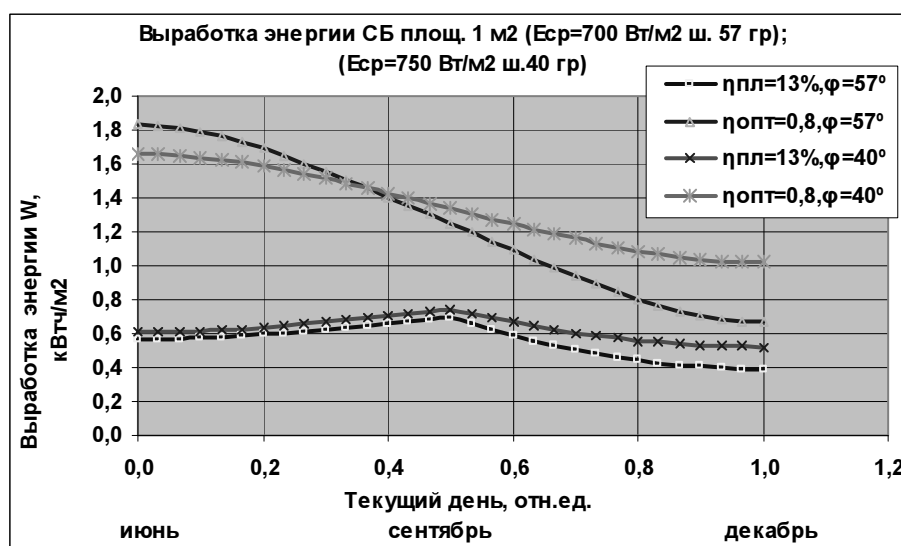


Рис. 3. Зависимость выработки энергии стационарных СБ с $\eta_{сэ}=0,13$ и СБ со слежением (площадью 1 м²) с оптическим КПД $=0,8$ и $\eta_{сэ}=0,13$ от текущего дня в течение года (июнь – декабрь), на широтах: 57° при средней интенсивности солнечного излучения $E_{ср}=700$ Вт/м² (~ Москва) и 40° при средней интенсивности солнечного излучения $E_{ср}=750$ Вт/м² (~ Джизак)

Выводы

Таким образом, окончательный выбор между стационарной конструкцией СБ и конструкцией с использованием системы слежения, а также выбор размещения СБ на крышах зданий зависит от технико-экономических параметров таких конструктивных решений, получаемой экономической и энергетической эффективности, особенностей условий эксплуатации и других факторов, каждый из которых требует дополнительного анализа.

Список литературы

1. Никитин. Б. А. К вопросу повышения суточной эффективности работы фотопреобразователей в наземных условиях путём выбора оптимальных вариантов коррекции их ориентации относительно положения солнца / Б. А. Никитин, В. А. Гусаров // Вестник ВИЭСХ. Серия «Электротехнология и энергетика сельского хозяйства». – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Вып.1 (3). – С. 82–86.
2. Елистратов В. В. Солнечные энергоустановки / В. В. Елистратов, Е. С. Аронова. – С.-Пб : Изд-во Политехнического Университета, 2012. – С. 30–39.
3. Matthew, Buresch. Photovoltaig power generation. Mc Crow – Hill Book.Company, New York st., 49.

4. К вопросу расчетов угловой высоты солнечного диска относительно горизонта для выбранной местности с учетом даты года и времени суток / Б. А. Никитин, В. А. Гусаров, В. В. Харченко [и др.] // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве (21–22 мая 2014 г., г. Москва) . – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2014. – С.172–180.

5. Майоров В. А. Энергетические характеристики солнечных батарей различных типов и режимов работ / В. А. Майоров // Труды 6-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве» (13–14 мая 2008 г., г. Москва). – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Т. 4. – С.112–118.

ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ ПРОМЕНЕСПРИЙМАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

**В. В. Харченко, Б. А. Нікітін, В. А. Майоров, В. А. Гусаров,
А. Т. Беленов, С. А. Ракитов**

Анотація. Розглянуто залежність вибору конструктивного рішення установки з модулями сонячних батарей (стаціонарна або з системою стеження) від географічної широти місця розташування та часового періоду експлуатації (дати року і часу доби), проведено орієнтовний розрахунок і зіставлення питомого вироблення електроенергії стаціонарною установкою і геліоустановкою із системою стеження за положенням Сонця для порівняння їх енергетичної ефективності. Запропоновано використовувати окремі фрагменти цієї методики для оцінки залежності ефективної тривалості світлої частини доби у випадках монтажу сонячних батарей на дахах і стінах будинків.

Ключові слова: сонячна батарея, положення Сонця, генерація електроенергії, стаціонарна установка, система стеження.

EFFECT OF ORIENTATION OF THE RAYS- RECEIVING SURFACE ON EFFICIENCY OF SOLAR MODULE

**V. Kharchenko, B. Nikitin, V. Mayorov, V. Gusarov,
A. Belenov, S. Rakitov**

Annotation. The dependence of the choice of a constructive solution installation modules solar panels (fixed or tracking system) on latitude location and temporal period of operation (date of year and time of day), held a tentative calculation and comparison of specific electricity generation fixed installation and the solar thermal system with a tracking system the position of the sun to compare their energy efficiency. It is suggested to use fragments of this technique to assess the dependence of the effective length of the light of day in the case of installation of solar panels on the roofs and walls of buildings are considered.

Key words: solar panel, the position of the sun, the generation of electricity, fixed installation, system monitoring.

**ТОЧНЫЕ АГРОТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ КОНВЕРГЕНЦИИ
НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО
НАБЛЮДЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

**А. М. Башилов, доктор технических наук
В. А. Королёв, И. К. Жмакин, кандидаты технических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации
сельского хозяйства (ФГБНУ ВИЭСХ), г. Москва
e-mail: bashilov@inbox.ru**

Аннотация. Изложена стратегия развития основных фундаментальных направлений агроинженерной науки с расширением сферы применения современных информационно-коммуникационных систем точного управления агротехнологическими процессами на основе интеллектуальной системы видеонаблюдения подвижных объектов, в том числе животных, в закрытых помещениях, на открытых площадках и территориях.

Ключевые слова: стратегия, информационно-коммуникационные системы, видеонаблюдение, идентификация, позиционирование, подвижные объекты, поведение животных, роботизированное производство.

На фоне современных достижений научно-технического прогресса, уровень сельскохозяйственного производства требует существенной модернизации, создания высококвалифицированных производств и привлечения молодёжи в село.

В сельском хозяйстве РФ применение инфокоммуникационных систем и технологий особенно эффективно в крупных самодостаточных сельскохозяйственных организациях при решении оптимизационных многофакторных задач управления экономикой и бизнесом. Для реализации таких задач требуется информационная система оперативного управления, организационно-экономической базой которой должен быть унифицированный автоматизированный информационно-технический комплекс на основе конвергенции наземных и спутниковых систем дистанционного наблюдения, навигации, наведения и управления стационарными и мобильными объектами, роботизированными агрегатами, поточными линиями и мехатронными аппаратами [1–5].

Основные составляющие ожидаемого экономического эффекта от внедрения информационно-коммуникационных роботизированных систем точного земледелия и животноводства:

а) *народнохозяйственная* – обеспечение возможности роста сель-

скохозяйственной продукции за счёт модернизации материально-технической базы, повышения производительности труда, применения современных технологий;

б) *социальная* – предоставление сельским жителям широкого спектра услуг информационной связи и автоматизации, способствующих повышению эффективности при сбыте продукции, выборе технологий производства агропродукции, а также социально-значимых услуг;

в) *корпоративная* – повышение деловой активности сельхозпроизводителей и населения при объединении усилий с другими предприятиями и организациями, заинтересованными в росте объёмов сельхозпродукции и входящими в единое информационное пространство сельскохозяйственных регионов;

г) *политико-административная* – повышение эффективности сельхозпроизводства за счёт перехода на инновационные технологии с использованием комплексной механизации, автоматизации и информатизации всех технологических операций и производственных процессов, что обеспечивает достижение высокого уровня потребления и продовольственной безопасности.

Цель исследований – изучение применения в сельском хозяйстве унифицированных автоматизированных диспетчерских центров, роботизированных производств, мобильных агрегатов и беспилотных летательных аппаратов на основе видеонаблюдения, локального позиционирования и спутниковой навигации, обеспечивающих оперативность и качество реализации агротехнологических процессов.

Материалы и методика исследований. *Основные задачи инновационного проекта:*

- создание условий для расширения предоставляемых информационно-коммуникационных услуг с использованием результатов космической деятельности, накопленных знаний и передового агропроизводственного опыта в интересах развития сельскохозяйственных регионов;

- освоение технологий точного производства с использованием средств спутниковой связи, аппаратуры цифровой обработки сигналов и информации, микроэлектромеханических и робототехнических систем, новых интеллектуальных датчиковых систем, мобильных транспортных средств и агрегатов;

- доведение до конечных потребителей результатов космической деятельности в сфере дистанционного зондирования Земли, спутниковой связи, использования навигационных технологий, беспилотных летательных аппаратов, систем компьютерного зрения;

- разработка новых конкурентоспособных агропроизводственных технологий на основе спутниковой связи, дистанционного зондирования Земли, навигационного обеспечения, слежения и мониторинга подвижных наземных объектов с использованием космической и наземной идентификационной системы позиционирования;

- решение задач картографии, контроля состояния природной среды, инвентаризации природных ресурсов, обеспечения рационального

ведения сельскохозяйственной деятельности;

– обеспечение международного сотрудничества в области использования информационно-коммуникационного пространства, развитие кадрового потенциала сельскохозяйственной отрасли.

Для реализации рассматриваемого проекта требуются значительные ресурсы и сроки.

Система мероприятий для реализации проекта

Мероприятия по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам – создание и оснащение специализированных конструкторских бюро и научно-исследовательских лабораторий на базе сельскохозяйственных ВУЗов.

Строительство и техническое оснащение региональных диспетчерских информационно-коммуникационных центров и разветвлённой сети управления сельскохозяйственным производством.

Этапы развития

1. Формирование приоритетных направлений развития информатизации и автоматизации в высокоэффективных технологиях. Формирование рынка информационных услуг, автоматизированных рабочих мест и технологий. Совершенствование структуры, функций и повышение роли информационно-диспетчерского управления в выполнении планов работ, организационно-техническая помощь производственным подразделениям и машинно-тракторным агрегатам, а также внедрение прикладных компьютерных программ в растениеводстве и животноводстве. Совершенствование информационного обеспечения реализуемых технологий, способствующее повышению производительности труда и сокращению затрат времени. Систематизация первоочередных задач и функций информационной системы автоматизированного оперативного управления.

2. Проектирование информационно-коммуникационных систем на основе космических и наземных средств мониторинга и дистанционного управления. Создание баз данных и баз знаний, включающих экспертные системы, достижения учёных и изобретения, опыт передовых сельхозорганизаций в производстве и переработке продукции.

3. Обеспечение внедрения в сельхозорганизациях высокоэффективной технологии принятия управленческих решений. Внедрение современных средств и методов автоматизированного управления производственными процессами с использованием когнитивной и системно организованной информации. Роботизация агротехнологических процессов. Формирование организационно-финансовой программы модернизации отраслей сельскохозяйственного производства.

Результаты исследований. *Совместное использование систем глобальной навигации, локального позиционирования и интеллектуального видеонаблюдения.*

Совместное использование систем глобальной навигации ГЛОНАСС/GPS, локального позиционирования RTLS и интеллектуального видеонаблюдения ITV может дать новые синергетические эффекты и возможности решения задач повышения точности роботизированных агротехно-

логических процессов и сопровождающих эту тенденцию экономических приращений прибылей.

Совместное использование RTLS и ГЛОНАСС/GPS позволяет распространить контроль перемещения транспортных средств и сельскохозяйственных машин на зоны, где отсутствует прямая видимость спутников – крытые дворы, здания, сооружения. При этом возникают дополнительные возможности контролировать локальные перемещения животных и персонала в производственных и внепроизводственных помещениях закрытого и открытого типа.

Совместное использование RTLS и интеллектуального видеонаблюдения ITV позволяет совместить возможности идентификации и позиционирования объекта по метке с его визуальным наблюдением. Например, в случае, если датчик движения видеокамеры обнаруживает движение объекта, а сигнал радиометки в секторе обзора видеокамеры при этом отсутствует, это может означать движение постороннего (не интересующего) объекта. Можно одновременно вывести на экран оператора для анализа видеоизображения объекта, находящегося перед видеокамерой, и идентифицировать его по сигналу метки.

Такой подход формирует уникальные возможности по автоматической идентификации объекта при автоматизированном видеонаблюдении поведения животных, что позволяет существенно уменьшить нагрузку на персонал, снизить вероятность ошибки или ложной тревоги при выполнении агротехнологических операций. Кроме того, при интеграции системы RTLS и данных видеонаблюдения позволит выявить случаи движения объекта с использованием метки, которую злонамеренно либо по халатности переадресовали другому объекту.

Совместное использование RTLS, ГЛОНАСС/GPS и ITV наблюдения даёт ещё больше вариантов получения синергетического эффекта: при оценке индивидуального состояния животного (идентификация и определение местоположения животного в стаде, индивидуальный контроль и учёт параметров животного, ведение календаря и истории животного), в процессе доения (контроль работы оператора и поведения животного), при кормлении (продолжительность поедания, пережёвывание корма, прирост живой массы), в процессе осеменения (идентификация половой охоты, наблюдение за отёлом животного), при оценке подвижности животного (контроль мотрона, двигательная активность животного, поведенческие признаки), при проведении зооветеринарных мероприятий (бонитировка, идентификация заболеваний, формирование календаря ветеринарных мероприятий).

Совместное использование систем глобальной навигации ГЛОНАСС/GPS, локального позиционирования RTLS и интеллектуального видеонаблюдения ITV обусловлено разнообразием подвижных объектов (животные, человек, мобильная и конвейерная техника), распределённостью их в пространстве (в пределах одной фермы, одного хозяйства, района, области), масштабом оперативно-технологических процессов (число особей, единиц техники, персонала). В соответствии с

этим, их приоритетность будет меняться, однако высокая информативность, наглядность, оперативность, многофункциональность и универсальность видеоаналитической составляющей с нарастающей функцией круглосуточного, длительного, более пристального, интеллектуального наблюдения за поведением животных и окружающей агропроизводственной инфраструктурой в перспективе будет иметь центральное значение.

Дополнительные информационно-аналитические возможности применения систем интеллектуального видеонаблюдения в животноводстве:

1. Видеонаблюдение поведения многочисленных и разнообразных объектов в закрытых помещениях, на поточных технологических линиях, при охране периметра и территории агропредприятия или животноводческой фермы.

2. Определение общего состояния стада животных (число животных, скученность и обособленность животных, активность и беспокойство животных, борьба за лидерство).

3. Осмотр стада во время пастьбы, доения, кормления, поения и отдыха (выявление слабых и сильных животных, здоровых и больных).

4. Осмотр стада при стойловом или групповом содержании (определение общего состояния животных в группах).

5. Наблюдение условий содержания животных и работы технологического оборудования.

6. Определение общего состояния животного (положение тела в пространстве, полнотелость, телосложение, состояние шерстного покрова и кожи, присутствие или отсутствие выделений из носа, глаз, влагалища).

7. Наблюдение акцентируемого животного и определение структуры поведения (продолжительность лежания, стояния, кормления, поения, движения в стойле, передвижения на пастбище).

8. Обнаружение больного животного путём селективного осмотра и наблюдения поведенческих реакций.

9. Обнаружение детальных признаков прохождения половой охоты и осеменения животных.

10. Наблюдение предродовых признаков и родов животного в специальном помещении.

11. Установление характера заболевания путём тщательного обследования частей животного (при достаточном освещении, в установленной последовательности: голова, шея, грудная клетка, живот, вымя, матка, таз, конечности).

12. Термометрическое наблюдение.

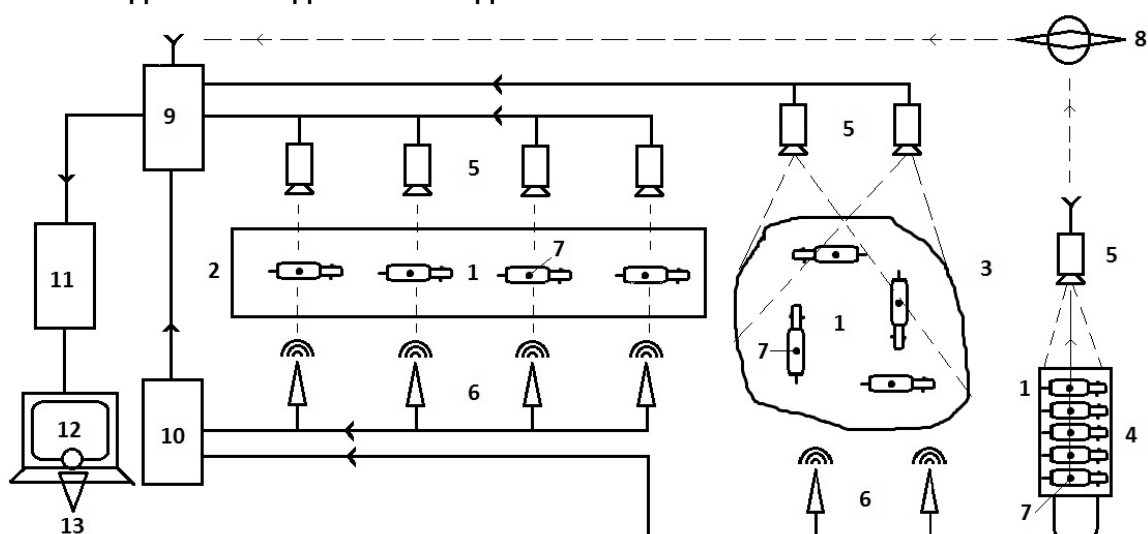
13. Акустическое наблюдение путём выслушивания.

Система интеллектуального видеонаблюдения поведения и детектирования движения животных и мобильно-транспортных средств

Система интеллектуального видеонаблюдения основана на интеграции трёх компонентов: видеоподсистемы, подсистемы определения местоположения и спутниковой системы глобальной навигации. Система интеллектуального видеонаблюдения на основе локационных данных,

поступающих от подсистемы определения местоположения, осуществляет автоматическое определение активной видеокамеры (в зоне видимости которой находится объект) и выбирает маршрут видеозаписи. Вideoподсистема получает видеопоток от активной камеры и передаёт по выбранному маршруту в видеоархив или посылает оператору.

При использовании в системе поворотных камер осуществляется непрерывное видеосопровождение объекта наблюдения на протяжении участка его движения. Благодаря использованию данных от системы позиционирования и анализу видеоизображения, система интеллектуального видеонаблюдения осуществляет слежение за определенным объектом без привлечения оператора. Данную систему можно использовать, например, на животноводческих фермах. На рисунке приведена структурно-функциональная схема интеллектуальной системы позиционного видеонаблюдения поведения животных.



Структурно-функциональная схема интеллектуальной системы позиционного видеонаблюдения поведения животных и транспортных средств:

- 1 – наблюдаемые животные; 2 – животноводческая ферма; 3 – выгульная площадка или пастбище; 4 – транспортное средство; 5 – видеокамеры;
- 6 – точки доступа, базовые станции радиочастотной идентификации;
- 7 – теги, метки радиочастотной идентификации; 8 – спутниковая система глобального позиционирования; 9 – сервер подсистемы определения местоположения; 10 – сервер подсистемы видеозаписи; 11 – видеоархив;
- 12 – монитор; 13 – оператор

На животноводческой ферме, где развёрнута система, размещаются базовые станции определения местоположения и видеокамеры. К объекту (животное, человек, мобильный агрегат, транспортное средство) за которым ведётся наблюдение, крепится мобильное устройство – тег (метка). Базовые станции измеряют расстояние до тега и передают полученные данные серверу подсистемы определения местоположения, который переводит их в координаты. Затем эти координаты поступают на сервер вideoподсистемы, который, в свою очередь, производит захват

видеопотока от соответствующей камеры и выполняет его дальнейшую обработку.

Использование предлагаемой системы позволит:

- автоматически переключать видеоизображения с разных камер, на основе анализа координат наблюдаемого объекта;
- регистрировать видеоизображения в момент движения интересующего объекта перед камерой;
- получить качественное видеоизображение;
- увидеть интересующий объект в разных ракурсах, соответствующих основным зонам агротехнологических процессов;
- производить видеонаблюдение за каждым животным автоматически, без оператора;
- формировать архив видеоданных о поведении каждого интересующего объекта;
- дальнейшее уточнение поведенческих реакций и диагностирования интересующего объекта проводить с помощью анализа изображения на сервере видеоподсистемы.

Выводы

1. Современные достижения науки и техники создают фундаментальные предпосылки дальнейшего развития и совершенствования роботизированного сельскохозяйственного производства в направлении повышения точности реализации агротехнологических процессов.

2. Видеонаблюдение – наиболее перспективный способ регистрации структурно-морфологических, динамических и поведенческих характеристик подвижных объектов аграрного производства при их глобально-локальной навигации, точном позиционировании и дистанционном управлении.

3. Совместное использование глобального наведения, локального позиционирования и интеллектуального видеонаблюдения в аграрном производстве значительно расширит информационно-управляющие функции автоматизированных агротехнологических процессов.

4. Система видеонаблюдения и позиционирования поведения животных и мобильно-транспортных средств повышает эффект присутствия специалистов в зонах производства, обеспечивает более пристальное внимание к состоянию интересующего объекта и позволяет осуществлять постоянный контроль за его поведением, а следовательно, осуществлять более эффективное управление.

Список литературы

1. Принципы построения и варианты реализации систем электроснабжения, навигации и управления движением перспективных агроагрегатов / Д. С. Стребков, А. М. Башилов, В. А. Королев, В. З. Трубников // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2-2. – С. 280–284.

2. Левшин А. Г. Автоматическое пилотирование и диспетчеризация мобильных агрегатов / А. Г. Левшин, А. М. Башилов, В. А. Головкин // Вестник

Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина". – 2011. – № 2. – С. 18–22.

3. Башилов А. М. Видеонаблюдение и навигация в системах точного земледелия / А. М. Башилов, В. А. Королёв // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. Горячкина». – М. : МГАУ, 2009. – № 3 (34). – С. 7–11.

4. Шевченко И. А. Стратегия разработки автоматизированной системы управления молочным скотоводством / И. А. Шевченко, Э. Б. Алиев // Вестник ВНИИМЖ. – № 3 (11). – 2013. – С. 37–43.

5. Башилов А. М. Проект управления аграрным производством на основе систем видеомониторинга / А. М. Башилов // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 10. – С. 46–48.

ТОЧНІ АГРОТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ КОНВЕРГЕНЦІЇ НАЗЕМНИХ І СУПУТНИКОВИХ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ

О. М. Башилов, В. О. Корольов, І. К. Жмакін

Анотація. Викладено стратегію розвитку основних фундаментальних напрямів агроінженерної науки з розширенням сфери застосування сучасних інформаційно-комунікаційних систем точного управління агротехнологічними процесами на основі інтелектуальної системи відеоспостереження рухомих об'єктів, у тому числі тварин, у закритих приміщеннях, на відкритих майданчиках і територіях.

Ключові слова: стратегія, інформаційно-комунікаційні системи, відеоспостереження, ідентифікація, позиціонування, рухомі об'єкти, поведінка тварин, роботизоване виробництво.

STRATEGY OF THE DEVELOPMENT OF THE EXACT HUSBANDRY AND STOCK-BREEDING ON BASE CONVERGENCE OVERLAND AND SATELLITE FACILITIES OF THE REMOTE OBSERVATION, NAVIGATIONS AND MANAGEMENT

A. Bashilov, V. Korolev, I. Zhmakin

Annotation. In article is stated strategy of the development main fundamental direction agro-engineering sciences with expansion of the sphere of the using modern information-communication systems of exact management agro-technological processes on base of the intellectual system video control mobile objects, including animal, in closed premiseses, on opened platform and territory.

Key words: the strategy, information-communication systems, video control, identification, positioning, rolling objects, behaviour animal, robotized production.

ГИДРОДИНАМИКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ МЕТОДОМ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Б. Х. Драганов, доктор технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. Приведены основы неравновесной термодинамики и положения о производстве энтропии. Представлена диссипативная функция происходящих процессов.

Ключевые слова: реологические соотношения Онзагера, термодинамические силы и потоки, принцип Кюри, энтропия двухфазной среды, диссипативная функция, тензор.

Исследование гидродинамики вредных выбросов в окружающую среду при помощи математического моделирования является актуальной проблемой.

Цель исследований – сформулировать математическую модель техногенных выбросов методом неравновесной термодинамики.

Материалы и методика исследований. В линейной неравновесной термодинамике в качестве определяющих (реологических) соотношений, которые дополняют систему гидродинамических уравнений сохранения, применяются феноменологические соотношения необратимых процессов (соотношения Онзагера) [1]:

$$J_k = \sum_{l=1}^Q L_{kl} \cdot X_l; \quad (k=1,2...Q), \quad (1)$$

где Q – число независимых физических процессов;

L_{kl} – матрица феноменологических (кинетических) коэффициентов, связывающая между собой потоки J_k и термодинамические силы X_l . Первые соответствуют скоростям изменения экстенсивных величин (таких как масса, энергия), для которых существуют законы сохранения, или переносимых величин (таких как теплота), которые связаны с потоками в законах сохранения; вторые пропорциональны градиентам интенсивных параметров, отклоняющих термодинамическую систему от равновесия. Потоки и термодинамические силы в (1) являются, в общем случае, тензорными величинами любого ранга.

Как было упомянуто выше, в рамках феноменологической теории явный вид кинетических коэффициентов в (1) не расшифровывается, однако их физический смысл может быть выяснен в рамках молекулярно-кинетической теории [4]. Число отличных от нуля кинетических коэффициентов в (1) ограничивается принципом Кюри, согласно которому, в силу свойств симметрии рассматриваемой материальной среды, компоненты (здесь составляющие векторов вдоль осей координат) потоков будут

зависеть не от всех компонентов термодинамических сил.

Так, в частности изотропной системы (свойства которой в равновесном состоянии одинаковы во всех направлениях), процессы разной тензорной размерности не взаимодействуют друг с другом. Кроме того, при аксиоматическом подходе принимаются в качестве независимого постулата соотношения симметрии Онзагера – Казимира (принцип взаимности):

$$L_{kl} = (B, \Omega) = \varepsilon_k \varepsilon_l \cdot L_{lk}(-B, -\Omega), \quad (2)$$

позволяющее свести до минимума число феноменологических коэффициентов в линейных соотношениях (1). Здесь B – магнитная индукция, Ω – угловая скорость вращения системы, а $\varepsilon_k = 1$ для четных (энергия, концентрации) и $\varepsilon_l = -1$ для нечетных (плотность импульса) макроскопических параметров (четных или нечетных функции скоростей частиц). Для изотропной не вращающейся системы, в отсутствии внешнего магнитного поля, соотношения симметрии (2) приобретают более простой вид [1]:

$$L_{kl} = L_{lk}, \quad (3)$$

где L_{kl} – скалярные величины.

Соотношения симметрии (2) могут считаться эмпирически устойчивой аксиомой, независимо от их доказательства в рамках статистической механики [2]. Согласно [3], экспериментальное подтверждение принципа взаимности столь же убедительно, как и подтверждение 1, 2 и 3-го начала термодинамики. Это дает основание возвести постулат (2) в статус парадигмы и использовать в качестве основы для описания широкого круга явлений.

Для определения потоков и сопряженных им термодинамических сил используется обычно конкретное представление скорости производства (плотности источника) энтропии внутри системы в рассматриваемом необратимом процессе в виде билинейной формы [2].

$$T\sigma_{(S)} = \sum_{k=1}^Q J_k X_k \geq 0, \quad (4)$$

причем, после того как определены потоки J_k , сопряженные им силы X_k находятся однозначным образом, как коэффициенты перед соответствующими потоками в этом выражении.

Результаты исследований. Приложим изложенные положения к анализу диссипативной функции и производства энтропии в двухфазной среде.

Примем предположение о локальном термодинамическом равновесии в пределах фазы, а также допущение об аддитивности внутренней энергии смеси и энтропии смеси по массам входящих в смесь фаз [4].

$$\rho u = \sum_{i=1}^N \rho_i u_i(\rho_i^o, T_i), \quad \rho s = \sum_{i=1}^N \rho_i s_i(\rho_i^o, T_i), \quad (5)$$

где ρ – плотность смеси;

u – внутренняя энергия;

T – абсолютная температура;

s – энтропия;

N – число фаз;

ρ_i^o – истинная плотность i -той фазы;

i – индекс, обозначающий номер фазы.

Рассмотрим диссипативную функцию для гетерогенной среды, т. е. функцию, дающую производство энтропии смеси для фиксированной массы среды за счет внутренних процессов. Субстанциональная производная энтропии вдоль линии тока фаз имеет вид [5].

$$\rho \frac{Ds}{Dt} = \sum_{i=1}^N \left\{ \rho_i \frac{ds_i}{dt} + \sum_{j=1}^{i-1} J_{ij} (s_i - s_j) \right\}. \quad (6)$$

В отличие от изменения полной энергии среды E , описываемого производной DE/Dt , изменение энтропии смеси, описываемое Ds/Dt , связано не только с внешним воздействием, но и с внутренними процессами (между фазами и внутри фаз) в выделенном объеме среды. Так же, как и DE/Dt , величина Ds/Dt не связана с притоком и оттоком вещества фаз из выделенного объема.

В данном случае гетерогенную смесь можно рассматривать как состоящую из двух фаз. Диссипативная функция представлена следующими термодинамическими силами:

$$\begin{aligned} X_1^k &= \frac{e_1^k}{T_1}; \quad X_2^k = \frac{e_2^k}{T_2}; \quad X_{q1}^k = \nabla^k \left(\frac{1}{T_1} \right); \quad X_{q2}^k = \nabla^k \left(\frac{1}{T_2} \right); \\ X_F^k &= (\nu_1^k - \nu_2^k) \left(\frac{\chi_{21}}{T_1} + \frac{\chi_{12}}{T_2} \right); \quad X_Q = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}; \\ X &= \frac{Z_1}{T_1} - \frac{Z_2}{T_2} + i_{12} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) + \frac{(V_{12} - V_2)^2}{2T_2} - \frac{(V_{21} - V_1)^2}{2T_1}; \end{aligned} \quad (7)$$

и термодинамическими потоками:

$$\begin{aligned} J_1^k &= \tau_1^k; \quad J_2^k = \tau_2^k; \quad J_{q1}^k = q_1^k; \\ J_{q2}^k &= q_2^k; \quad J_Q = Q_{12}. \end{aligned} \quad (8)$$

В соответствии с неравновесной термодинамикой, диссипативная функция имеет вид суммы произведений термодинамических сил на термодинамические потоки.

$$\begin{aligned} D_s^{(int)} &= \sum J_0 X_0 = \tau_1^k \frac{e_1^k}{T_1} + \tau_2^k \frac{e_2^k}{T_2} + q_1^k \nabla^k \left(\frac{1}{T_1} \right) + q_2^k \nabla^k \left(\frac{1}{T_2} \right) + \\ &+ F_{12}^k (\nu_1^k - \nu_2^k) \left(\frac{\chi_{21}}{T_1} + \frac{\chi_{12}}{T_2} \right) + Q_{12} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) + \\ &+ J_{12} \left[\frac{z_1}{T_1} - \frac{z_2}{T_2} + i \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) + \frac{(V_{12} - V_2)^2}{T_2} - \frac{(V_{21} - V_1)^2}{2T_1} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

В формулах (6) – (9) приняты обозначения:

τ^k – тензор сдвиговых направлений;

J_{ij} – интенсивность фазовых переходов массив к единице объема смеси;

e_1^k – тензор скоростей деформации;

ν_1^k – коэффициент диффузии;

z_i – термодинамический потенциал;

q_1^k – тензор потока тепла;

χ – показатель политропы;

v_{ji} – скорость массы, обусловленная фазовым переходом;

i, j – индекс, обозначающий номер фазы;

верхний индекс k – номер декартовой координаты.

Список литературы

1. Де Грот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика / С. де Грот, П. Мазур. – М. : Мир, 1964.
2. Новиков Л. Термодинамика / Л. Новиков. – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с.
3. Нигматулин П. И. Динамика многофазных сред. Ч. 1 / П. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1987. – 464 с.
4. Miller D. G. The onsager relations: experimental evidence // Foundations of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke : Millan, 1974.
5. Mason E. A. The onsager reciprocal relations. Experimental evidence // Foundations of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke : Millan, 1974.

ГІДРОДИНАМІКА ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ У НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ МЕТОДОМ НЕРІВНОВАЖНОЇ ТЕРМОДИНАМІКИ

Б. Х. Драганов

Анотація. Наведено основи нерівноважної термодинаміки й положення про виробництво ентропії. Представлено дисипативну функцію процесів, що відбуваються.

Ключові слова: реологічні співвідношення Онзагера, термодинамічні сили й потоки, принцип Кюрі, ентропія двофазного середовища, дисипативна функція, тензор.

HYDRODYNAMICS HARMFUL EMISSIONS AMONG THE METHODS OF NONEQUILIBRIUM THERMODYNAMICS

B. Draganov

Annotation. Shows the basics of thermodynamics and imbalance position of entropy production. Presented dissipative function of the processes.

Key words: rheological value Onsager, thermodynamic forces and flows, Curie principle, entropy of two-phase medium, dissipative function, tensor.

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО ПОЛЯ В ГЕНЕРАТОРАХ ІЗ ЗАКРИТИМИ ПАЗАМИ

А. В. Жильцов, доктор технічних наук

*Д. О. Кітюк, аспірант**

e-mail: azhilt@gmail.com

Анотація. Користуючись методом вторинних джерел, крайову задачу для рівнянь Максвелла в синхронному генераторі із закритими пазами зведено до еквівалентного інтегрального рівняння для простого шару магнітних зарядів із наступним його чисельним розв'язком.

Ключові слова: синхронний генератор, постійні магніти, метод вторинних джерел.

Аналіз електромеханічних процесів, що проходять у синхронних машинах, зводиться до розв'язку зв'язаних рівнянь Максвелла та рівняння руху, що може бути реалізовано скінченно-різницевиими методами [15–17] або редукцією рівнянь Максвелла до інтегральних рівнянь [1–14] з наступним чисельним їх розв'язанням. Перевага останнього підходу полягає в можливості зведення задачі до розрахунку джерел магнітного поля на границі феромагнітних тіл, що суттєво зменшує область пошуку невідомих.

Сутність концепції вторинних джерел полягає в такому [21]: розрахунок поля в просторі, що заповнений неоднорідним середовищем, може бути зведений до розрахунку поля в однорідному просторі, створеному як первинними джерелами (наприклад, струмами обмотки намагнічування), так і вторинними джерелами, під якими розуміються густина фіктивних поверхневих і об'ємних магнітних зарядів, струмів або магнітних моментів. Залежно від того,

яке поле потрібно розраховувати, використовують джерела того чи іншого типу. При цьому розподіл густини вторинних джерел повинен бути таким, щоб забезпечити виконання умов або для векторів поля, або для скалярного потенціалу, або для векторного потенціалу на межі розділу, що задовольняє інтегральне рівняння.

Кожен спосіб знаходження густини вторинних джерел перетворює концепцію вторинних джерел у відповідний метод розрахунку поля. Так, введенням вторинних джерел типу простого шару струмів $\vec{j}(Q)$ або подвійного шару магнітних зарядів $\tau(Q)$ можна зберегти незмінним розподіл поля $\vec{B}$, а введенням вторинних джерел типу простого шару зарядів $\sigma(Q)$ або подвійного шару струмів $\vec{j}(Q)$ можна зберегти незмінним розподіл поля $\vec{H}$. Для цих рівнянь зазвичай залишаються справедливими відомі

* Науковий керівник – доктор технічних наук А. В. Жильцов

теореми Фредгольма [5–10].

Мета досліджень – розробка математичної моделі для розрахунку магнітного поля в генераторах із закритими пазами.

Результати досліджень. *Постановка завдання і вибір методу рішення для розрахунку магнітного поля в електродвигунах із закритими пазами.*

Переріз генератора подано на рис. 1. Простір $R_1 < r < R_0$ заповнено постійними магнітами, постійні магніти однорідно намагнічені паралельно радіальній лінії. Магнітну проникність середовища μ вважаємо постійною величиною. Простір $R_1 < r < R_2$ заповнено повітрям.

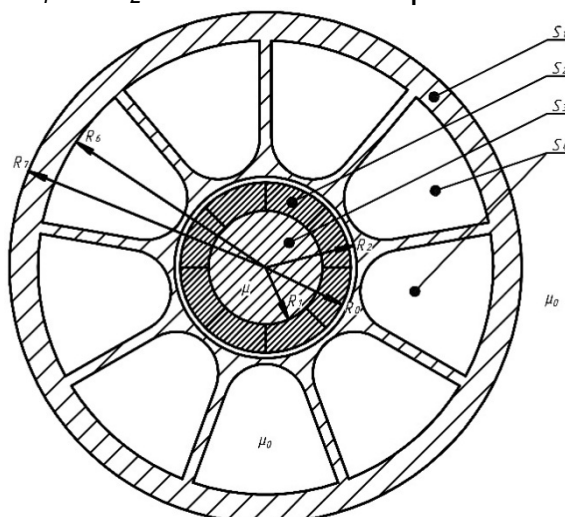


Рис. 1. Переріз генератора (обмотки не зазначені):

S_1 – пластини статора; S_2 – постійні магніти; S_3 – вал ротора;
 S_4 – пази для обмоток статора

Виведення інтегрального рівняння для розрахунку густини вторинних джерел. Вважаємо, що в повній системі рівнянь електромагнітного поля всі похідні в часі рівні нулю, тоді вони запишуться у вигляді [2]:

$$\text{rot} \vec{H} = \delta, \quad (1)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0, \quad (2)$$

де $\vec{H}$ – вектор напруженості магнітного поля;

$\vec{B}$ – вектор індукції поля;

δ – густина електричного струму.

У даній постановці задачі макроструми відсутні, тому допускаємо $\delta=0$. Тоді рівняння (1) і (2) переходять у рівняння:

$$\text{rot} \vec{H} = 0, \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0. \quad (4)$$

Доповнимо рівняння поля (3), (4) рівнянням матеріальності, що пов'язує $\vec{B}$, $\vec{H}$ і $\vec{J}$ (вектор намагнічування):

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J}. \quad (5)$$

Перетворимо рівняння (4) з урахуванням співвідношення (5)

$$\text{div} \vec{B} = \text{div} \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}) = \mu_0 \text{div} \vec{H} + \mu_0 \text{div} \vec{J}.$$

Звідси

$$\operatorname{div} \vec{H} = -\operatorname{div} \vec{J}. \quad (6)$$

Тоді, для поля $\vec{H}$ маємо систему рівнянь:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = 0, \quad (7)$$

$$\operatorname{div} \vec{H} = -\operatorname{div} \vec{J}, \text{ в } S_2. \quad (8)$$

Введемо густину об'ємних магнітних зарядів по формулі:

$$\rho = -\operatorname{div} \vec{J}. \quad (9)$$

Покажемо, що для феромагнетику об'ємна густина магнітного заряду дорівнює нулю. Маємо,

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{J} &= -\operatorname{div} \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H} \right) = -\frac{1}{\mu_0} \operatorname{div} \vec{B} + \operatorname{div} \vec{H} = -\frac{1}{\mu_0} \operatorname{div} \vec{B} + \frac{1}{\mu} \operatorname{div} \mu \vec{H} = \\ &= \left(-\frac{1}{\mu_0} + \frac{1}{\mu} \right) \operatorname{div} \vec{B} \equiv 0 \quad \text{в } S_2, \end{aligned}$$

де враховано, що магнітна проникність μ є постійною.

Розглянемо феромагнетик з намагніченістю $\vec{J}$ (рис. 2). Вибираємо точку Q на границі поділу феромагнетик-повітря, напрямлення нормалі $\vec{n}_Q$ із феромагнетику в повітря. Оточимо точку Q циліндром з основою S і малою висотою h (рис. 3). Потік вектора $\vec{H}$ через S :

$$\Phi = \oint_S \vec{H} d\vec{S}. \quad (10)$$

З урахуванням рівняння (8):

$$\Phi = - \oint_S \vec{J} d\vec{S}. \quad (11)$$

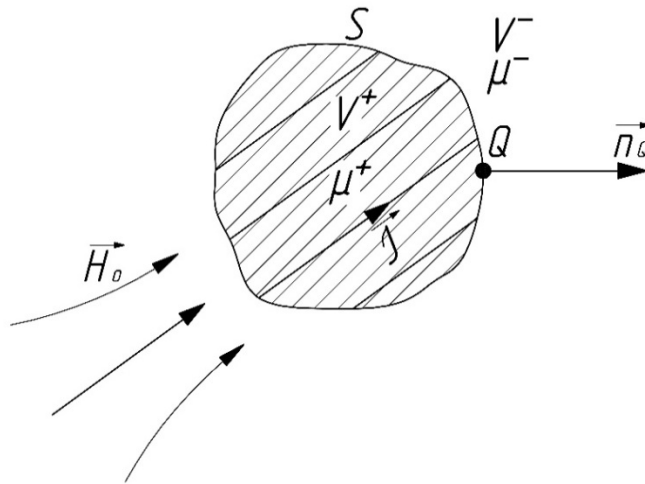


Рис. 2. Феромагнетик із магнітною проникністю μ^+ у зовнішньому магнітному полі $\vec{H}_0$: V^+ – об'єм, що займає феромагнетик; V^- – решта простору; $\vec{n}_Q$ – зовнішня нормаль

Застосовуючи теорему Гауса – Остроградського [2], отримаємо

$$- \oint_S \vec{J} d\vec{S} = - \int_V \operatorname{div} \vec{J} dV = + \int_V \rho dV. \quad (12)$$

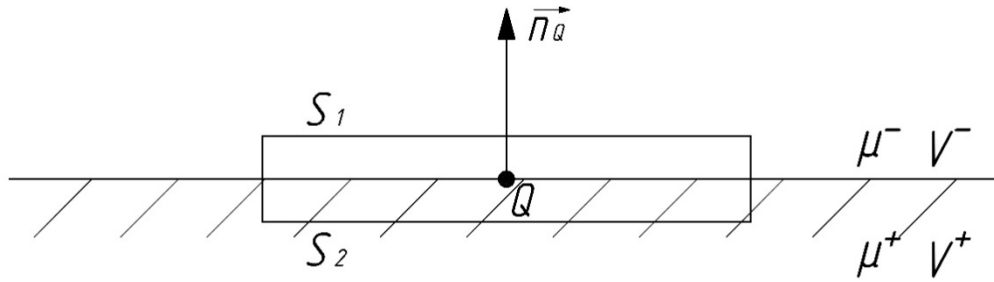


Рис. 3. До виведення граничних умов для вектора $\vec{H}$:

V^+ – феромагнетик; V^- – повітря

Нехай $Q = -\oint \rho dV$ – магнітний заряд, тоді

$$\oint_S \vec{J} d\vec{S} = -Q. \quad (13)$$

Розпишемо інтеграл у лівій частині співвідношення (12):

$$\oint_S \vec{J} d\vec{S} \stackrel{h \rightarrow 0}{=} J_n \Delta S + 0 \cdot \Delta S = J_n \Delta S, \quad (14)$$

де J_n – проекція намагніченості $\vec{J}$ на нормаль $\vec{n}_Q$,

ΔS – площа основи циліндра. З іншого боку, об'ємна густина магнітного заряду, як було показано вище, дорівнює нулю, але в силу рівняння (13) поверхнева густина магнітного заряду не дорівнює нулю. Припустимо σ_0 його густина, тоді з рівнянь (13) і (14):

$$\begin{aligned} J_n \Delta S &= \sigma_0 \Delta S, \\ \sigma_0 &= J_n. \end{aligned} \quad (15)$$

Формула (15) визначає поверхневу густину простого шару магнітного заряду для феромагнетика з намагніченістю $\vec{J}$.

Нехай феромагнетик знаходиться в зовнішньому магнітному полі $\vec{H}_0$. Результируюче поле $\vec{H}$ в точці Q , яка лежить на границі поділу середовищ (рис. 3), визначається як сума зовнішнього поля $\vec{H}_0$ і поля $\vec{H}'$, що обумовлене намагніченістю самого феромагнетика:

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}'. \quad (16)$$

Введемо на поверхні феромагнетика фіктивний магнітний заряд із густиною $\sigma(Q)$, вибираємо напрям нормалі із феромагнетика назовні. Позначимо індексом "+" всі величини, що відносяться до внутрішньої області феромагнетика, індексом "-" – зовнішньої області.

Поле в будь-якій точці простору визначається[21]:

$$\vec{H}(M) = \vec{H}_0(M) + \frac{1}{2\pi} \int_l \sigma(P) \frac{\vec{r}_{PM}}{r_{PM}^2} dl_p, \quad (17)$$

де $\sigma(P)$ – густина простого шару магнітних зарядів в точці P на границі l розділу середовищ;

$\vec{r}_{PM}$ – радіус-вектор, що проведено з точки інтегрування P в точку спостереження M .

На границі феромагнетика в точці Q з внутрішньої сторони, поле $\vec{H}$ дорівнює (у проекції на зовнішню нормаль $\vec{n}_Q$):

$$H_n^+(Q) = -\frac{\sigma(Q)}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_l \sigma(P) \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P + H_{on}. \quad (18)$$

Із зовнішньої сторони

$$H_n^-(Q) = \frac{\sigma(Q)}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_l \sigma(P) \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P + H_{on}. \quad (19)$$

Доповнимо рівняння (18) і (19) крайовими умовами

$$B_n^+ = B_n^-, \quad (20)$$

$$H_\tau^+ = H_\tau^-. \quad (21)$$

Умова (21) виконується автоматично. Умову (20) розпишемо як:

$$\mu^+ H_n^+ = \mu^- H_n^-. \quad (22)$$

Підставляючи рівняння (18) і (19) у рівняння (22), отримуємо інтегральне рівняння для розрахунку густини вторинних джерел $\sigma(Q)$:

$$\sigma(Q) = \frac{1}{\pi} \frac{\mu^+ - \mu^-}{\mu^+ + \mu^-} \int_l \sigma(P) \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P + 2 \frac{\mu^+ - \mu^-}{\mu^+ + \mu^-} H_{on}. \quad (23)$$

Для обчислення вихрової складової напруженості магнітного поля скористаємося формулою:

$$H_{on}(Q) = \frac{1}{2\pi} \int_{l_k} \sigma_0(P) \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P, \quad (24)$$

де $\sigma_0(P)$ – поверхнева густина магнітного заряду, що вводиться на границі l_k постійних магнітів, визначається співвідношенням (15).

Отже, остаточно отримуємо інтегральне рівняння, якому повинна задовольняти шукана густина $\sigma(Q)$ вторинних джерел для плоскопаралельного випадку:

$$\sigma(Q) = \frac{\lambda}{\pi} \oint_l \sigma(P) \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P + \frac{\lambda}{\pi} \oint_{l_k} \mathcal{J}_n \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P, \quad (25)$$

де $\lambda = \frac{\mu^+ - \mu^-}{\mu^+ + \mu^-}$.

Параметр λ при великих μ^+ близький до характеристичного значення – одиниці. Це ускладнює чисельний розв'язок рівняння (25). Тому, використовуючи інтегральне співвідношення для магнітних зарядів [9]

$$\oint_l \sigma(Q) dl_P = 0, \quad (26)$$

інтегральне рівняння (25) приводиться до інтегрального рівняння (2).

$$\sigma(Q) = \frac{\lambda}{\pi} \oint_l \sigma(P) \left[\frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} - \frac{\pi}{l} \right] dl_P + f(Q). \quad (27)$$

Рівняння (27) розв'язується методом послідовних наближень або зведенням його до системи алгебраїчних рівнянь з наступним її розв'язком. Знаючи $\sigma(Q)$ можна легко встановити поле $\vec{H}$ за формулою (17), а, отже, і поле $\vec{B}$:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (28)$$

де $\mu = \mu^+$ для феромагнітного середовища, $\mu = \mu^-$ для повітря.

Розв'язання інтегрального рівняння методом послідовних наближень. Для побудови послідовності функцій $\{\sigma_m\}$, які є наближенням до шуканого розв'язання рівняння (27), використаємо рекурентну формулу [21]

$$\sigma_{m+1}(Q) = f(Q) + \int_l K(P, Q) \sigma_m(P) dl_P, \quad (29)$$

де

$$f(Q) = \frac{\lambda}{\pi} \oint_{l_k} \mathcal{J}_n \frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} dl_P,$$

$$K(P, Q) = \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{(\vec{r}_{PQ} \vec{n}_Q)}{r_{PQ}^2} - \frac{\pi}{l} \right].$$

Як нульове наближення приймається права частина:

$$\sigma_1(Q) = f(Q),$$

потім за формулою (29) розв'язується наступне наближення. Застосування процесу пошуку розв'язку, яке відображується формулою (29) означає, що за наближений розв'язок приймається $\sigma_m(Q)$ при достатньо великому m , якщо при цьому всі інтеграли обчислюються точно. Практично ознакою близькості отриманих наближень до шуканої функції є досягнення малої величини відношення.

$$\varepsilon = \frac{\max |\sigma_{m+1} - \sigma_m|}{\max |\sigma_m|} 100\%. \quad (30)$$

Метод зведення інтегрального рівняння до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Поставимо індекс i у відповідність точки σ , точки P – індекс m , тоді інтегральне рівняння (27) запишеться у вигляді

$$\sigma_i = \lambda \int_l K(i, m) \sigma_m dl_m + f_i.$$

Перенесемо перший доданок з правої частини в ліву та замінімо інтеграл на суму:

$$\sigma_i - \lambda \sum_k K(i, m) \sigma_m \Delta l_m = f_i.$$

Для кожної точки i маємо місце:

$$\delta_{im} \sigma_m - \lambda K(i, m) \sigma_m \Delta l_m = f_i, \quad (31)$$

де $\delta_{im} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i = m, \\ 0, & \text{якщо } i \neq m. \end{cases}$ – дельта-функція Дірака.

Отже, отримали для визначення густини вторинних джерел систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка може бути розв'язана.

Висновки

Розроблено математичну модель для розрахунку характеристик магнітного поля постійних магнітів у синхронному генераторі шляхом зведення крайової задачі для рівнянь Максвелла до еквівалентного інтегрального рівняння відносно простого слою магнітних зарядів із наступ-

ним його розв'язком або методом послідовних наближень або зведенням його до системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Список літератури

1. Боженко А. И. Моделирование на ЭВМ переходных процессов в осесимметричных устройствах с немагнитными проводниками с учетом симметричности исходного интегро-дифференциального уравнения / А. И. Боженко, Е. И. Петрушенко : препр. // АН УССР. Ин-т электродинамики. – К., 1984. – 55 с.
2. Гринберг Г. А. Избранные вопросы теории электрических и магнитных явлений / Г. А. Гринберг. – М. : АН СССР, 1984. – 727 с.
3. Маергойз И. Д. Итерационные методы расчета статических полей в неоднородных, анизотропных и нелинейных средах / И. Д. Маергойз. – К. : Наукова думка, 1979. – 208 с.
4. Михлин С. Г. Лекции по линейным интегральным уравнениям / С. Г. Михлин. – М. : Физматгиз, 1959. – 232 с.
5. Обэн Ж.-П. Приближенное решение эллиптических краевых задач / Ж.-П. Обэн. – М. : Мир, 1977. – 383 с.
6. Интегральные уравнения для расчета трехмерного магнитного поля ненасыщенного одноэлементного трансформатора тока / А. И. Пашко, Е. И. Петрушенко, Н. Л. Трофимчук, Г. А. Филиппова // Техническая электродинамика. – 1984. – № 5. – С. 8–13.
7. О численном решении векторного интегрального уравнения для расчета трехмерного магнитного поля ненасыщенного одноэлементного трансформатора тока / А. И. Пашко, Е. И. Петрушенко, Н. Л. Трофимчук, Г. А. Филиппова // Техническая электродинамика. – 1985. – № 2. – С. 28–35.
8. Петрушенко Е. И. К расчету статических магнитных полей в нелинейных средах методом интегральных уравнений / Е. И. Петрушенко // Теоретическая электротехника. – 1967. – Вып. 4. – С. 131–133.
9. Петрушенко Е. И. К расчету трехмерных магнитных полей в кусочно-однородных средах с помощью векторных интегральных уравнений / Е. И. Петрушенко // Электронное моделирование. – 1983. – № 5. – С. 27–32.
10. Петрушенко Е. И. Алгоритмы расчета на ЭЦВМ критических кривых продольных криотронов / Е. И. Петрушенко, О. Е. Гаврюшенко // Математическое моделирование и теория электрических цепей. – К. : Наукова думка, 1971. – Вып. 9. – С. 144–150.
11. Моделирование на ЭВМ трехмерного магнитного поля линейного одноэлементного трансформатора тока на основе векторного интегрального уравнения / Е. И. Петрушенко, А. И. Пашко, Н. Л. Трофимчук, Г. А. Филиппова : препр. // АН УССР. Ин-т проблем моделирования в энергетике. – К. : 1986. – 46 с.
12. Петрушенко Е. И. До апроксимації інтегральних рівнянь теорії електромагнітного поля алгебраїчними системами / Е. И. Петрушенко // Доповіді АН УРСР. Сер. А. – 1969. – № 7. – С. 618–621.
13. Романович С. С. Градиенты поля осесимметричных токов и зарядов / С. С. Романович // Изв. вузов. Электромеханика. – 1983. – № 10. – С. 26–28.
14. Романович С. С. Регуляризация интегральных уравнений в задачах электро- и магнитостатики / С. С. Романович // Техническая электродинамика. – 1986. – № 1. – С. 44–49.
15. Сегерлинд Л. Применения метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

16. Сильвестер П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков / П. Сильвестер, Р. Феррари. – М. : Мир, 1986. – 229 с.
17. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М. : Мир, 1977. – 349 с.
18. Тозони О. В. Математические модели для расчета электрических и магнитных полей / О. В. Тозони. – К. : Наукова думка, 1964. – 271 с.
19. Тозони О. В. Метод вторичных источников в электротехнике / О. В. Тозони. – М. : Энергия, 1975. – 295 с.
20. Тозони О. В. Расчет электромагнитных полей на вычислительных машинах / О. В. Тозони – К. : Техніка, 1967. – 252 с.
21. Тозони О. В. Расчет трехмерных электромагнитных полей / О. В. Тозони, И. Д. Маергойз. – К. : Техніка, 1974. – 352 с.

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГЕНЕРАТОРАХ С ЗАКРЫТЫМИ ПАЗАМИ

А. В. Жильцов, Д. А. Китюк

Аннотация. *На основании метода вторичных источников, краевую задачу для уравнений Максвелла в синхронном генераторе с закрытыми пазами сведено к эквивалентному интегральному уравнению для простого слоя магнитных зарядов с последующим его численным решением.*

Ключевые слова: *синхронный генератор, постоянные магниты, метод вторичных источников.*

CALCULATION OF MAGNETIC FIELD IN GENERATORS WITH CLOSED SLOTS

A. Zhiltsov, D. Kityuk

Annotation. *Based on the method of secondary sources, boundary value problem for Maxwell's equations in the synchronous generator with closed postures reduced to the equivalent integral equation for the single-layer magnetic charges followed its numerical solution.*

Key words: *synchronous generator, permanent magnet, the method of secondary sources.*

INFORMATION PROVIDING AND SOFTWARE OF CONTROL SYSTEM IN GREENHOUSE WITH NEURAL NETWORK PREDICTIONS OF EXTERNAL DISTURBANCES

Alla Dudnyk, PhD
e-mail: dudnikalla@mail.ua

Annotation. *Information providing and software for automated control system in greenhouse was developed. Neural network predictions of external disturbances were analyzed and were added as unit into control system architecture.*

Key words: *information, database, greenhouse, neural network, control system.*

The feature of modern automated process control systems and production is the use of large amounts of information, which is used in real time for instant decision making and control of the system and for statistical analysis and data processing and the development of new strategies for the system.

Algorithms for selecting control strategies become increasingly complex, and therefore for their implementation is significantly greater amounts of information. On the other hand, for monitoring the system needed comprehensive information, analyzing and statistically by computing the conclusions that can work on the system as a whole [2].

Purpose of research – development of information database model, diagrams and data flow of control system for biotechnical objects.

Material and methods. Many studies about greenhouse environment control systems have been based on the concepts of energy and mass balance and physical modeling. But the practical realizations of these concepts are difficult and expensive. This work exploits other method for creation control system which based on neural network and also takes into consideration biological particularities of plants. Greenhouse, which was researched as biotechnical object is situated in Brovary district Kyiv region called Public Company “Combinat “Teplichniy”. Based on the statistical data obtained through information-measuring system and current information on performance of tomato static characteristic of the object was acquired [3].

Having taken into account the research the process control diagram of growing plants in the greenhouse was developed (Fig. 1).

The modern level of computer integrated technologies allows building automated control systems unlimited number of technological processes and industries. Computers that are separate objects are integrated into the network. In this case, each of the objects is both data provider to the overall space information systems and consumers of this information.

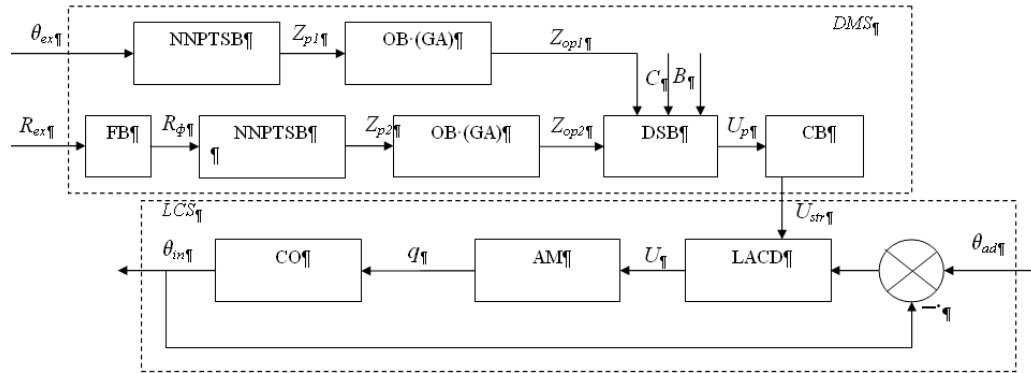


Fig. 1. Block diagram of the process control system in the greenhouse:
DMS – decision making subsystem ; FB – filtration block for solar radiation intensity;
NNPTSБ – neural network predictions for time series; OB(GA) – optimization block
with genetic algorithm; DSB – decision making block; CO – control block; LCS – local
control system; LACD – local automated control device; AM – actuating mechanism;
CO – control object

Results and Discussion. Information-measuring system (IMS) for recording and monitoring such environmental parameters, as solar radiation intensity and outside air temperature, was placed in PC "Combinat "Teplichniy" (Fig. 2).

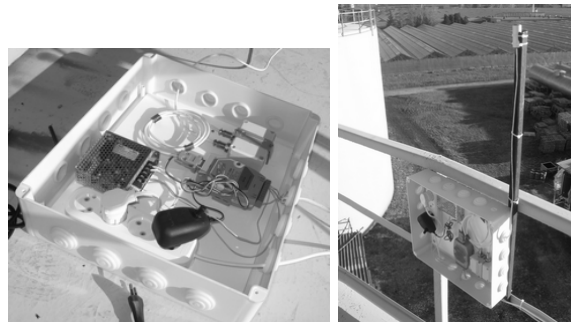


Fig. 2. Information-measuring system of external disturbances

With a view to develop the information structures of the control system for biotechnical objects the problem area and all tasks which have to be solved were analyzed in detail [4]. The main system units and data connections between them were allocated (Fig. 3).

Tables that contain all necessary information were formed using the relational database model:

- Sensor
- Actuator
- Command
- Error
- Measurement
- Measurand
- Price

Entity SENSOR contains information about all sensors and counters available in biotechnical system; ACTUATOR – about actuators; COMMAND – an entity that contains a list of commands that are sent by the computer or controller to actuators, ERROR – table of errors which could arise during operation of automated control system. This information allows to signal the operator about error in time, and further analyze the control system in general with the aim of improvement. MEASUREMENT is an entity which contains measurements of all variables that are important for biotechnical object (temperature, humidity, water and electricity costs, etc.); MEASURAND – list of the variables which are measured by monitoring subsystem; PRICE – important information, that is used by control system to calculate the most effective control decisions.

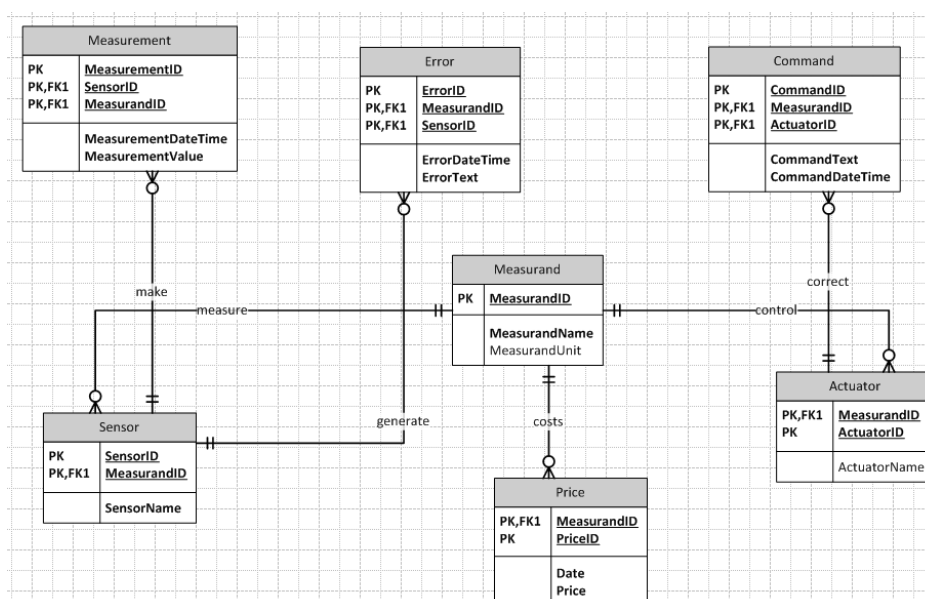


Fig. 3. Information structure of decision making subsystem

In this table are recorded current prices for resources (energy, water, feed, fertilizers, etc.), ensuring consideration of economic feasibility of produced control solutions. Information from this table can be used both by an operator and by automated control system to calculate control criterion for effective control decisions based on the criterion of profit.

Control system software for monitoring the external influences and technological microclimate parameters in a greenhouse was developed using modern IT methods and tools. Also getting weather forecast using Internet is implemented (Fig. 4).

In order to transfer the measured parameters from the local computer installed in a greenhouse, to the computer, which is in the laboratories of the department, was developed special software (Fig. 5). Using the Internet allowed to transmit information in real time.

These enabled the processing of measured parameters statistically and use the database of greenhouse microclimate for training the neural network.

Based on the type of neural network multilayer perceptron received external disturbances predictive value (solar radiation intensity and air temperature [1]).

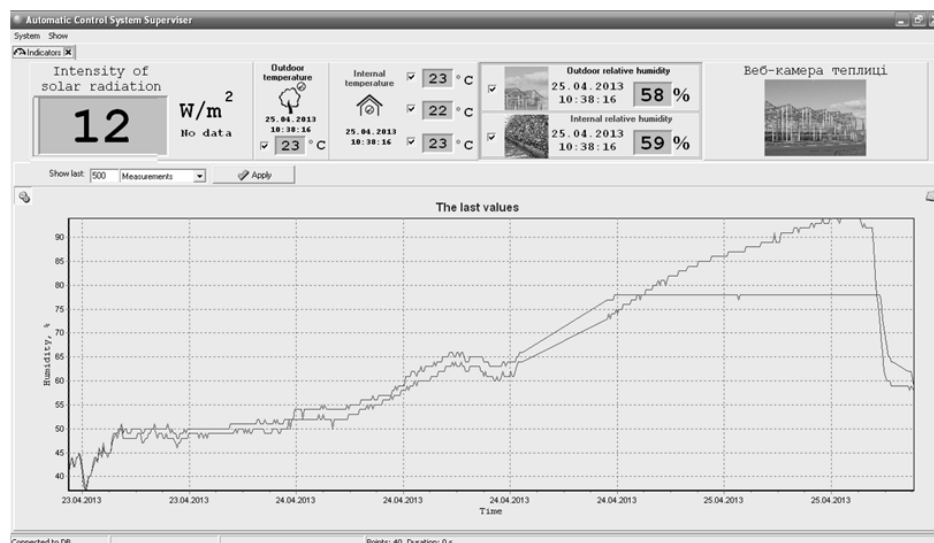


Fig. 4. Control system interface

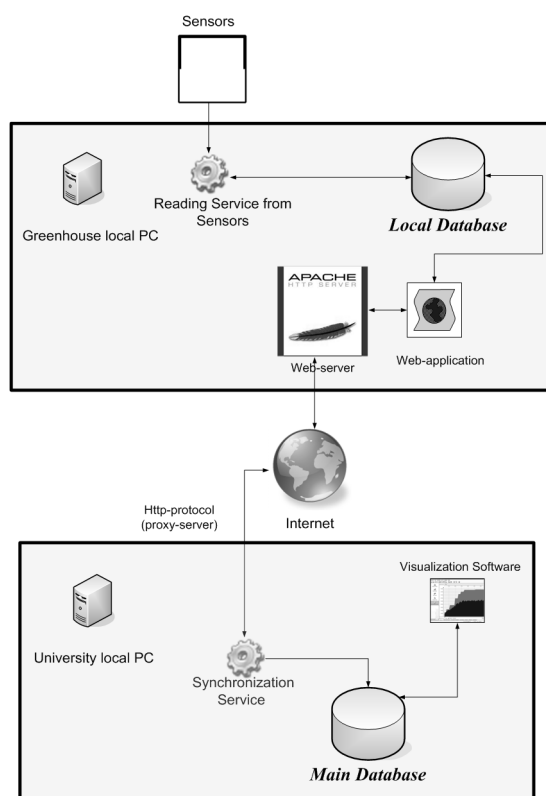


Fig. 5. Structure scheme of data transfer via Internet

Conclusions

1. Complex research allowed to establish the list of factors that affect the tomatoes productivity, to single out external natural disturbances and biological characteristics of tomato as being insufficiently studied and not taken into account in decision making control actions.

2. Information providing and database were used to save measured microclimate parameters in the greenhouse. Special software that allowed transferring data in real time was developed.

References

1. Lysenko V., Shtepa V., Dudnyk A. 2011: Probabilistic (Bayesian) neural network of temperature pattern classification // *Journal of Agricultural Science*. 4. – P. 53–56.
2. Lysenko V., Dudnyk A. 2011: Optimal control: status and prospects in the Greenhouse industry // *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 166. – P. 104 –113.
3. Lysenko V., Shtepa V., Zayets N., Dudnyk A. 2011: Neural network forecasting of outside temperature time series // *Biological Resources and Nature Management*. 3–4. – P. 102–108.
4. Лисенко В. П. Методи і засоби створення структури бази даних для підсистеми моніторингу автоматизованих систем керування технологічними процесами [Електронний ресурс] / В. П. Лисенко, Б. Л. Голуб, А. О. Дудник. – Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2012_3/12lv.pdf

ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ У ТЕПЛИЦІ З НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМ ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ

А. Дудник

Анотація. Розроблено інформаційне та програмне забезпечення системи керування у теплиці. Проаналізовано блок нейромережевого прогнозування й створено базу даних та інтерфейс користувача для системи керування у теплиці.

Ключові слова: інформація, база даних, теплиця, нейронна мережа, система керування.

ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛИЦЕ С НЕЙРОСЕТЕВЫМ ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

А. Дудник

Аннотация. Разработано информационное и программное обеспечение системы управления в теплице. Проанализирован блок нейросетевого прогнозирования и создана база данных и интерфейс пользователя для системы управления в теплице.

Ключевые слова: информация, база данных, теплица, нейронная сеть, система управления.

РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ОБЛАСТЯХ ІЗ ВІДРИВНИМИ ТЕЧІЯМИ. 1. СПРОЩЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук
e-mail: gorobetsv@ukr.net

Анотація. Розроблено спрощену методику розрахунку теплообміну в областях із відривними течіями. Методика базується на розбитті відривної області на три гідродинамічні зони: I – зону пограничного шару біля стінки; II – зону вихрового ядра; III – зону приєднаної зовнішньої течії за вихровим ядром. У результаті розрахунку, згідно з розробленою методикою, у відривній області знаходяться всі теплообмінні характеристики у цій області.

Ключові слова: область із відривною течією, теплообмін, пограничний шар, вихрове ядро, приєднана течія.

Течія зовнішнього теплоносія біля поверхні обтікання, разом з областями формування пограничного шару (ПШ) або ділянками розвиненої течії, може мати зони, де відбувається відрив зовнішньої течії. Розрахунок гідродинаміки й теплообміну в цих зонах є складним завданням, яке в загальному випадку потребує рішення рівнянь Нав'є-Стокса. Проте для деяких типів відривних течій задача розрахунку течії та теплообміну дещо спрощується. Це стосується течій, коли у відривній зоні формується поодинокий вихор. До таких течій належать поворотні течії в області прямого і зворотного уступу, течії у виїмках, що мають невелику глибину, деякі типи поворотних течій при натіканні струменя на поверхню та ряд інших випадків.

Мета досліджень – розробка спрощеної методики розрахунку теплообміну в області відривних течій.

Матеріали та методика досліджень. Відривні течії в кутових зонах, заглибленнях, зонах з уступами характеризуються наявністю поодинокого відривного вихору, який має швидкість течії істотно меншу, порівняно зі швидкістю зовнішньої течії. У найбільш простому наближенні, виходячи з гіпотези Бетчелора [1], вихор можна розглядати як нерухоме ядро рідини, яке омивається зовнішнім потоком. Експериментальні й теоретичні дослідження показують [2, 3], що швидкість течії у вихорі змінюється від нульового значення в центрі вихору до деякої постійної величини на зовнішній його поверхні, значення якої залежить від швидкості зовнішньої потенційної течії і в'язкістних характеристик зовнішнього теплоносія.

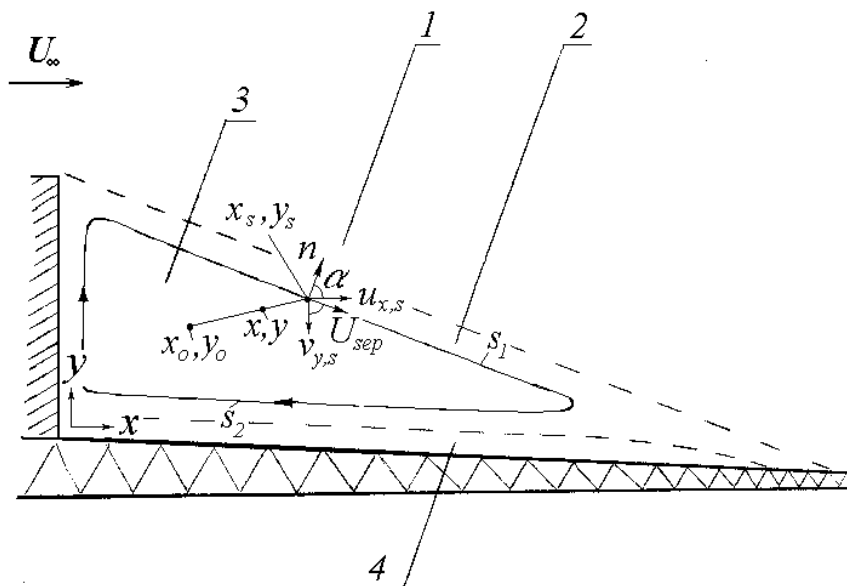
В області відриву на поверхні стінки формується ПШ, а між вихровим ядром і зовнішнім потоком є так званий шар змішування, структура течії в якому близька до течії в ПШ. Виходячи з таких передумов, було запропоновано різні моделі відривної течії та методи їх розрахунку. Особ-

ливо детально розроблені розрахункові методики подібного типу для відривних течій з великою швидкістю зовнішнього потоку і надзвукових течій (теорія Чепмена, Корста та ін.) [2]. Дещо інший підхід використали Лаврентьєв і Шабат, а також Гольдштик для розрахунку відривних течій з поодиноким вихором при поперечному обтіканні траншей і виступів [4].

Таким чином, відривну область можна умовно розглядати як таку, що складається з декількох зон, які мають різну структуру течії. А саме: в області відривної течії є зовнішня потенційна течія 1, зона змішування 2 між зовнішньою течією і відривним вихором, область потенційної вихрової течії 3 і зона ПШ 4 в пристінній області (див. рисунок).

Аналіз гідродинамічних характеристик відривних течій, отриманих при чисельному розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса в усій даній області і експериментальних даних, отриманих із використанням лазерної вимірювальної техніки [2, 3] свідчить, що розподіл швидкостей у вихорі має достатньо простий профіль, для якого значення швидкості змінюється від нуля в центрі вихору до деякого постійного значення на зовнішній його границі. При цьому існує деяка загальна залежність між швидкістю зовнішньої течії та швидкістю потенційної течії у вихровій області на зовнішній її границі

$$U_{sep} = K_U U_{\infty}. \quad (1)$$



Розрахункова схема відривної течії:

- 1 – зовнішня течія; 2 – зона змішування; 3 – область потенційної вихрової течії;
4 – зона ПШ у пристінній області

Коефіцієнт K_U , згідно з наявними дослідженнями [2, 3], для виїмок малої глибини і невисоких уступів рівний $K_U = 0,2 - 0,3$. Залежність (1) дозволяє визначати швидкість течії на зовнішній границі вихору, якщо відома швидкість зовнішньої потенційної течії.

Температура вихрового ядра визначається при розв'язку рівняння теплопровідності в зоні 3

$$u_x \frac{\partial T_{gs}}{\partial x} + v_y \frac{\partial T_{gs}}{\partial y} = a_g \left(\frac{\partial^2 T_{gs}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{gs}}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

де u_x, v_y – подовжня і поперечна складові швидкості вихрової течії у відривній зоні (див. рисунок).

На зовнішній поверхні контуру вихору виконуються граничні умови

$$\left. \frac{\partial T_{gs}}{\partial n} \right|_{n=s_1} = q_{s_1}, \quad \left. \frac{\partial T_{gs}}{\partial n} \right|_{n=s_2} = q_{s_2}, \quad (3)$$

де n – нормаль до поверхні зовнішнього контуру зони 3;

s_1, s_2 – відповідно, зовнішній контур зони 3 на поверхні стінки і на межі шару змішування;

q_{s_1}, q_{s_2} – відповідно, густина теплових потоків на поверхні обтічного тіла і в зоні змішування на межі вихрового ядра і зовнішнього потоку.

Оцінки показують, що переважаючий вклад у рівнянні (2) вносить конвективна складова теплового потоку. Як свідчить аналіз розрахункових і експериментальних досліджень, температура T_{gs} мало змінюється у вихровій зоні і в першому наближенні її можна приймати постійною. Значення T_{gs} можна визначити при розв'язку рівняння балансу теплових потоків на межі розділів між циркуляційним ядром і обтічною стінкою, з одного боку, і зовнішнім потоком, з іншого:

$$\int_{s_1} \alpha_1(s) (T_{g\infty} - T_{gs}) ds_1 = \int_{s_2} \alpha_2(s) (T_{gs} - T_s) ds_2 \quad (4)$$

або

$$\bar{\alpha}_1 (T_{g\infty} - T_{gs}) F_1 = \bar{\alpha}_2 (T_{gs} - T_s) F_2, \quad (5)$$

Індекси 1 і 2 в (4), (5) позначають, відповідно, межу розділу зовнішній потік – відривне ядро і відривне ядро – стінка, а F_1 і F_2 – площі меж розділу. З (5)

знаходимо шукане значення температури ядра

$$T_{gs} = \left(1 + \frac{\bar{\alpha}_1 F_1}{\bar{\alpha}_2 F_2} \right)^{-1} \left(T_s + \frac{\bar{\alpha}_1 F_1}{\bar{\alpha}_2 F_2} T_{g\infty} \right). \quad (6)$$

У співвідношенні (6) використані усереднені по поверхні коефіцієнти тепловіддачі $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2$, обчислені на межі розділу. Згідно з наявними дослідженнями [3], навіть для великих швидкостей зовнішньої течії ПШ, що формується в пристінному шарі відривної області, близький до ламінарного і для розрахунку $\bar{\alpha}_2$, враховуючи співвідношення $\bar{\alpha} = Nu \lambda_g / L$ (L – довжина межі розділу), можна використати розрахункове значення $\bar{\alpha}$,

яке знаходиться при розв'язку конкретної задачі спряженого теплообміну, або визначаючи її по відомій залежності для ізотермічної стінки [5]

$$Nu_L = c Pr^n Re^m, \quad (7)$$

де $Re = U_{sep} L / \nu$ – число Рейнольдса для відривної течії, а коефіцієнт c і показники степеня n, m визначаються на підставі розрахункових або експериментальних даних.

При визначенні усереднених значень коефіцієнта тепловіддачі в області змішування $\bar{\alpha}_1$ необхідно визначити відносну швидкість $U_{s\infty} = U_{\infty} - U_{sep}$ і, залежно від її значення, по відомих формулах (7) розрахувати її значення для ламінарного або турбулентного режимів течії у шарі змішування, де $Re = U_{s\infty} L / \nu$ – число Рейнольдса, обчислене по відносній швидкості $U_{s\infty} = U_{\infty} - U_{sep}$.

Використовуючи знайдені значення швидкості течії U_{sep} і температури T_{gs} у вихорі, проводиться розрахунок теплопереносу для обтічної поверхні, а саме, знаходяться локальні характеристики теплообміну та сумарний тепловий потік, який відводиться (підводиться) від поверхні обтікання

$$Q_s = 2 \int_S \alpha_s(x, y, z) (\tilde{T}_s(x, y, z) - T_{gs}) ds, \quad (8)$$

де $\alpha_s(x, y, z)$, $\tilde{T}_s(x, y, z)$ – локальні значення коефіцієнта тепловіддачі і температури на поверхні стінки (індекс s позначає поверхню обтікання, а змінні x, y, z – їх поточні значення на поверхні в декартовій системі координат).

Висновки

1. Розроблено спрощену методику розрахунку теплообміну в області відривних течій, яка базується на розбитті відривної течії на три зони гідродинамічної течії: а) зону пограничного шару біля стінки; б) зону вихрового ядра; в) зону приєднаної зовнішньої течії за вихровим ядром.

2. У результаті розрахунку за спрощеною методикою, знаходяться такі характеристики теплообміну, як: швидкість течії у вихровому ядрі, коефіцієнт тепловіддачі по поверхні стінки, загальний відведений тепловий потік та інші теплові характеристики.

Список літератури

1. Batchelor G. K. On steady laminar flow with closed stream lines at large Reynolds number / G.K. Batchelor // J. Fluid Mechanic. – 1956. – V.1. – P.177.
2. Чжен П. Отрывные течения / П. Чжен. – М. : Мир, 1972. – Т.1–3.
3. Бормусов А. А. Влияние внешней турбулентности на течение в прямоугольной полости // А. А. Бормусов, Г. А. Глебов, А. Н. Щелков // Механика жидкости и газа. – 1986. – № 2. – С. 162–166.
4. Лаврентьев М. А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М. : Наука. – 1977. – 407 с.
5. Себиси Т. Конвективный теплообмен / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – М. : Мир, 1987. – 590 с.

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТЯХ С ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ.

1. УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В. Г. Горобец

Аннотация. Разработана методика расчета теплообмена в областях с отрывными течениями. Методика базируется на разбиении отрывной области на три гидродинамические зоны: I – зону пограничного слоя у стенки; II – зону вихревого ядра; III – зону присоединенного внешнего течения за вихревым ядром. В результате расчета, в соответствии с разработанной методикой, в отрывной области находятся все теплообменные характеристики в этой области.

Ключевые слова: область с отрывным течением, теплообмен, пограничный слой, вихревое ядро, присоединенное течение.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN AREAS WITH SEPARATED FLOWS. 1. SIMPLIFIED PROCEDURE OF CALCULATION

V. Gorobetz

Annotation. The method of calculating heat transfer in the areas of separated flow is developed. The technique is based on partition of the separated area for three hydrodynamic zones: I – zone boundary layer near the wall; II – zone of the vortex core; III – zone attached flow to outer reaches of the vortex core. As a result of calculation in the field vortex flow the all heat characteristics in this area are found.

Key words: region of separated flow, heat transfer, boundary layer, vortex core, attached flow.

УДК 536.24

РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ОБЛАСТЯХ ІЗ ВІДРИВНИМИ ТЕЧІЯМИ.

2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В КУТОВИХ ЗОНАХ ТА ВІЙМКАХ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук
e-mail: gorobetsv@ukr.net

Анотація. Спрощена методика розрахунку теплообміну в областях із відривними течіями застосована для розрахунку процесів теплопереносу в кутових зонах та виїмках для ребрих поверхонь. У результаті проведеного розрахунку, отримано розподіли локальних коефіцієнтів тепловіддачі та температурні розподіли на поверхні обтікання для досліджуваних об'єктів.

© В. Г. Горобець. 2015

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТЯХ С ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ. 1. УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В. Г. Горобец

Аннотация. Разработана методика расчета теплообмена в областях с отрывными течениями. Методика базируется на разбиении отрывной области на три гидродинамические зоны: I – зону пограничного слоя у стенки; II – зону вихревого ядра; III – зону присоединенного внешнего течения за вихревым ядром. В результате расчета, в соответствии с разработанной методикой, в отрывной области находятся все теплообменные характеристики в этой области.

Ключевые слова: область с отрывным течением, теплообмен, пограничный слой, вихревое ядро, присоединенное течение.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN AREAS WITH SEPARATED FLOWS. 1. SIMPLIFIED PROCEDURE OF CALCULATION

V. Gorobetz

Annotation. The method of calculating heat transfer in the areas of separated flow is developed. The technique is based on partition of the separated area for three hydrodynamic zones: I – zone boundary layer near the wall; II – zone of the vortex core; III – zone attached flow to outer reaches of the vortex core. As a result of calculation in the field vortex flow the all heat characteristics in this area are found.

Key words: region of separated flow, heat transfer, boundary layer, vortex core, attached flow.

УДК 536.24

РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ОБЛАСТЯХ ІЗ ВІДРИВНИМИ ТЕЧІЯМИ. 2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В КУТОВИХ ЗОНАХ ТА ВІЙМКАХ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук
e-mail: gorobetsv@ukr.net

Анотація. Спрощена методика розрахунку теплообміну в областях із відривними течіями застосована для розрахунку процесів теплопереносу в кутових зонах та виїмках для ребрих поверхонь. У результаті проведеного розрахунку, отримано розподіли локальних коефіцієнтів тепловіддачі та температурні розподіли на поверхні обтікання для досліджуваних об'єктів.

© В. Г. Горобець. 2015

Ключові слова: *теплообмін, пограничний шар, вихрове ядро, приєднана течія, коефіцієнт тепловіддачі, температура.*

При розрахунку багатьох елементів теплообмінного обладнання необхідно проводити тепловий та гідравлічний розрахунок процесів тепло- і масопереносу в областях з відривами потоку. До таких об'єктів належать, наприклад, елементи оребрених поверхонь у котлах, теплообмінниках різного призначення, системах охолодження електронного обладнання тощо. Використовуючи спрощену методику розрахунку теплообміну у відривних зонах [1], у даній роботі проведено розрахунок окремих елементів оребрених поверхонь.

Мета досліджень – розрахунок теплообміну в елементах оребрених поверхонь із використанням спрощеної методики розрахунку теплообміну в області відривних течій.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо умови гідродинамічної течії та тепlopереносу для двох елементів оребреної поверхні – елемента поверхні труб із плавниковим оребренням і в окремій комірці між сусідніми ребрами для плоскооребреної поверхні при поперечному її обтіканні (рис. 1а, б). На рис. 1, а показано натікання зовнішнього потоку зі швидкістю U_g і температурою T_g на поверхню плавникового ребра і труби. При цьому на поверхні обтікання можна виокремити три зони гідродинамічної течії: I – зону формування пограничного шару (ПШ); II – зону відривної течії; III – зону приєднання потоку після відривної зони. При розгляді течії в комірці при поперечному обтіканні оребреної поверхні (див. рис. 1б) можна виокремити один відривний вихор, що формується в ній. Згідно з методикою, розробленою в [1], на оребреній поверхні в зоні відривної течії формується ПШ, для якого справедливе співвідношення [2, 3]

$$q(x, T) = \alpha^*(x) \left[T(x=0) - T_{gs} + \int_0^x f(x, x') \frac{dT}{dx'} dx' \right], \quad (1)$$

де x – поточна координата, м;

$f(x, x') = [1 - (x'/x)^{c_1}]^{c_2}$ – функція впливу.

Для ПШ локальні значення коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* визначаються за формулою:

$$\alpha^*(x) = c \lambda_g \text{Pr}^n \text{Re}_x^m / x, \quad (2)$$

де λ_g – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/м⁰С;

Pr – число Прандтля;

$\text{Re}_x = Ux / \nu$ – число Рейнольдса, розраховане за швидкістю U на зовнішній границі ПШ;

x – довжина формування ПШ, м, а коефіцієнт c і показники n, m визначаються на підставі розрахункових або експериментальних даних [4].

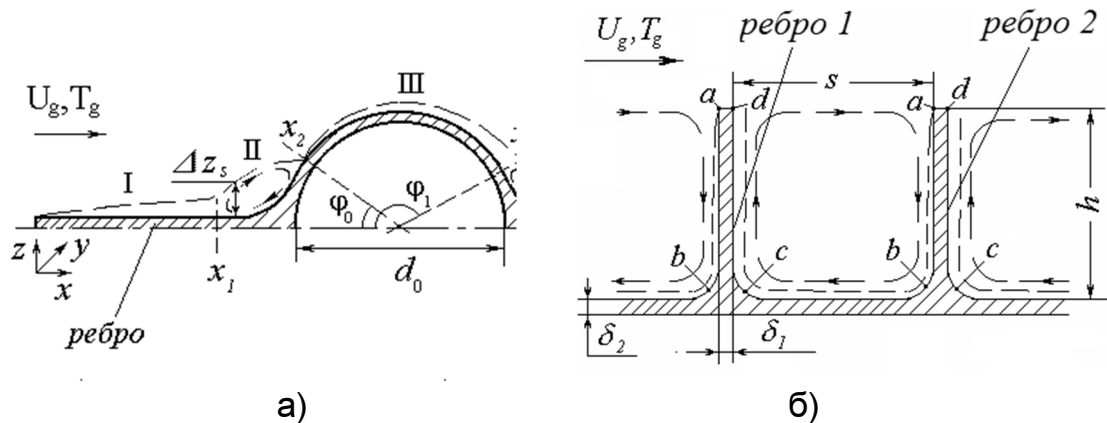


Рис. 1. Схема течії в зонах із відривною течією:

а) відривна течія в кутовій зоні для труби з плавниковим ребром; б) відривна течія в комірці між сусідніми ребрами необігрітої ділянки; q – густина теплового потоку, відведеного з поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2$; α^* – коефіцієнт тепловіддачі на ізотермічній поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$; T – температура стінки, $^\circ\text{К}$; T_{gs} – температура теплоносія у відривній зоні, $^\circ\text{К}$

Температура поверхні ребреної стінки визначається при розв'язку рівняння теплопровідності [5]

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0, \quad (3)$$

де T – температура стінки;

x, y, z – поточні координати.

Для реброваних стінок їх товщина є невеликою, порівняно з повздовжніми і поперечними розмірами цих стінок, тому можна провести усереднення температур по товщині стінки. Наприклад, для елемента, поданого на рис. 1а, рівняння (3) можна записати у вигляді

$$\lambda \delta \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial \bar{T}}{\partial y^2} \right) = q(x, y, \bar{T}), \quad (4)$$

де x, y – поточні координати стінки в повздовжньому й поперечному напрямках;

λ, δ – відповідно, коефіцієнт теплопровідності і товщина стінки;

$\bar{T} = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta T(x, y, z) dz$ – усереднена по товщині температура стінки;

q – локальний тепловий потік, відведений з поверхні стінки.

Для стінок із великими розмірами в поперечному напрямку залежність від координати y відсутня й рівняння (3) стає одновимірним. Аналогічно можна записати рівняння теплопровідності для елемента, представленого на рис. 1б, причому усереднення температур проводиться на несучій стінці по координаті z , а для ребер – по координаті x .

Граничні умови для рівняння (4) записуються залежно від об'єкта дослідження. Для елемента труби з плавниковим оребренням (див. рис. 1а) можна записати

$$\left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \bar{T}(x=h) = T_0, \quad (5)$$

де T_0 – температура на поверхні труби;
 h – висота ребра.

Для елемента оребреної поверхні, поданої на рис 1б, граничні умови мають вигляд

$$\left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right|_{z=h} = 0, \quad \bar{T}(z=0) = T_0. \quad (6)$$

Для обох розглянутих елементів оребрення температура стінки, на якій знаходяться ребра, вважається постійною і рівною T_0 .

Проведені чисельні розрахунки рівняння (4) з граничними умовами (5), (6) для елементів оребреної стінки, подані на рис. 1. Деякі результати розрахунку наведено на рис. 2–4.

На рис. 2 подано розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі α на поверхні труби з плавниковим оребренням, отриманий у результаті чисельного розрахунку (див. рис. 1а). При розрахунках як зовнішній теплоносій вибрано повітря, яке має на вході такі значення швидкостей і температур: $U_g = 5 \text{ м/с}$, $T_g = 400^\circ \text{C}$ та геометричні розміри оребреної труби, виготовленої зі сталі $d_0 = 38 \text{ мм}$, $h = 42 \text{ мм}$.

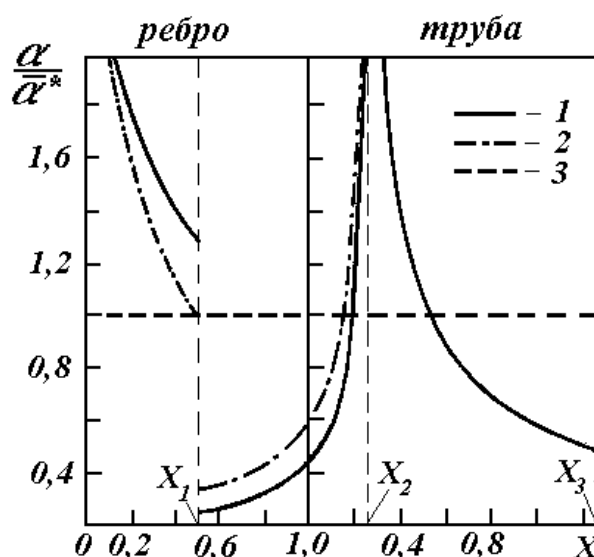


Рис. 2. Розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні труби з плавниковим оребренням:

1 – розподіл, отриманий при чисельному розрахунку; 2 – розподіл для ізотермічної поверхні; 3 – усереднені значення по поверхні обтікання

При цьому локальні значення α віднесені до усереднених значень коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* . Крім розподілу локальних значень α , отриманих в результаті чисельного розрахунку, на рис. 2 подано також локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* та його усереднене значення (відповідно, криві 1, 2, 3 на рис. 2). Як бачимо з рисунка, локальні максимуми значень коефіцієнта тепловіддачі спостерігаються на ділянках поблизу торцевої поверхні ребра та на ділянках труби, де відбувається приєднання зовнішньої течії до поверхні труби після відривної зони. Отримані локальні максимуми коефіцієнта тепловіддачі зумовлені тим, що на цих ділянках починає формуватися ПШ, товщина якого є малою, а інтенсивність теплообміну є максимальною.

На рис. 3 наведено розподіл температур по поверхні труби з плавниковим оребренням, які подано в безрозмірному вигляді $\theta = \frac{T - T_g}{T_0 - T_g}$.

Як бачимо з рисунка, максимальне падіння температури має місце біля торцевих ділянок ребра, де локальні значення коефіцієнта тепловіддачі максимальні. У міру наближення до основи ребра, його температура підвищується, наближаючись до значень температури на поверхні труби.

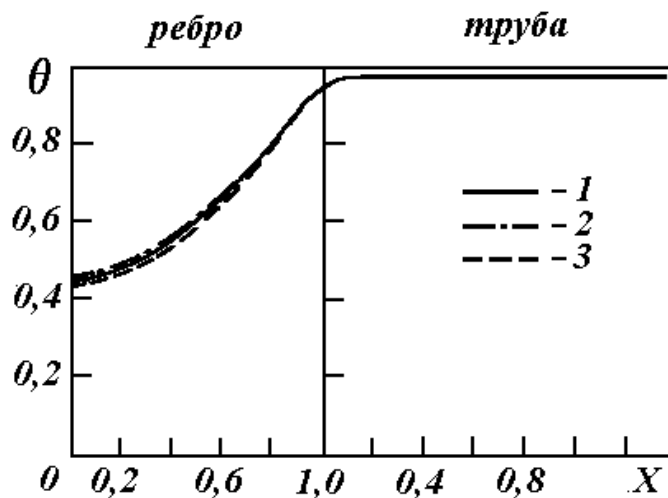


Рис. 3. Розподіл локальних значень температури по поверхні труби з плавниковим оребренням
(криві 1, 2, 3 відповідають кривим, наведеним на рис. 2)

На рис. 4 подано локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі α по поверхні оребреної комірки (див. рис. 1б), віднесені до усереднених значень коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* . У розрахунках прийнято, що зовнішній теплоносіє – це повітря, яке на вході має такі значення швидкостей і температур: $U_g = 1-20 \text{ м/с}$, $T_g = 100^\circ \text{C}$.

Вибрано також наступні геометричні розміри оребреної стінки, виготовленої зі сталі:

$s = 5 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$. Розрахунки проведено для двох значень характерис-

тичного параметра ребра $N = \frac{2h^2 \bar{\alpha}^*}{\lambda \delta}$, які рівні 0,2 і 2,0. На рис. 4, крім

розподілів локальних значень α , отриманих при чисельному розрахунку (крива 1), подано також локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* (крива 2). Аналіз отриманих кривих свідчить, що максимальні значення локального коефіцієнта тепловіддачі спостерігаються поблизу торцевої поверхні ребра (див. область біля точки а на рис. 1б), де починає формуватися ПШ на поверхні оребреної комірки.

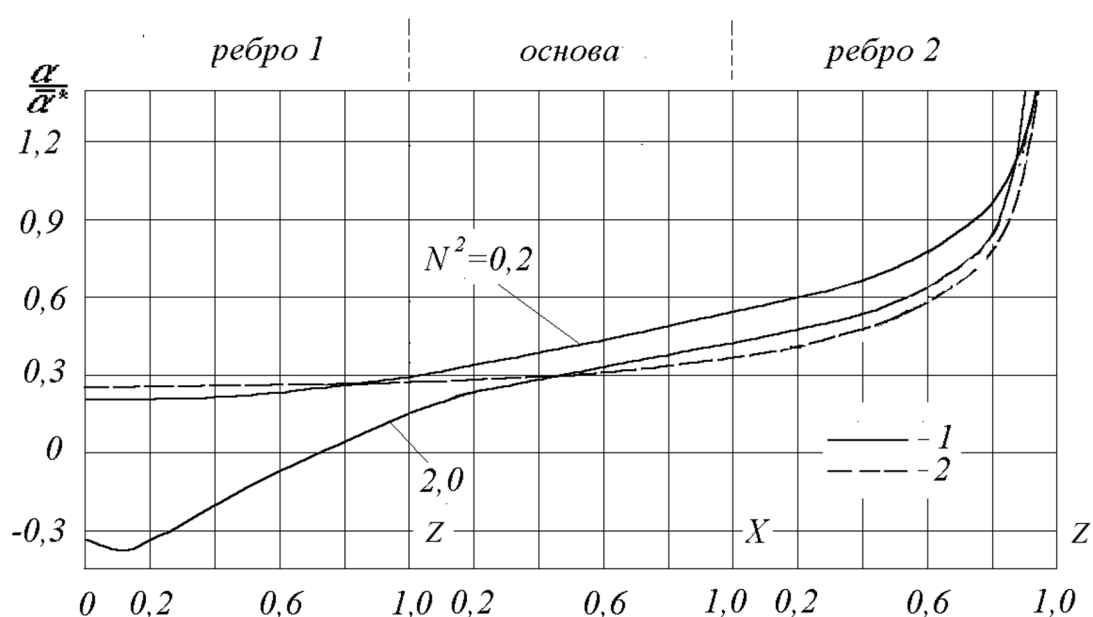


Рис. 4. Локальний розподіл коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні оребреної комірки:

- 1 — розподіл, отриманий при чисельному розрахунку;
- 2 — розподіл для ізотермічної поверхні

Отже, у результаті розрахунків теплообміну у відривних зонах за спрощеною методикою, можна отримати всі локальні характеристики оребрених поверхонь, для яких характерні гідродинамічні умови обтікання з відривами зовнішньої течії.

Висновки

1. Базуючись на спрощеній методиці розрахунку теплообміну для відривних течій, проведено чисельні розрахунки теплопереносу для труб із плавниковим оребренням та плоскопаралельних оребрених поверхонь при поперечному їх обтіканні.

2. У результаті чисельного розрахунку теплообміну отримано локальні розподіли коефіцієнтів тепловіддачі та температурні розподіли по поверхні обтікання для досліджуваних об'єктів.

Список літератури

1. Горобець В. Г. Розрахунок теплообміну в областях з відірваними течіями. 1. Спрощена методика розрахунку / В. Г. Горобець // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 224. – С. 51–55.
2. Кэйс В. М. Конвективный тепло- и массоперенос / В. М. Кэйс. – М. : Энергия, 1972. – 367 с.
3. Дорфман А. Ш. Теплообмен при обтекании неизоотермических тел / А. Ш. Дорфман. – М. : Машиностроение, 1982. – 249 с.
4. Себиси Т. Конвективный теплообмен / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – М. : Мир, 1987. – 339 с.
5. Gorobets V. G. Heattransfer in a non-isothermal extended surface / V. G. Gorobets. – K. : Компринт, 2014. – 377 с.

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТЯХ С ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ. 2. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В УГЛОВЫХ ЗОНАХ И ВЫЕМКАХ

В. Г. Горобец

Аннотация. Упрощенная методика расчета теплообмена в областях с отрывными течениями применена для расчета процессов теплопереноса в угловых зонах и выемках для ребренных поверхностей. В результате проведенного расчета, получены распределения локальных коэффициентов теплоотдачи и температурные распределения на поверхности обтекания для исследуемых объектов.

Ключевые слова: теплообмен, пограничный слой, вихревое ядро, присоединенное течение, коэффициент теплоотдачи, температура.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN AREAS WITH SEPARATED FLOWS. 2. CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN THE CORNER AREAS AND SEIZURES

V. Gorobetz

Annotation. A simplified method for calculating heat transfer in areas with separated flows is used for calculation of heat transfer in the corner areas and seizures for the finned surfaces. As a result of the calculation the distribution of heat transfer coefficient and the temperature distribution on the surface of these objects are obtained.

Key words: heat transfer, boundary layer, vortex core, attached flow, heat transfer coefficient, temperature.

ЗМІНА БІОПОТЕНЦІАЛУ ЯЧМЕНЮ ПІД ЧАС ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

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

Анотація. *Наведено результати досліджень впливу магнітного поля на біопотенціал паростків ячменю. Встановлено залежності біопотенціалу ячменю від магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі. Визначено найефективніший режим обробки.*

Ключові слова: *ячмінь, біопотенціал, магнітна індукція, швидкість руху насіння.*

Електротехнологічні методи передпосівної обробки насіння зернових культур уможливають збільшення їх врожайності, зменшення захворюваності рослин і підвищення якості продукції.

Загальним недоліком існуючих методів електромагнітної стимуляції є відсутність інструментального визначення дози обробки. Її оптимальне значення визначають за наслідками – отриманими результатами, які значною мірою залежать від агрокліматичних факторів, родючості ґрунтів, застосовуваної технології вирощування тощо [3].

Тому при визначенні оптимальних режимів магнітної обробки важливим питанням, яке потребує наукового обґрунтування та вирішення, є індикація її ефекту [2, 3].

Проведені дослідження показали, що для визначення ефекту магнітної обробки найдоцільніше використовувати потенціометричний метод вимірювання окислювально-відновного потенціалу (біопотенціалу).

Мета досліджень – встановлення впливу магнітного поля на біопотенціал насіння ячменю.

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження проводили з ячменем сорту «Солнцедар». Насіння переміщувалося на транспортері через магнітне поле, створюване постійними магнітами.

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 за допомогою перетворювача частоти.

Оброблене у магнітному полі насіння ячменю пророщували і вимірювали значення окислювально-відновного потенціалу (ОВП) паростків.

Для вимірювання ОВП було розроблено вимірювальний електрод, який є платиновою пластиною із загостреним кінцем у вигляді ножа. Платиновий електрод вводиться в паросток пророслого насіння. Як допоміжний електрод використовувався стандартний хлоросрібляний електрод. За допомогою іоніметра І-160М визначали різницю ОВП паростків необробленого та обробленого в магнітному полі насіння [4].

Досліди виконували в трикратній повторності, а їх відтворюваність визначали за критерієм Кохрена при 5 %-му рівні значущості.

Дослідження впливу швидкості руху насіння під час магнітної обробки на зміну біопотенціалу паростків огірків виконувалися із застосуванням методу планування експерименту [1]. За відгук приймали зміну біопотенціалу паростків огірків під час магнітної обробки. За значення факторів приймали магнітну індукцію (X_1) та швидкість руху розчину (X_2).

Межі зміни магнітної індукції визначали на основі проведених однофакторних експериментів. Значення верхнього, нижнього і основного рівнів були для магнітної індукції 0,015; 0,65 і 0,115 Тл, для швидкості руху насіння – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

У процесі досліджень використовувався ортогональний центральнокмпозиційний план. Досліди виконували в рандомізованому порядку в трикратній повторності. У кожному рядку матриці планування визначали дисперсії, а їх однорідність перевіряли за критерієм Кохрена.

Рівняння регресії знаходили у вигляді:

$$\Delta БП = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (1)$$

Коефіцієнти у рівнянні регресії та їх значущість визначали за відомою методикою, а адекватність отриманого рівняння регресії оцінювали за критерієм Фішера [1].

Результати досліджень. Обробка насіння зернових культур у магнітному полі впливає на фізико-хімічні процеси, що в них відбуваються.

При дії магнітного поля на насіння зростає швидкість хімічних та біохімічних реакцій, які відбуваються в клітині [3]:

$$\omega_m = \omega \exp \mu (K^2 B^2 + 2KBv_n) N_a / 2RT, \quad (2)$$

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

μ – зведена маса іонів, кг;

B – магнітна індукція, Тл;

v – швидкість руху іонів, м/с;

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

N_a – число Авогадро, молекул/моль;

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

T – температура, К.

Зміна окислювально-відновного потенціалу (ОВП) насіння визначається за рівнянням Нернста [5]:

$$\Delta \varphi = S_i (\lg fC_2 - \lg fC_1) = S_i (\lg C_2 - \lg C_1), \quad (3)$$

де S_i – крутість електродної характеристики електрода, В/од. рХ;

f – коефіцієнт активності;

C_1 – концентрація іонів до магнітної обробки, моль/л;

C_2 – концентрація іонів після магнітної обробки, моль/л

або

$$\Delta \varphi = S_i (\lg \omega_2 - \lg \omega_1). \quad (4)$$

Крутість електродної характеристики визначається за формулою:

$$S_t = 2,3 \frac{RT}{zF}, \quad (5)$$

де z – валентність іона;

F – число Фарадея, Кл/моль.

Тоді зміна ОВП становитиме:

$$\Delta OBP = - \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right). \quad (6)$$

Біопотенціал визначають за формулою:

$$BP = 820 - OBP. \quad (7)$$

Тоді зміна біопотенціалу становитиме:

$$\Delta BP = - \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right). \quad (8)$$

або

$$\Delta BP = A_1 B^2 + A_2 Bv, \quad (9)$$

де A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Коефіцієнти, які входять у рівняння (9) аналітично визначити неможливо. Їх визначали на основі експериментальних даних.

Проведені експериментальні дослідження зміни біопотенціалу паростків ячменю під час обробки насіння в магнітному полі показали, що при зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл значення біопотенціалу зростає, а при її подальшому збільшенні починає зменшуватися (рис. 1). При великих значеннях магнітної індукції біопотенціал паростків ячменю практично не змінювався, але на 20 мВ перевищував його значення для насіння, не обробленого в магнітному полі.

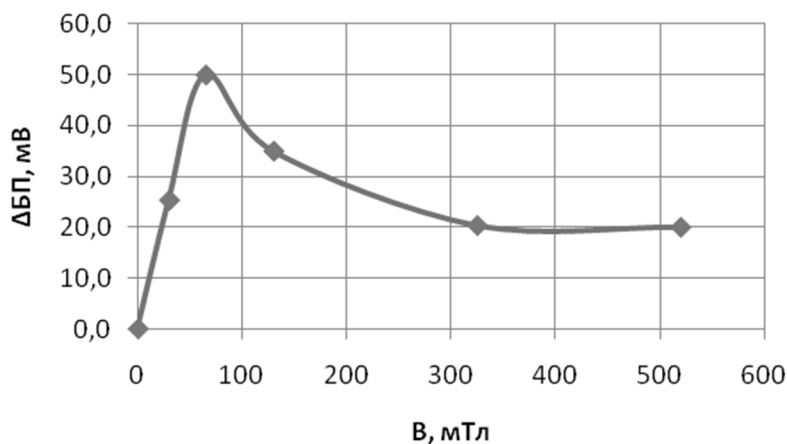


Рис. 1. Залежність біопотенціалу паростків ячменю від магнітної індукції

Рівняння регресії, яке зв'язує біопотенціал паростків ячменю з параметрами магнітного поля у фізичних величинах, має вигляд (рис. 2):

$$\Delta BP = 75.831 + 533.667B - 9.875v - 91.667Bv - 3511B^2.$$

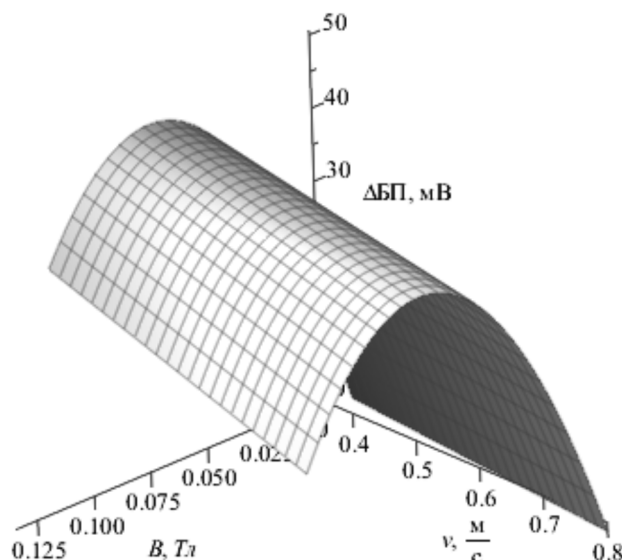


Рис. 2. Зміна біопотенціалу паростків ячменю під час обробки насіння в магнітному полі

Проведені дослідження показали, що за зміною біопотенціалу рослин можна визначити ефективність передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур та визначати найефективніші режими обробки.

Висновки

Зміна біопотенціалу зерна під час магнітної обробки залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі. Найефективніший режим обробки зерна ячменю має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4 м/с.

Список літератури

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М. : Наука, 1976. – 278 с.
2. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – [2-е изд.]. – М. : Химия, 1982. – 296 с.
3. Проектирование комплексной электрификации / [Л. Г. Прищеп, А. П. Якименко, Л. В. Шаповалов и др.] ; под ред. Л. Г. Прищеп. – М. : Колос, 1983. – 271 с.
4. 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.
5. Савченко В. В. Визначення ефекту магнітної обробки насіння сільськогосподарських культур / В. В. Савченко, О. Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 136–140.

ИЗМЕНЕНИЕ БИОПОТЕНЦИАЛА ЯЧМЕНЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В. В. Савченко, А. Ю. Синявский

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния магнитного поля на биопотенциал проростков ячменя. Установлены зависимости биопотенциала ячменя от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определен наиболее эффективный режим обработки.

Ключевые слова: ячмень, биопотенциал, магнитная индукция, скорость движения семян.

CHANGE OF BARLEY BIOPOTENTIAL BY PRE-SOWING TREATMENT IN A MAGNETIC FIELD

V. Savchenko, A. Sinyavsky

Annotation. The results of research on the influence of magnetic field on biopotential barley seedlings are described. The dependencies of barley biopotential by magnetic induction and speed of the seeds in a magnetic field are determined. The most effective treatment regimen are identified.

Key words: barley, action potential, the magnetic induction, the velocity of the seed.

УДК 681.516.75:631.234

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І СИСТЕМ У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

В. П. Лисенко, В. В. Коваль, доктори технічних наук

А. О. Дудник, кандидат технічних наук

Т. І. Лендел, асистент

email: taraslendel@rambler.ru

Анотація. Споруди закритого ґрунту характеризуються наявністю біологічної складової – рослини та технологічного обладнання, здатного забезпечувати певні технологічні вимоги: температуру, вологість, концентрацію вуглекислоти у повітрі, температуру ґрунту, світловий режим рослин тощо. Усе зазначене впливає на стан рослин та їх продуктивність. Електротехнічні комплекси, як складові технологічного обладнання, призначені формувати стратегії керування як окремими технологічними процесами, так і виробництвом у цілому. Тобто, ефективність виробництва суттєво залежить від якості електротехнічних комплексів, а ще більше – від здатності цих комплексів формувати енергоефективні стратегії керування.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, енергетика, керування.

© В. П. Лисенко, В. В. Коваль,
А. О. Дудник, Т. І. Лендел, 2015

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния магнитного поля на биопотенциал проростков ячменя. Установлены зависимости биопотенциала ячменя от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определен наиболее эффективный режим обработки.

Ключевые слова: ячмень, биопотенциал, магнитная индукция, скорость движения семян.

CHANGE OF BARLEY BIOPOTENTIAL BY PRE-SOWING TREATMENT IN A MAGNETIC FIELD

V. Savchenko, A. Sinyavsky

Annotation. The results of research on the influence of magnetic field on biopotential barley seedlings are described. The dependencies of barley biopotential by magnetic induction and speed of the seeds in a magnetic field are determined. The most effective treatment regimen are identified.

Key words: barley, action potential, the magnetic induction, the velocity of the seed.

УДК 681.516.75:631.234

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І СИСТЕМ У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

В. П. Лисенко, В. В. Коваль, доктори технічних наук

А. О. Дудник, кандидат технічних наук

Т. І. Лендел, асистент

email: taraslendel@rambler.ru

Анотація. Споруди закритого ґрунту характеризуються наявністю біологічної складової – рослини та технологічного обладнання, здатного забезпечувати певні технологічні вимоги: температуру, вологість, концентрацію вуглекислоти у повітрі, температуру ґрунту, світловий режим рослин тощо. Усе зазначене впливає на стан рослин та їх продуктивність. Електротехнічні комплекси, як складові технологічного обладнання, призначені формувати стратегії керування як окремими технологічними процесами, так і виробництвом у цілому. Тобто, ефективність виробництва суттєво залежить від якості електротехнічних комплексів, а ще більше – від здатності цих комплексів формувати енергоефективні стратегії керування.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, енергетика, керування.

© В. П. Лисенко, В. В. Коваль,
А. О. Дудник, Т. І. Лендел, 2015

Підтримання в теплиці технологічних параметрів вирощування (температура і вологість повітря, концентрація CO₂, рівномірність розповсюдження цих параметрів в атмосфері теплиці, світлові режими та їх інтенсивність) забезпечується електротехнічними комплексами і системами, що, залежно від призначення, характеризуються як певною структурою, так і її наповненням [1]. До електротехнічних комплексів (електротехнічний комплекс – це набір електротехнічних пристроїв, об'єднаних у єдине ціле для забезпечення певного процесу), які використовують у теплиці, відносять: котли опалення з електричними засобами; вентилятори з електричними приводами; мотор-редуктори, лампи досвічування, електричні насоси, електроклапани, пускозахистну апаратуру, локальні регулятори (у тому числі реалізовані на базі контролерів), комп'ютерну техніку для керування виробництвом і його супроводу. При цьому електротехнічні комплекси використовують як для локального, місцевого впливу, так і впливу на теплицю в цілому.

Мета досліджень – аналіз функціонування електротехнічних комплексів, що використовуються в теплицях під склом, виявлення їх недоліків і формування вимог щодо стратегій керування технологічними процесами та виробництвом у цілому.

Матеріали та методика досліджень. Багаторічними дослідженнями встановлено, що одним із найважливіших технологічних параметрів, при вирощуванні рослинної продукції в теплицях, є температура. Окрім того, і з економічної точки зору, підтримання температурних режимів є найбільш затратною складовою при виробництві такої продукції (встановлено, що енергетика в цілому для теплиць під склом займає до 70% від собівартості виробництва рослинної продукції. При цьому на обігрів шатра теплиці використовується близько 80 % теплоти, ґрунту – 9 %, води для підживлення рослин – 4 %, інші затрати становлять 7 %). Це добре ілюструє вираз [2]:

$$Q = 1,1 K_{огор.} \cdot F \cdot k \cdot k_{інф} (t_{вс} - t_{зов.}), \quad (1)$$

де Q – витрати тепла на опалення, кДж/год;

$K_{огор.}$ – коефіцієнт огороження, Вт/м²·°C;

F – інвентарна площа, м²;

k – коефіцієнт тепловіддачі заклоєної поверхні, Вт/м²·°C;

$k_{інф}$ – коефіцієнт інфільтрації, Вт/м²·°C;

$t_{вс}$ – температура в теплиці, °C;

$t_{зов.}$ – середнє значення температури зовнішнього середовища, °C.

За результатами аналізу виразу (1) можна зробити висновок, що тепло (енергія) витрачається на компенсацію природніх збурень і обсяги такої компенсації залежать від теплотехнічних характеристик теплиці та площі, через які втрачається або надходить енергія. Зрозуміло, що при цьому виникають певні затрати енергії на привід електротехнічних комплексів і систем, що регулюють основні потоки енергії, але видатки на неї менші, порівняно з видатками на енергію, яку отримують нині, здебільшого, за рахунок спалювання природного газу. Оскільки зменшити площі огороження теплиць, поліпшити їх теплотехнічні характеристики на сьо-

годні практично неможливо, основні зусилля слід спрямувати на покращення характеристик електротехнічних комплексів і систем та режимів їх функціонування.

З огляду на вищезазначене, постає потреба у проведенні аналізу існуючих електротехнічних комплексів і систем з метою мінімізації енергії при вирощуванні рослинної продукції в теплицях під склом за умов, що якість цієї продукції буде відповідати вимогам технологічного стандарту.

Результати досліджень. Теплиця під склом – це біотехнічний об'єкт, що вміщує технічну складову (у тому числі будівлю), призначення якої – реалізувати технологію, і біологічну – рослину, призначення якої – давати продукцію (рис. 1).

Рис. 1. Теплиці як біотехнічний об'єкт

Як було зазначено, найбільш енергоємним у теплиці є технологічний процес забезпечення температурних режимів. Спрощено технологічне обладнання цього процесу показано на рис.2.

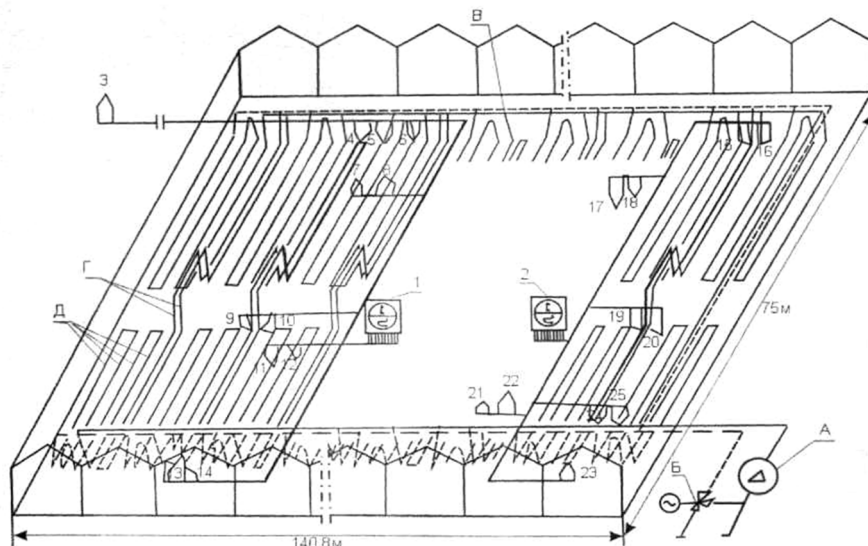


Рис. 2. Спрощена технологічна схема системи обігріву блочної теплиці та вимірювальні прилади для її дослідження:

А – мережевий насос; Б-В – магістральний трубозмішувальний вентиль; труби прямої і зворотної води; Г, Д – труби обігріву; 1 і 2 – багатоточкові електронні потенціометри ЗПП-09; 3-25 – терморезистори (датчики)

Система обігріву теплиці складається з 132 регістрів, кожен з яких являє собою петлю з труби діаметром 50 мм, завдовжки 150 м. При цьому труби опалення розміщують рівномірно на всій площі теплиці відповідно до технологічного розрахунку. Для водяного опалення, як показано на рис. 3, застосовують опалювальні котли (потужністю 500 кВт), насоси (потужністю 11 кВт) та, залежно від температури теплоносія труби опалення: скляні, пластмасові, сталеві гладкі та сталеві ребристі труби з відповідним антикорозійним захистом.



Рис. 3. Обігрівні труби опалювальної системи в теплиці

Стратегії керування таким технологічним обладнанням реалізуються за допомогою електротехнічного комплексу, спрощена структура якого показана на рис. 4.

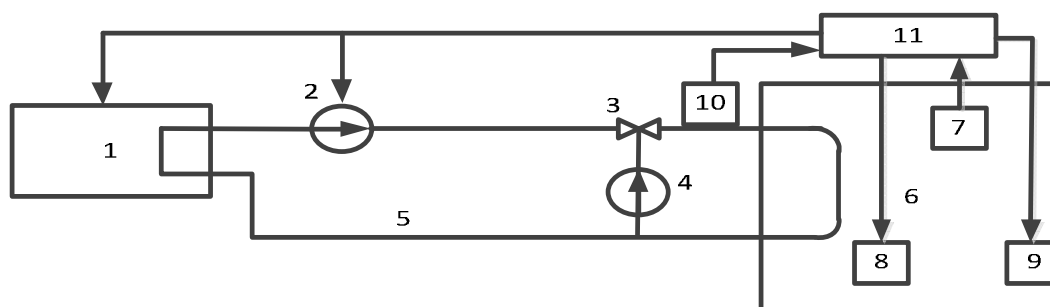


Рис. 4. Спрощена структурна схема електротехнічного комплексу забезпечення температури повітря в теплиці:

1 – водогрійний котел; 2 – насос; 3 – електромагнітні клапани; 4 – змішувач гарячої і холодної води; 5 – контур гарячої і холодної води; 6 – простір теплиці;
7 – датчики температури повітря; 8 – електричні двигуни вентиляторів;
9 – мотор-редуктори фрамуг; 10 – датчики температури трубопроводу;
11 – регулятор

З метою оцінки обсягів споживання енергії для забезпечення температурних режимів в спорудах закритого ґрунту приведемо окремі результати вимірювань, які було проведено в теплиці № 9 ПАТ «Комбінат «Тепличний» Київської області у весняний період (рис. 5 і 6). Встановлено, що газовий котел за добу споживає до 5000 м³, а добове споживання електричної енергії становить близько 6000 кВт·год.

Такі обсяги спожитої енергії є характерними для сучасних споруд закритого ґрунту під склом, проте величина цих обсягів спонукає шукати шляхи зменшення енергетичних витрат.

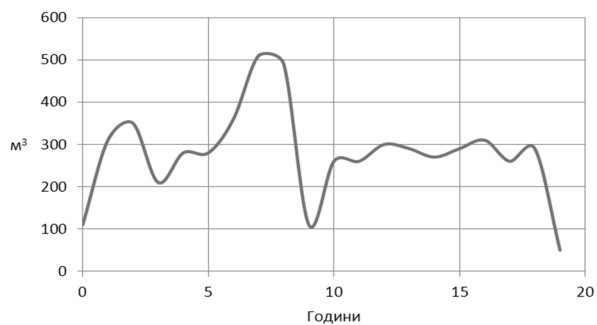


Рис. 5. Добове споживання природного газу котлом

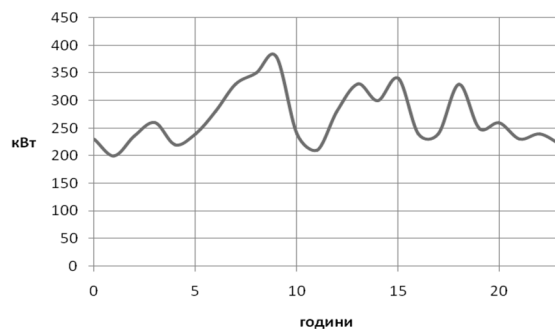


Рис. 6. Споживання електроенергії в теплиці

На сьогодні у кращих спорудах закритого ґрунту використовуються електротехнічні комплекси переважно зарубіжного виробництва з високою надійністю експлуатації, за умов виконання відповідних технічних вимог. Проте такі комплекси реалізують традиційні стратегії керування, а саме: стратегії стабілізації, які не враховують:

- а) станів рослин, у тому числі якості рослин, і, як наслідок, їх здатності реалізовувати задану технологією продуктивність;
- б) результатів аналізу природних збурень, їх прогнозу та використання цього при формуванні стратегій керування;
- в) реальних параметрів технологічних режимів в атмосфері теплиці для всього її об'єму, де знаходиться рослина, а не лише місця встановлення обмеженої кількості первинних перетворювачів.

Зробимо деякі пояснення до приведеного переліку зауважень щодо застосування електротехнічних комплексів і систем у сучасних спорудах закритого ґрунту:

1. На сьогодні у типовій структурі електротехнічних комплексів відсутні пристрої, здатні розпізнавати стани рослин і цим сприяти відповідною реакцією на технологію. До таких станів можна віднести якість плоду (можна, наприклад, характеризувати стиглістю, геометрією та розмірами плоду), наявність характерних ознак фітозахворювань; такі пристрої при використанні спеціальних алгоритмів дозволять суттєво скоротити витрати енергії [3].

2. До природних збурень, що діють на споруди закритого ґрунту, відносять, у першу чергу, зовнішню температуру та інтенсивність сонячної радіації; прогнозування цих збурень та використання результатів для формування стратегій керування електротехнічними комплексами, як показали результати спеціальних досліджень [4], дозволяють скоротити витрати енергії до 13 %;

3. Тривалі дослідження [5, 6, 7] дають підстави стверджувати, що значення технологічних параметрів в атмосфері теплиці суттєво відрізняються від рекомендованих технологією і неоднакові в різних точках про-

сторі теплиці, а це ставить під сумнів доцільність використання традиційних математичних моделей теплиці для формування адекватних реальному стану стратегій керування; застосування просторово-розподілених моделей [7] значно точніше описує динамічні характеристики такого складного об'єкта, яким є теплиця, і є запорукою ефективнішого використання такої моделі для формування стратегій керування.

4. Обмежена кількість первинних перетворювачів температури в теплиці не дозволяє оцінити реальний стан її атмосфери у її робочих зонах; для вирішення означеної проблеми рекомендується використовувати роботизований інтелектуальний електротехнічний комплекс, економічне використання якого показано в [8, 9].

Висновки

1. Існуюча в сучасних спорудах закритого ґрунту (теплицях) структура електротехнічного комплексу не дозволяє отримувати достовірну інформацію про реальні значення технологічних параметрів і режимів, що потребує розробки необхідних складових такої структури.

2. Системи стабілізації навіть на сучасній елементній базі неспроможні забезпечити ефективне використання енергетичних потоків у спорудах закритого ґрунту. Є потреба у використанні алгоритмів, здатних до аналізу природних збурень, розпізнавання станів рослин і на цій основі формування стратегій керування, що забезпечать мінімізацію у споживанні енергії за умов, що якість рослинної продукції буде відповідати вимогам технології.

Список літератури

1. Автоматизация и электрификация защищенного грунта / под ред. Л. Г. Прищепа. – М. : Колос, 1976.
2. Агарков А. М. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц / А. М. Агарков, Г. Г. Шишко. – К. : Будивельник, 1985. – 120 с.
3. Лысенко В. Ф. Вейвлет-анализ в фитометрии растений / В. Ф. Лысенко, И. М. Болбот, Т. И. Лендел // Сб. научных трудов «Актуальные вопросы современной науки». – 2014. – С. 163–173.
4. Аналіз економічної та технологічної ефективності системи керування мікрокліматом у теплиці / В. П. Лисенко, В. М. Штепа, А. О. Дудник // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2013. – Вип. 142. – С. 39–42.
5. Лисенко В. П. Фітотемпературний критерій оцінки розвитку рослини / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, Т. І. Лендел // «Енергетика і автоматика». – 2013. – № 3 (11). – С. 122–128.
6. Температура рослин як параметр для регулювання / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 209, ч.1. – С. 64–72.
7. Моделювання просторового розподілу температурних зон в теплиці / В. П. Лисенко, В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Біоресурси і природокористування. – 2015. – Т. 7, № 1, 2. – С. 159–165.

8. Лисенко В. П. Роботи та робототехнічні системи в агропромисловому комплексі // В. П. Лисенко, І. М. Болбот // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. – Вип.153. – С. 105–110.

9. Лисенко В.П. Економічне обґрунтування застосування робототехнічного комплексу в теплиці / Лисенко В. П., Лендел Т. І. // Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами», 27 листопада, Київ НУХТ, 2014.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

В. Ф. Лысенко, В. В. Коваль, А. А. Дудник, Т. И. Лендел

Аннотация. Сооружения закрытого грунта характеризуются наличием биологической составляющей – растения и технологического оборудования, способного обеспечивать определенные технологические требования: температуру, влажность, концентрацию углекислоты в воздухе, температуру почвы, световой режим растений и т. п. Все отмеченное влияет на состояние растений и их производительность. Электротехнические комплексы, как составляющие технологического оборудования, призваны формировать стратегии управления как отдельными технологическими процессами, так и производством в целом. То есть, эффективность производства существенно зависит от качества электротехнических комплексов, а еще больше – способности этих комплексов формировать энергоэффективные стратегии управления.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, энергетика, управление.

ANALYSIS OF ELECTRICAL COMPLEXES AND SYSTEMS IN GREENHOUSES

V. Lysenko, V. Koval, A. Dudnik, T. Lendiel

Annotation. Facilities closed ground characterized by biological component – plants and process equipment that can provide certain technological requirements: temperature, humidity, carbon dioxide concentration in the air, soil temperature, light regime of plants, and so on. All specified conditions affect plants and their productivity. Electrical systems, as components of technological equipment, called up to form a management strategy as separate technological processes and manufacturing as a whole. Thus, production efficiency greatly depends on the quality of electrical systems, and more on the ability of these complexes to form management policy.

Key words: electrical complex, energetics, controls.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б. Х. Драганов, доктор технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. Приведен метод оценки эффективности используемых энергоресурсов. Указана ближайшая перспектива решения проблемы энергообеспечения.

Ключевые слова: плотность потока энергии, ценность энергетического процесса, вектор Умова – Пойнтинга, парциальная ценность параметра.

В результате непомерного, все возрастающего потребления энергии, в недалеком будущем могут быть исчерпаны традиционные энергоресурсы. В связи с этим, на первый план выступает проблема определения ценности энергии, используемой человечеством, которая требует формирования индикаторов не только объемов потребления энергии, но и ее качества.

Цель исследований – разработать метод оценки эффективности суммарной плотности потоков различных видов энергии.

Материалы и методика исследований. Для оценки качества энергии вводятся уточненные понятия ценности энергетических (любых антропогенных) систем или процессов, создаваемых для обеспечения определенных потребностей, которые должны иметь измерители качества выполнения своих функций. Предлагается способ количественного определения степени качества созданного человеком объекта (в том числе, энергетического процесса или системы как совокупности процессов) для субъектов которые его используют. Такими являются, прежде всего, потребители произведенной энергии, создатели данного объекта (производители оборудования) и в сложных системах – операторы его функционирования [1, 2].

Первым количественное сравнение качества различных видов энергии предложил в конце XIX века Н. Я. Умов введением на основе второго закона термодинамики "вектора Умова – Пойнтинга", который определяет суммарную плотность потоков различных видов энергии (тепловой, механической, химической и электрической, позже были уточнены также потоки энергии и радиации) как, Вт/м² [3]:

$$S_j = \sum_j \alpha_j e_j, \quad (1)$$

где e_j – плотность потока энергии вида j ;

α_j – потенциал, формирующий поток соответствующего вида энергии.

Плотность потока энергии включена в таблицу, так как этот параметр, в конечном счете, определяет многообразие доступных для использования физических явлений. Другими ключевыми параметрами любого энергетического процесса (системы) являются: надежность, измеряемая вероятностью отказов; выполнение требуемого режима работы с выходными показателями процесса; энергетическая эффективность (КПД) процесса. В таблице по каждому из них даны общие выражения для расчета степени качества данного параметра и его парциальной ценности.

Интегральное значение ценности Q_{jt} энергетического процесса (системы) находится из следующих соображений. Как показано в таблице, фактические значения всех ключевых параметров энергетических процессов являются вероятностными характеристиками. Эффективное функционирование процесса предполагает одновременную реализацию всех его ключевых параметров. По аналогии с исчислением вероятностей, интегральное качество процесса предложено рассчитывать как произведение мер качества всех его параметров, а значение ценности Q_{jt} – как сумму логарифмов этих величин, то есть сумму парциальных ценностей параметров

$$Q_{jt} = \sum_n Q_{jnt} \cdot \quad (2)$$

Большей ценностью обладает не термоядерная бомба, а элементы микроэлектроники: эта так называемая слабotoчная энергетика имеет достаточно высокую локальную плотность потоков энергии при высокой надежности и соблюдении необходимых режимов работы. Тем самым показатель ценности количественно подтверждает представление о том, что микроэлектроника и информационные системы являются сейчас высшим материальным достижением человеческого знания. Действительно, научно-технический скачок в направлении промышленного овладения энергией, например, термоядерного синтеза, обеспечит человечество практически неисчерпаемым источником энергии на все времена. Из того, что такой прорыв в процессе развития науки и техники пока не произошел, отнюдь не вытекает его принципиальная невозможность.

Результаты исследований. Укажем на дальнейшую перспективу решения энергетической проблемы.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) используются в малой энергетике, а энергоснабжение крупных энергетических систем основывается на развиваемых в последние годы термоядерных установках, работающих по принципу водородной бомбы.

Основы подобных энергетических систем разработаны и специалистами во Франции, Англии, Германии, России и Японии, где сооружаются подобные энергетические установки. В Украине имеются специалисты по своей научной квалификации не уступающие специалистам из перечисленных стран, но наша страна не располагает соответствующими средствами для участия в этом проекте. Подобные же энергетические установки сооружаются в США и Китае.

Расчет ценности энергетического процесса (системы)

Основные параметры	Измеритель	Идеальное значение, $f_i(t)$	Фактическое значение, $f(t)$	Значение без процесса, $f_0(t)$	Мера качества, λ_n	Парциальная ценность, Q_n
1	2	3	4	5	6	7
Плотность потока энергии	Отношение минимальной плотности потока (минимум на входе, максимум на выходе) к максимальной $S_{\min}/S_{\max}$	В идеале плотность потока должна быть большая $S_{\min}/S_{\max} \rightarrow 0$	Изначальное значение, $S_{\min}/S_{\max}$	$S_{\min}/S_{\max} = 1$ (входящий поток не изменяется)	$S_{\min}/S_{\max}$	$\lg(S_{\min}/S_{\max})$
Надежность	Вероятность работы без сбоев на выходе	Вероятность работы без сбоев приближается к 1,0	Измеренная вероятность, p	Вероятность работы без сбоев приближается к 0	$1/p$	$-\lg(p)$
Использование необходимого режима работы по показателю, w	Выходной показатель (мощность, частота и т.д.)	Необходимый режим, $w_i(t)$	Измеренное значение, $w(t)$	Энергия не выделяется	$\lambda_n = \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} f^2(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \{w(t) - w_i(t)\}^2 dt} \right]^{1/2}$	$\lg \lambda_n$
Энергетическая эффективность	КПД	КПД идеального преобразователя, $\bar{\eta}_i$	Измеренное КПД, η	КПД=0 (энергия не производится)	$\frac{\eta_i}{\eta_i - \eta}$	$\lg \frac{\eta_i}{\eta_i - \eta}$

По предварительным оценкам международный термоядерный реактор (ITER) может выйти в режим в 2037 году.

В последние десятилетия обнаружен принципиально новый вид энергии, представляющий существенный интерес. В 2011 году итальянский инженер Андреа Росси, совместно с профессором Сержио Факарди из университета Болоньи продемонстрировали реально работающий тепловой генератор на основе разработанного процесса, получивший название (катализатор энергии).

В первом приближении топливо состоит из очень мелкого порошка, содержащего изотопы никеля и примеси изотопов лития со связанным водородом и электрическим нагревателем. Испытание установки сыто проведено в США на базе более эффективной системы, названной HTE-Cat. В результате проведенных опытов, соотношение лития-6 и лития-7 изменилось в 124 раза, изотопа никель-58 – с 39 до 98,7%.

Вторым результатом является полное отсутствие радиоактивности в продуктах ядерных превращений.

В октябре 2014 года появилось сообщение, что корпорация Lockheed Marth приступила в разработке и выпуску компактного термоядерного генератора мощностью 100МВт, который может быть размещен, например, на самолете или в кузове автомобиля.

Лицензии на изготовление указанных ядерных генераторов приобрели Япония, Индия и Китай.

Следствием этих разработок является резкое снижение стоимости нефти.

Исследования по этой теме в Украине проводятся в КНУ имени Тараса Шевченка и в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» (г. Харьков).

Выводы

Помимо энергетических показателей, следует также определить ценность используемых энергетических ресурсов.

В настоящее время наиболее перспективными в энергетическом и экологическом отношении являются генераторы энергии типа E-Cat.

Список литературы

1. Энергетика века: условия развития технологии, прогнозы / [Л. С. Беляев, А. А. Лячеров, В. В. Посекалин и др.]. – Новосибирск : Наука, 2004.
2. Товажинський Л. Л. Проблеми енергетики на рубежі ХХІ століття / Л. Л. Товажинський, Б. А. Левченко. – Х. : ХПИ, 2004.
3. Физический энциклопедический словарь. – М. : Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Б. Х. Драганов

Анотація. Наведено метод оцінки ефективності використовуваних енергоресурсів. Указано найближчу перспективу вирішення пробле-

ми енергозабезпечення.

Ключові слова: щільність потоку енергії, цінність енергетичного процесу, вектор Умова – Пойнтінга, парціальна цінність параметра.

TO THE QUESTION OF EFFICIENT OF ENERGY SYSTEMS

B. Draganov

Annotation. *The method used for evaluating the effectiveness of energy. Displayed closest approach to solving problems of energy supply.*

Key words: *energy flux density, the energy value of the process, the vector Uмова – Poynting, partial value of the parameter.*

УДК 674.047: 621.3

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ Й ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У НАСІННЄВІЙ СУМІШІ ПІД ВПЛИВОМ СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ

*О. М. Берека, доктор технічних наук
О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук
В. О. Берека, студент
e-mail: shelemanova@ukr.net*

Анотація. *Наведено результати теоретичних досліджень процесів у насіннєвій суміші при сушінні зерна електроактивованим сушильним агентом.*

Ключові слова: *насіннєва суміш, озоноване повітря, тепловий баланс, температура нагріву насіння.*

У системі технологічних операцій з післязбиральної обробки зерна важливе місце належить сушінню. Своєчасно і правильно висушене зерно має не тільки підвищену стійкість при зберіганні, але й покращені продовольчі та насіннєві властивості.

Одним із перспективних шляхів підвищення повноти та ефективності сушіння зерна є застосування озонованого повітря. За дослідженнями деяких учених [2, 3, 5], застосування при сушінні зерна навіть невеликої концентрації озону дозволяє знизити питому витрату електроенергії та значно прискорити процес сушіння, порівняно із сушінням у теплових сушарках.

Важливою складовою електрофізичної стимуляції насіння є зміна його температури під час обробки, оскільки підвищена температура спричинює окислення інгібіторів проростання.

ми енергозабезпечення.

Ключові слова: щільність потоку енергії, цінність енергетичного процесу, вектор Умова – Пойнтінга, парціальна цінність параметра.

TO THE QUESTION OF EFFICIENT OF ENERGY SYSTEMS

B. Draganov

Annotation. *The method used for evaluating the effectiveness of energy. Displayed closest approach to solving problems of energy supply.*

Key words: *energy flux density, the energy value of the process, the vector Umova – Poynting, partial value of the parameter.*

УДК 674.047: 621.3

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ Й ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У НАСІННЄВІЙ СУМІШІ ПІД ВПЛИВОМ СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ

*О. М. Берека, доктор технічних наук
О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук
В. О. Берека, студент
e-mail: shelemanova@ukr.net*

Анотація. *Наведено результати теоретичних досліджень процесів у насіннєвій суміші при сушінні зерна електроактивованим сушильним агентом.*

Ключові слова: *насіннєва суміш, озоноване повітря, тепловий баланс, температура нагріву насіння.*

У системі технологічних операцій з післязбиральної обробки зерна важливе місце належить сушінню. Своєчасно і правильно висушене зерно має не тільки підвищену стійкість при зберіганні, але й покращені продовольчі та насіннєві властивості.

Одним із перспективних шляхів підвищення повноти та ефективності сушіння зерна є застосування озонованого повітря. За дослідженнями деяких учених [2, 3, 5], застосування при сушінні зерна навіть невеликої концентрації озону дозволяє знизити питому витрату електроенергії та значно прискорити процес сушіння, порівняно із сушінням у теплових сушарках.

Важливою складовою електрофізичної стимуляції насіння є зміна його температури під час обробки, оскільки підвищена температура спричинює окислення інгібіторів проростання.

Мета досліджень – отримання аналітичної залежності для визначення температури насінневої суміші при сушінні електроактивованим сушильним агентом.

Матеріали та методика досліджень. При проходженні струму під час обробки насінневої суміші температура її буде збільшуватися. Виходячи із закону Джоуля – Ленца, кількість тепла, яке виділяється, буде пропорційне опору насінневої суміші, квадрату сили струму й часу. Якщо сила струму змінюється з часом, то можна записати:

$$Q_c = \int_0^t R_{zc} i_{zc}^2 dt, \quad (1)$$

де Q_c – кількість теплоти, Дж;

R_{zc} – опір насінневої суміші, Ом;

i_{zc} – струм насінневої суміші, А;

t – час обробки, с.

Кількість тепла, віднесена до одиниці часу і одиниці об'єму, будемо називати питомою кількістю теплоти (q_c). Виходячи з відомих співвідношень між густиною струму (j), напруженістю електричного поля (E), питомим опором і питомою електропровідністю можна записати вираз для питомої кількості теплоти:

$$q_c = j \cdot E, \quad (2)$$

де q_c – питома кількість теплоти, Дж/(м³·с);

j – густина струму, А/м²;

E – напруженість електричного поля, В/м.

Щоб отримати кількість теплоти, яка виділиться у всьому об'ємі за час t , необхідно проінтегрувати q_c по об'єму оброблюваного насіння, а потім отриманий вираз проінтегрувати по часу:

$$Q_c = \int_0^t \int_{0V} j \cdot E \cdot dt \cdot dV. \quad (3)$$

Теплота, яка виділяється внаслідок проходження струму, буде розподілятися на нагрів насінневої суміші та втрати:

$$Q_c = Q_{zc} + Q_e, \quad (4)$$

де Q_{zc} – теплота, яка витрачається на нагрів зернової суміші;

Q_e – теплота, яка втрачається через поверхні камери обробки.

При обробці насінневої маси режимом, коли відсутні іонізаційні процеси (напруженість електричного поля менша від напруженості початку часткових розрядів), нагрів насіння відбувається тільки за рахунок проходження струму. І в цьому випадку будуть прийнятні аналітичні вирази (3) і (4). При режимах, коли відбуваються іонізаційні процеси у повітряних включеннях насінневої суміші, буде виділятися теплота, завдяки частковим розрядам. Крім того, буде утворюватися озон, який, у свою чергу, теж буде додатковим джерелом тепла. Чистий озон вибухонебезпечний, оскільки при його розкладанні вивільнюється значна кількість теплоти, яка сприяє процесу розкладання озону:



Але при технологічних концентраціях до 200 мг/л озон практично безпечний, тому вибухів не відбувається ні під час його нагрівання, ні у разі удару.

Результати досліджень. Отже, якщо при обробці насіннєвої маси мають місце іонізаційні процеси, тобто, відбуваються часткові розряди й утворюється та розкладається озон, теплота, яка буде виділятися в насіннєвій масі, буде складатися з теплоти, утвореної внаслідок проходження струму через насіннєву масу, теплоти утвореної за рахунок часткових розрядів і теплоти, утвореної завдяки розкладанню озону.

У цьому випадку рівняння теплового балансу можна подати виразом:

$$Q_c + Q_{in} = Q_{zc} + Q_e, \quad (6)$$

де Q_c – теплота, яка виділяється внаслідок проходження струму;

Q_{in} – теплота, яка виділяється внаслідок іонізаційних процесів (часткові розряди й розкладання озону);

Q_{zc} – теплота, яка витрачається на нагрів насіннєвої суміші;

Q_e – теплота, яка втрачається через поверхні камери обробки.

Теплоту, яка витрачається на нагрів насіннєвої суміші, можна визначити за відомим виразом [4]:

$$Q_{zc} = mC(T_k - T_n), \quad (7)$$

де m – маса насіннєвої суміші, кг;

C – питома теплоємність насіння, Дж/(кг·°C);

T_n і T_k – початкова й кінцева температура насіннєвої суміші, °C.

Питома теплоємність насіння можна визначити за формулою [1]:

$$C = 1549 + 26,4W, \quad (8)$$

де W – вологість насіння, %.

Теплота, яка втрачається через поверхні камери обробки, залежить від товщини й теплопровідності матеріалу стінок. Оскільки матеріал камери обробки, при використанні сильних електричних полів, повинен бути з дуже малою електропровідністю, а відповідно, і малою теплопровідністю, то втрати через стінки камери обробки будуть дуже малі і їх можна не враховувати в практичних розрахунках. Тому враховуємо втрати теплоти тільки через металеві електроди. Беручи до уваги, що різниця між температурами насіннєвої суміші та зовнішнього середовища змінюється з часом обробки, ці втрати можна визначити за виразом:

$$Q_e = \int_0^t \frac{2S\Delta T}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_3}} dt, \quad (9)$$

де ΔT – різниця між температурами насіннєвої суміші і зовнішнього середовища, °C;

S – площа електрода, м²;

α_e – коефіцієнт тепловіддачі від насіннєвої суміші до внутрішньої поверхні електродів, Вт/(м²·°C);

α_{i3} – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні електродів до навколишнього середовища, Вт/(м²·°C);

δ – товщина електродів, м;

λ – теплопровідність матеріалу електродів, Вт/(м·°C).

Таким чином, рівняння теплового балансу можна подати виразом:

$$\int_0^t \int_V j \cdot E \cdot dt \cdot dV + Q_{in} = m(1549 + 26,4W)(T_k - T_n) + A \int_0^t \Delta T dt, \quad (10)$$

$$\text{де } A = \frac{2S}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_z}}. \quad (11)$$

Виконавши прості перетворення, отримаємо рівняння для визначення температури насіннєвої суміші:

$$T_k = T_n + \frac{\int_0^t \int_V j \cdot E \cdot dt \cdot dV + Q_{in}}{m(1549 + 26,4W) + A \cdot t}. \quad (12)$$

Висновки

Отримана аналітична залежність (12) дає змогу визначити режим обробки насіннєвого матеріалу за температурою нагріву насіння.

Для розв'язання рівняння (12) необхідно знати закономірності зміни густини струму та зміни різниці температур між температурами зернової суміші та навколишнього середовища від часу обробки. Також необхідно визначити закономірності утворення теплоти від іонізаційних процесів Q_{in} .

Список літератури

1. Драганов Б. Х. Теплотехніка / [Б. Х. Драганов, О. С. Бессараб та ін.]. – К. : Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.
2. Ксенз Н. В. Интенсификация процесса сушки зерновых материалов электроозонированием / Н. В. Ксенз, В. Н. Тимошенко, А. И. Андреев // Результаты исследования и разработок по механизации производственных процессов в животноводстве. – зерноград, 1991. – С. 93–99.
3. Ксенз Н. В. Выбор производительности и мощности электроозонатора вентиляционной установки для сушки зерна / Н. В. Ксенз, Р. И. Штанько // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. – зерноград, 2000. – С. 66.
4. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление : справ. пособие / С. С. Кутателадзе. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
5. Троцкая Т. П. Энергосберегающая технология сушки сельскохозяйственных материалов в озono-воздушной среде / Т. П. Троцкая. – Препринт, Минск : БелНИИМСХ, 1997. – 750 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕМЕННОЙ СМЕСИ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

О. Н. Берека, Е. В. Шелиманова, В. О. Берека

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований процессов в семенной смеси при сушке зерна электроактивированным сушильным агентом.

Ключевые слова: *семенная смесь, озонированный воздух, тепловой баланс, температура нагрева семян.*

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS AND THEORETICAL ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL PROCESSES IN THE SEED MIXTURE UNDER THE INFLUENCE OF STRONG ELECTRIC FIELDS

O. Bereka, O. Shelimanova, V. Bereka

Annotation. *The results of theoretical studies of processes in the seed mixture in drying grain electroactivated drying agent.*

Key words: *seed mixture, ozonated air, heat balance, temperature of seed's heating.*

УДК 621.3.086

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ СПЕЧЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

*I. П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Розглянуто мікроструктуру контактних матеріалів на основі срібла з оксидними добавками та їх зміни в процесі комутації струму.*

Ключові слова: *порошкова металургія, контактний матеріал, мікроструктура, електричний струм, масоперенос.*

Відмова електрообладнання в електроустановках сільського господарства приводить до великих втрат продукції та зниження її якості. Тому підвищення надійності роботи електричних апаратів є однією зі складних і багатограних технічних проблем. Це пов'язано зі створенням та впровадженням нових контактних матеріалів, які можуть забезпечити задані показники надійності, зниження матеріальних затрат на виробництво, ремонт і економію благородних металів. Аналіз результатів ерозійних випробувань і структурно-морфологічних досліджень поверхонь контактів дають змогу виявити важливі значення масопередачі як критерію оцінки електроконтактного матеріалу. Робота контактів у зоні інверсії дозволяє значно знизити втрати дорогоцінних металів у процесі ерозії, що важливо в економічному аспекті [1].

Мета досліджень – вивчення механізму масопереносу та закономірностей ерозійного руйнування контактних пар, виготовлених із матеріалів на основі срібла з введенням до їх складу добавок оксидів і тугоплавкого металу.

Ключевые слова: *семенная смесь, озонированный воздух, тепловой баланс, температура нагрева семян.*

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS AND THEORETICAL ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL PROCESSES IN THE SEED MIXTURE UNDER THE INFLUENCE OF STRONG ELECTRIC FIELDS

O. Bereka, O. Shelimanova, V. Bereka

Annotation. *The results of theoretical studies of processes in the seed mixture in drying grain electroactivated drying agent.*

Key words: *seed mixture, ozonated air, heat balance, temperature of seed's heating.*

УДК 621.3.086

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ СПЕЧЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

*I. П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Розглянуто мікроструктуру контактних матеріалів на основі срібла з оксидними добавками та їх зміни в процесі комутації струму.*

Ключові слова: *порошкова металургія, контактний матеріал, мікроструктура, електричний струм, масоперенос.*

Відмова електрообладнання в електроустановках сільського господарства приводить до великих втрат продукції та зниження її якості. Тому підвищення надійності роботи електричних апаратів є однією зі складних і багатограних технічних проблем. Це пов'язано зі створенням та впровадженням нових контактних матеріалів, які можуть забезпечити задані показники надійності, зниження матеріальних затрат на виробництво, ремонт і економію благородних металів. Аналіз результатів ерозійних випробувань і структурно-морфологічних досліджень поверхонь контактів дають змогу виявити важливі значення масопередачі як критерію оцінки електроконтактного матеріалу. Робота контактів у зоні інверсії дозволяє значно знизити втрати дорогоцінних металів у процесі ерозії, що важливо в економічному аспекті [1].

Мета досліджень – вивчення механізму масопереносу та закономірностей ерозійного руйнування контактних пар, виготовлених із матеріалів на основі срібла з введенням до їх складу добавок оксидів і тугоплавкого металу.

Матеріали та методика досліджень. Методи мікроскопії дозволяють значно розширити уяву про механізм і кінетику ряду процесів порошкової металургії та сприяти розкриттю механізму структуроутворення, яке значно впливає на формування властивостей електроконтактних матеріалів.

Мікроструктурний аналіз матеріалів на основі Ag з оксидними добавками дає змогу виявити загальну картину розподілу зміцнюючих добавок у матриці. Відносно рівномірно, як точкові включення, розподілені частинки оксидів, що введені в срібну матрицю внутрішнім окисленням. Мікроструктури зразків, при введенні різних оксидів подібні, видна матриця світлого тону, зернистої будови, зерна відтінені другою фазою, яка залягає між ними по границях.

Зі збільшенням кількості оксидів у матриці з'являються окремі накопичення оксидів, розміри проміжок між зернами зростають, а частинки Ag опиняються майже повністю ними оточені [2].

Структура руйнування поверхні композиційних матеріалів тісно пов'язана з природою компонентів композиційних матеріалів [3].

Крім того, поведінка композита при руйнуванні залежить від розміру частинок, їх об'ємної кількості й міцності поверхні розділу.

Результати досліджень. Кінцева структура слабострумових електричних контактів формується шляхом диспергування структурних складових і виникнення анізотропності матеріалу в результаті спрямованої деформації з одночасним утворенням субструктури. Формування анізотропної гетерофазної структури у багатокомпонентних композицій, спрямований розподіл у структурі теплопровідності й електропровідності компонентів приводить до їх високих значень в цілому і надає високу електроерозійну стійкість.

Введення в срібну матрицю оксидів In і Mn 5% не дозволяє холодну деформацію.

З'являється текстура в результаті прокатки, при цьому формується анізотропна структура електроконтактного матеріалу.

Композиційні матеріали, зміцнені оксидами й тугоплавким матеріалом, потребують 5–10 етапів прокатки з проміжним відпалюванням за температури +600 °C на повітрі протягом години.

Процеси пластичної деформації остаточно формують структуру електроконтактного матеріалу. Введення нерозчинних фаз сприяє інтенсивному подрібненню зерна срібної матриці.

Частинки нерозчинних компонентів також подрібнюються (диспергуються) і вистроюються в ланцюг вздовж деформованих зерен Ag і частково всередині них, зберігаючи орієнтацію в напрямку деформації. Ланцюги оксидів матриці, витягуються під дією деформуючих зусиль при зміні форми зерна, їх розташування зберігається після відпалювання за температури +600 °C.

Введення Zr в Ag викликає механізм в'язкого руйнування.

Структурно-морфологічні дослідження робочих поверхонь при комутації струму до 10A дають можливість простежити етапи структурних перетворень у процесі експлуатації та їх вплив на надійність електроконтактної пари.

Метою морфологічного дослідження є вивчення механізму масопереносу й закономірності ерозійного руйнування контактних пар, виготовлених із матеріалів на основі срібла (Ag) з введенням в їх склад добавок оксидів і тугоплавкого металу.

На першому етапі досліджуються робочі поверхні контактів, виготовлені з матеріалів Ag - Zr - Y_2O_3 .

При навантаженні 2 А на катоді формується кратер з оплавленими краями, поверхня якого вкрита дрібними краплями, представленими за даними мікроаналізу чистим сріблом зі слідами тугоплавкого металу цирконію. Анод рівномірно покривається частинками перенесеного з катоду срібла.

Збільшення потужності дуги до 5 А змінює топографію робочої поверхні контактів. Незважаючи на зміну струмового навантаження, знос стає більш рівномірним, а поверхня більш однорідна.

На деяких ділянках катоду інтенсивно випаровується Ag, окремі зерна тугоплавкого металу – цирконію оголюються.

Це пов'язано з тим, що дуговий канал на композиційних матеріалах закріплюється на катоді та аноді на границях зерен, блоків і на частинках оксидів, які мають більш низьку тепловіддачу порівняно з Ag матрицею.

Наявність у матриці оксидів полегшує виникнення емісійних центрів на границі метал-діелектрик і центрів пароутворення.

Маса аноду при цьому трохи зменшується, хоча його поверхня збагачується Ag, яке осідає на ній перенесене з катоду, формує рівну поверхню, на якій зустрічаються оплавлені ділянки.

При комутації струму 6 А створюється динамічна рівновага обміну матеріалом між електродами.

В умовах більш потужної дуги (7 А) проявляються глибинні ефекти під дією швидких електронів, які створюють локальні осередки перегріву.

Основна кількість енергії, яка передається аноду, виділяється не на поверхні, а на деякій глибині та викликає інтенсивний розігрів металу.

Пароподібне срібло виривається на поверхню аноду, формуючи глибокі кратери.

Інтегральний спектр має лінії всіх трьох елементів композиційного матеріалу: Ag–Zr– Y_2O_3 . Поверхня катоду є згладженою і, у свою чергу, покривається в окремих місцях, видалених від осередків перегріву, дрібними частинками срібла, перенесеного з поверхні аноду. Струмове навантаження 10А посилює процеси як об'ємного, так і поверхневого перегріву.

На робочій поверхні катоду виникає кілька характерних зон, пов'язаних із наявністю горизонтального градієнта температур уздовж робочої поверхні.

У центральній частині, де, здебільшого, дуга закріплюється, відбувається інтенсивне випаровування, оплавлення, розбризкування Ag з обох контактів.

На периферії, більш холодній порівняно з центральною частиною, срібло осідає у вигляді частково оплавлених пластівців, причому осадження переважає на катоді і, як наслідок, зростає його маса.

Унаслідок збільшення термічних і механічних напруг на поверхні електродів при цьому режимі роботи можуть з'являтися дрібні тріщини.

Як на катоді, так і на аноді, за даними мікроаналізу, є лінії всіх елементів композиційного матеріалу: Ag, Zr, Y_2O_3 .

На поверхні катоду можна розрізнити 3 концентрично розташованих зони.

Перша знаходиться на краю електрода і являє собою осівші конгломерати Ag у вигляді пластівців. Друга область – суцільний шар срібла. Центральна частина – найбільш виступаюча, збагачена цирконієм і Y_2O_3 .

Структура поперечного перерізу наросту й дані мікроаналізу дали змогу визначити характер масопереносу компонентів композиційного матеріалу на поверхню катоду. На початку періоду комутації на поверхню катоду переноситься срібло, що супроводжується збагаченням поверхні аноду введеними добавками.

Після такого збагачення поверхні аноду вже добавки інтенсивно переносяться на катод, де вони розташовуються паралельно робочій поверхні контакту як тяжкі включення.

Мікроаналіз свідчить, що вони складаються з металевих добавок. У певний момент поверхня аноду збагачується сріблом і в дузі переноситься, в основному, більш легкоплавка складова.

Струмове навантаження 10 А енергетично обумовлює інтенсивне знімання як матеріалу матриці, так і введених в срібло добавок.

У процесі масопереносу починають послідовно брати участь компоненти матеріалу в порядку зменшення їх теплопровідності та зростання тугоплавкості, відповідно до зростання енергетичних характеристик процесу.

Йде поетапний перенос складових: спочатку випаровується срібло, потім введені компоненти, потім весь цикл повторюється знову.

Доцільно при експлуатації кожного конкретного матеріалу використовувати його для комутації струмів, що відповідають струмам його зони інверсії, що визначає менші втрати матеріалу контактної пари.

Для матеріалу Ag – Zr – Y_2O_3 діапазон струмів 5–7 А, а для матеріалу Ag – Y_2O_3 – С – діапазон струмів від часток ампера до 2 А.

Аналіз результатів ерозійних випробувань і структурно-морфологічних досліджень робочих поверхонь контактів дає можливість виявити важливі значення зони інверсії масопереносу як критерію оцінки електроконтактного матеріалу поряд із основними електроконтактними характеристиками, як зони його оптимальних струмових навантажень.

Характеристика кожного контактного матеріалу, для визначення його роботоздатності в конкретному апараті, повинна мати не тільки основні електроконтактні властивості, але й точки інверсії масопереносу даного матеріалу в інтервалі струмових навантажень у заданому режимі навантаження.

Робота контактів в зоні інверсії дозволяє значно знизити безповоротні втрати дорогоцінних металів у процесі ерозії, що важливо в економічному аспекті. Використання критерію зони інверсії знизить до мінімуму імовірність похибки при виборі електроконтактного матеріалу для повних умов роботи.

Висновки

Визначено структурну схему кінематичного утворення фізико-механічних властивостей поверхонь контакт-деталей електричних апаратів. Визначено характер масопереносу компонентів композиційного матеріалу на поверхню катоду. Визначено важливі зони інверсії масопереносу як критерію оцінки електроконтактного матеріалу і зони його оптимальних струмових навантажень.

Список літератури

1. Бумкевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г. В. Бумкевич. – М. : Энергия, 1973. – 172 с.
2. Харин С. Н. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах / Харин С. Н., Ким Е. Н., Омельченко В. Т. – Алма-Ата : 1977. – 236 с.
3. Тушинский Л. Н. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Тушинский Л. Н., Плохов А. В. – Новосибирск, 1986. – 196 с.
4. Радько І. П. Металографічний та рентгеноспектральний аналіз структури робочої поверхні дослідних контактів при комутації змінного струму, відновлених методом газоплазмового напилення / І. П. Радько // Енергетика і автоматика. – 2012. – № 2. – С. 5.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

И. П. Радько

Аннотация. *Рассмотрена микроструктура контактных материалов на основе серебра с оксидными добавками и ее изменение во время коммутации электрического тока.*

Ключевые слова: *порошковая металлургия, контактный материал, микроструктура, электрический ток, массоперенос.*

STRUCTURAL FEATURES BAKED COMPOSITE CONTACT MATERIALS IN ELECTRIC CURRENT SWITCHING

I. Radko

Annotation. *The research questions of contact materials microstructure based on silver oxide additives and their changes during the current commutation were considered in the article.*

Key words: *powder metallurgy, contact material, microstructure, electric current, mass transfer.*

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ТА СКЛАДУ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ І ЛІКІВ

*В. В. Бойко, Г. І. Булах, Я. О. Гуменюк, В. Ю. Кудря,
кандидати фізико-математичних наук
М. В. Малюта, асистент
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Розглянуто можливість використання спектрального методу детектування продуктів харчування та лікарських засобів на наявність у них шкідливих для здоров'я людини речовин. Суть його полягає в аналізі домішок у природних водах, який здійснюють за допомогою вивчення їх спектрів поглинання та люмінесценції з наступним порівнянням отриманих результатів із еталонними спектрами.

Ключові слова: спектроскопія, люмінесценція, поглинання, екологічний моніторинг.

Глобальною проблемою людства є погіршення екологічної та, частково як наслідок цього, епідеміологічної ситуації в усьому світі і, зокрема, в Україні. Результатом цієї ситуації є погіршення якості харчових продуктів та ліків. Зрозуміло, що вживання забрудненої природної води, низькоякісних ліків та харчів (особливо тих, які впливають на процеси метаболізму людського організму) є небезпечним для здоров'я будь-якої людини. Крім того, незважаючи на дедалі більше об'єднання зусиль фізиків, хіміків та біологів у спільному прагненні зрозуміти процеси, які лежать в основі життя [1–5], залишаються не до кінця вивченими фізичні, фотофізичні, хімічні та фотохімічні процеси, що відбуваються за звичайних умов у людському організмі на елементарному рівні – на рівні ДНК та РНК.

Особливо це стосується процесів хімічної та фотохімічної дії молекул новостворених або прострочених лікарських засобів на макромолекули нуклеїнових кислот. Ми, наприклад, показали [6,7], що, незважаючи на існування певного ступеня механізму самозахисту ДНК від негативних впливів, є речовини (харчові та медичні барвники), що мають фототоксичний вплив на цю макромолекулу. У зв'язку з цим, гостро постає проблема перевірки якості прострочених продуктів та ліків, які можуть втратити свою ефективну дію через довготривалий термін зберігання.

Проблема забруднення природної води нерозривно пов'язана з попередньою, тому бажано мати точні дані про стан природної води. Фоновий моніторинг поверхневих вод суходолу, річок та морів є одним із найважливіших елементів загальної системи спостережень за станом навколишнього середовища. Враховуючи все вищезазначене, слід зауважити, що розробка нових ефективних принципів, методів, методик та приладів

надійного експресного контролю стану навколишнього середовища та якості харчових і фармакологічних виробів є дуже важливою задачею. На цей час є кілька методів дослідження хімічного вмісту природних вод: атомно-емісійний, атомно-абсорбційний та спектроскопічний [8]. Останній – найбільш експресний і точний.

Мета досліджень – аналіз домішок у природних водах, який здійснюють за допомогою вивчення їх спектрів поглинання та люмінесценції з наступним порівнянням отриманих результатів із еталонними спектрами або з результатами хімічного аналізу. Еталонні спектри – це спектри окремих речовин, взятих у певній кількості й розчинених у дистильованій воді. Такі дослідження є актуальними та перспективними і можуть мати практичне застосування.

Матеріали та методика досліджень. Було використано спектральні методи: дослідження спектрів поглинання у широкому спектральному діапазоні (включаючи область ближнього ультрафіолетового випромінювання УФ), спектрів люмінесценції з використанням методики часового розділення. Люмінесценцію збуджували випромінюванням лазера ИЛГИ-501 (довжина хвилі збудження $\lambda_{зб} = 337,1$ нм) та випромінюванням ксенонової лампи ДКеЕл-1000 (область довжин хвиль збудження 300 – 650 нм), яке розкладали в спектр за допомогою подвійного призмового монохроматора ДМР – 4. Спектрометр ДФС – 12 (обернена лінійна дисперсія 10 Å/мм) використовували для реєстрації спектрів люмінесценції.

Результати досліджень. Для спектрів поглинання природних вод найбільш інформативною щодо наявності домішок у воді є ділянка 200–350 нм або 50000–28570 см⁻¹ (ближній УФ). Саме у цій ділянці поглинають такі, найбільш поширені у природних водах, сполуки, як нітрати, нітріти, хромати, сульфати, фенол, хлористий амоній [9] (більшість із цих сполук є токсичними). Особливо виділяється пік на 48000 см⁻¹ (рис.1). Наявність цього піку пояснюється присутністю у досліджуваних водах нітритів та нітратів [9–12]. Найпоширенішими є відповідні солі натрію NaNO₂ та NaNO₃. У ділянці ближнього ультрафіолету в спектрі поглинання NaNO₂ знайдена структурна смуга з $\nu=25983$ см⁻¹.

У короткохвильовій ділянці спектру поглинання монокристалу NaNO₂ виміряна безструктурна інтенсивна смуга поглинання, яка інтерпретується як внутрішньомолекулярний перехід, який з'являється у спектрі поглинання в результаті міжмолекулярної взаємодії. Але варто звернути увагу на те, що в пробах ґрунтових вод вміст нітритів значно менший, ніж нітратів. Це пояснюється поступовим доокислюванням іонів NO₂ до іонів NO₃ [13]. Вивчення спектрів поглинання нітратів (NO₃) виявило дві основних смуги поглинання: першу (менш інтенсивну) на ділянці ближнього ультрафіолету від 350 до 260 нм; та другу (більш інтенсивну) – на 210 нм [10].

Беручи до уваги наявність у водах природних речовин, доцільно не тільки відрізняти їх від домішок антропогенного характеру, але й кількісно визначати їх склад. Природний фон домішок формується, в основному, гумусовими речовинами. Від 60 до 80% від загального їх вмісту у водах становлять фульво та гумінові кислоти [14,15]. Ці кислоти можна виділяти

з торфу та бурого вугілля водними розчинами лугів. У природі вони утворюються у рослинних залишках або в результаті окислення вугілля та інших продуктів органічного походження. Точна хімічна природа та будова цих кислот ще точно не з'ясовані. Відомо лише, що це високомолекулярні сполуки, що відрізняються високою наявністю (~50%) вуглецю. Спектри поглинання цих кислот мають широку безструктурну смугу, яка має пік на 255 нм (перший пік поглинання бензольного кільця) і довгохвильовий хвіст, що тягнеться до початку видимої ділянки (400 нм) [11,12,16,17].

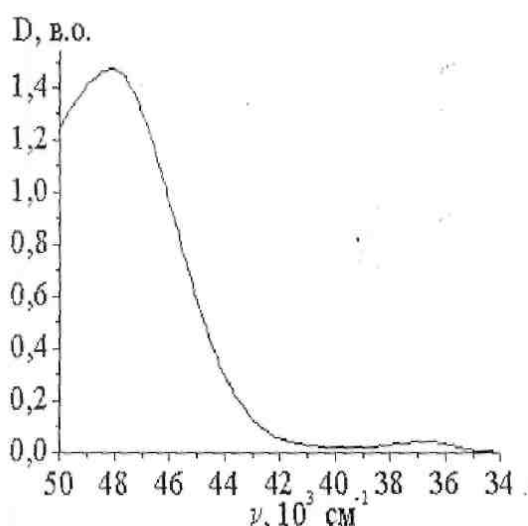


Рис. 1. Спектр поглинання NaNO_3

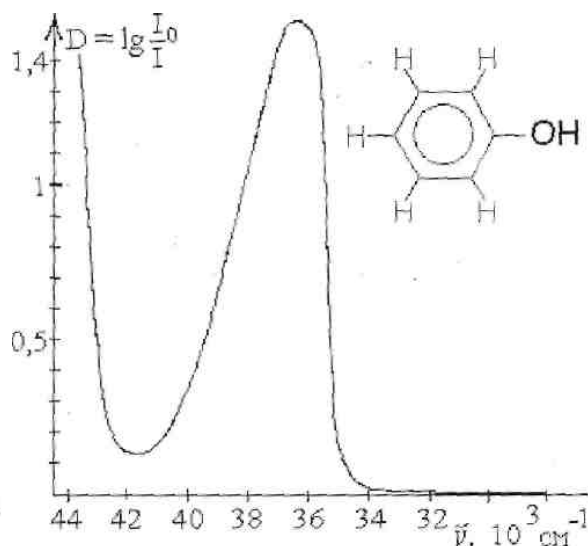


Рис. 2. Хімічна формула та спектр поглинання фенолу

Однією з найшкідливіших для здоров'я людини антропогенних домішок є фенол (рис. 2). Оскільки фенол є похідною від бензолу, він має чіткий пік поглинання бензольного кільця, зсунутий у довгохвильовий бік (37500 см^{-1}) [11,12,16,17]. Фенол, на відміну від багатьох інших домішок, має спектр люмінесценції з піком на 370 нм. Тому наявність його у воді детектується найлегше.

Проблема перевірки якості продуктів та ліків теж може бути вирішена за допомогою спектроскопічних методів. Особливо це стосується тих речовин (що входять до складу цих продуктів та ліків), які мають біо- та фотохімічну дію на людський організм. Наприклад, ми дослідили спектри поглинання моно- (АМФ), ди- (АДФ) та трифосфату (АТФ) аденозину. Аденозинова група має спектр поглинання в УФ-діапазоні зі смугою $\nu=37000 \text{ см}^{-1}$, що відповідає першому електронному переходу. Додавання однієї фосфатної групи до 7і-електронної системи аденозину призводить до короткохвильового зсуву смуги спектра поглинання на $\nu=1000 \text{ см}^{-1}$; додавання трьох фосфатних груп, відповідно, призводить до зсуву на $\Delta\nu=3000 \text{ см}^{-1}$ (рис. 3). Ми отримали, що під час «старіння» АТФ ці фосфатні групи «відпадають» від молекули, що, відповідно, відображується у спектрах поглинання як довгохвильовий зсув смуги. Таким чином, «свіжість» препарату може бути встановлена оптичними методами.

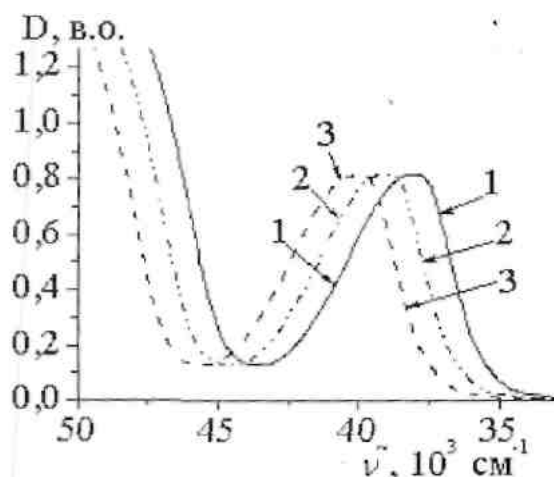


Рис. 3. Спектри поглинання:

1 – монофосфату, 2 – дифосфату та 3 – трифосфату аденозину

З іншого боку, ми показали [6,19], що аденозин входить до складу комплексів, що утворюються в ДНК під дією опромінення і є найбільш фотохімічно стійкими центрами, на яких локалізуються електронні збудження. Але, незважаючи на існування такого механізму самозахисту ДНК від негативних впливів, є речовини (харчові барвники та медичні барвники-зонди), що мають фототоксичний вплив на цю макромолекулу [6, 7]. Ми показали, що при введенні в розчин барвника певної кількості ДНК, інтенсивність люмінесценції барвника зростає в 10 разів. Водночас, при опроміненні системи ДНК+барвник на видимій ділянці спектра, де поглинає барвник $23000\text{--}16000\text{ см}^{-1}$, значення оптичної густини смуги поглинання ДНК 38500 см^{-1} зменшувалося. Це є проявом фототоксичного впливу барвників на ДНК, що дає можливість пропонувати їх використання у фотодинамічній терапії. Завдяки цьому, даний барвник може бути використаний для люмінесцентної детекції ДНК.

Висновки

Наведені результати дають змогу стверджувати, що, завдяки спектральним властивостям досліджених неорганічних солей, органічних антропогенних водорозчинних домішок та органічних барвників, виникає можливість спектрального детектування продуктів харчування і лікарських засобів на наявність у них цих шкідливих для здоров'я людини речовин. Але для подальшого вирішення цих життєво важливих проблем потрібна наявність відповідного сучасного спектрального устаткування.

Для вимірювання спектрів поглинання потрібний прилад, що вимірює залежність оптичної густини зразка від довжини хвилі в діапазоні $200\text{--}800\text{ нм}$ ($50000\text{--}2500\text{ см}^{-1}$) та за допомогою еталонних спектрів міг би аналізувати смуги поглинання досліджуваних зразків. Для вимірювання спектрів люмінесценції потрібний прилад, що вимірює залежність інтенсивності люмінесценції від довжини хвилі в діапазоні $300\text{--}1200\text{ нм}$ ($33000\text{--}8300\text{ см}^{-1}$) із устаткуванням для часового розділення спектрів (флюоресценція/ фосфоресценція) та для фіксування температурного режиму

зразків у широкому діапазоні температур (від 4,2 К – температури рідкого гелію до кімнатних температур).

Список літератури

1. Bersohn A. Phosphorescence in nucleotides and nucleic acids / A. Bersohn, I. Isenberg // *J. Chem. Phys.* – 1964. – Vol. 40, № 11. – P. 3175–3180.
2. Gueron M. Excited States of Nucleotides and Singlet Energy Transfer in Polynucleotides / M. Gueron, J. Eisinger, R. G. Shulman // *J. Chem. Phys.* – 1967. – Vol. 47, № 10. – P. 4077–4091.
3. Nygren J. The Interactions between the Fluorescent Dye Thiazole Orange and DNA / J. Nygren, N. Svanvik, M. T. Kubista // *Biopolymers.* – 1998. – 46. – P. 39–51.
4. Interaction of cyanine dyes with nucleic acids / T. Yu. Ogul'chansky, V. M. Yashchuk, M. Yu. Losytskyy [et al.] // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* – 2000. – Vol. 56, № 4. – P. 805–814.
5. Squaraine Dyes for Photodynamic Therapy: Mechanism of Cytotoxicity and DNA Damage Induced by Halogenated Squaraine Dyes Plus Light (>600 nm) / D. Ramaiah, I. Eckert, K. T. Arun [et al.] // *Photochemistry and Photobiology.* – 2004. – Vol. 79, № 1. – P. 99–104.
6. The effect of triplet-triplet excitation energy transfer on the DNA self-protection mechanism / V. M. Yashchuk, V. Yu. Kudrya, M. Yu. Losytskyy [et al.] // *Наук. зап. НАУКМА : Сер. фіз.-мат. наук.* – 2006. – Т. 51. – С. 48–56.
7. The spectral manifestation of the new luminescent styryl dyes photostability and phototoxic influence on the DNA / V. Yu. Kudrya, V. M. Yashchuk, V. V. Gusak [et al.] // *Наук. зап. НАУКМА : Сер. фіз.-мат. наук.* – 2006. – Т. 51. – С. 35–42.
8. Карякин А. В. Методы оптической спектроскопии и люминесценции в анализе природных и сточных вод / А. В. Карякин, И. Ф. Грибовская. – М. : Химия, 1987. – 304 с.
9. Булавін Л. А., Ящук В. М. Науково-практична конференція з оптики та спектроскопії та їх застосуванню в екології та сільському господарстві / Л. А. Булавін, В. М. Ящук. – 1991.
10. Mookherji A. Indian journal of Physics / Mookherji A., Tandon S. P. – 1962. – 36, № 7. – P. 344–350.
11. The PVA-PAA_N Intrapolymer Complexes as Sensors with Optical Response / V. Yu. Kudrya, V. M. Yashchuk, L. P. Paskal' [et al.] // *Macromolecular Symposia.* – 2001. – Vol. 166. – P. 249–253.
12. Кудря В. Ю. Спектральні властивості функціональних та електронмістких молекулярних систем з направленим перенесенням електронних збуджень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук / В. Ю. Кудря. – 2004. – 20 с.
13. Кнунянц И. Л. Краткая химическая энциклопедия. М. : Сов. энциклопедия. Т. 1. – 1961. – С. 365–366.
14. Ахманова М. В., Карпов В. С., Сафронова Н. С. и др. // *Геохимия.* – 1990. – № 7. – С. 1000–1010.
15. М. У. Белый, С. Е. Зеленский, Б. А. Охрименко, Ю. П. Федотов // *Журнал прикладной спектроскопии.* – 1993. – 59, 3–4, сентябрь – октябрь. – С. 354–357.
16. Т. В. Zheltonozhskaya, V. G. Syromyatnikov, V. Yu. Kudrya [et al.]. *Functional Materials.* – 1998. – 5, № 3. – P. 398–401.
17. Polymer sensors with optical response based on thermal modified intramolecular polycomplexes PVA-PAA_N / O. V. Demchenko, T. B. Zheltonozhskaya, V. Yu. Kudrya [et al.] // *Functional Materials.* – 2000. – Vol. 7, № 4 (1). – P. 711–716.

18. Kudrya V. Yu. The quality express testing of adenosine three phosphate as medical drug by optical absorption methods / V. Yu. Kudrya, V. M. Yashchuk // International Scientific and practical Conference "Spectroscopy in Special Application" (SSA2003). – Kyiv (Ukraine). 18–21 June. – 2003. – Book of Abstracts. – P. 84.

19. The nature of the electronic excitations capturing centres in the DNA / V. Yashchuk, V. Kudrya, M. Losytsky [et al.] // Journal of Molecular Liquids. – 2006. – Vol.127, Iss.1–3. – P. 79–83.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И ЛЕКАРСТВ

В. В. Бойко, Г. И. Булах, Я. А. Гуменюк, В. Ю. Кудря, Н. В. Малюта

Аннотация. *Рассмотрена возможность использования спектрального метода детектирования продуктов питания и лекарственных средств на предмет наличия в них вредных для здоровья человека веществ. Суть его состоит в анализе примесей в природных водах, который осуществляется путем исследования их спектров поглощения и люминесценции с последующим сравнением полученных результатов с эталонными спектрами.*

Ключевые слова: *спектроскопия, люминесценция, поглощение, экологический мониторинг.*

APPLICATION OF SPECTRAL METHODS TO COMMENTS AND PROOF OF PRODUCT QUALITY POWER AND MEDICAMENT

V. Boyko, G. Bulakh, J. Gumenyuk, V. Kudrya, N. Malyuta

Annotation. *The possibility of using spectral method of detecting food and medicines for the presence in them of harmful substances. Its essence lies in the analysis of contaminants in natural waters, carried out by studying their absorption spectra and luminescence, followed by comparing the results obtained with standard spectra.*

Key words: *spectroscopy, luminescence, absorption, ecological monitoring.*

**ДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ АСИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПРИСТРОЄМ ПЛАВНОГО ПУСКУ
ПРИ ЖИВЛЕННІ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМОМ**

*І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко,
кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
А. В. Торопов, кандидат технічних наук
ТОВ "ЦІТ Альтера"
e-mail: golodnyi@ukr.net*

Анотація. Наведено алгоритми роботи силового блоку та діаграми напруги і струму в режимі динамічного гальмування в системах регульованого асинхронного електропривода з пристроями плавного пуску серії SSW.

Ключові слова: *пристрої плавного пуску, перехідний процес, напівпровідникові перетворювачі напруги, діаграми напруги, динамічне гальмування асинхронного електропривода.*

У сучасних регульованих електроприводах широко використовуються пристрої плавного пуску, наприклад, серії SSW6 [1, 2]. Технічні характеристики, які наводяться в каталожних даних на пристрої, дають мало інформації про роботу електропривода в перехідних режимах, особливо гальмівних. У роботі [3] розглянуто особливості та варіанти алгоритмів способу гальмування противмиканням із пристроєм плавного пуску. Стаття присвячена вивченню роботи силового тиристорного блоку пристрою серії SSW6 при динамічному гальмуванні асинхронного двигуна.

Мета досліджень – вивчення роботи силового тиристорного блоку пристрою серії SSW6 при динамічному гальмуванні асинхронного двигуна.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз миттєвих значень напруг і струмів напівпровідникового силового блоку пристрою плавного пуску проведено на основі положень теорії електропривода і силової електроніки та осцилограм.

Результати досліджень. У системах електропривода з пристроєм плавного пуску серії SSW динамічне гальмування випрямленим пульсуючим струмом реалізується в схемах з додатковим контактором КМ2 (рис. 1) і без нього. За відсутності додаткового контактора, режим роботи тиристорів формується за схемою, описаною в [3].

При подачі команди на зупинку двигуна в пристрої плавного пуску АУ (рис. 1) з витримкою часу замикається контакт реле КV2, унаслідок чого, спрацьовує контактор КМ2, який своїм головним контактом закорочує виводи С1 і С2 двигуна М. Обвідний контактор КМ3 вимикається.

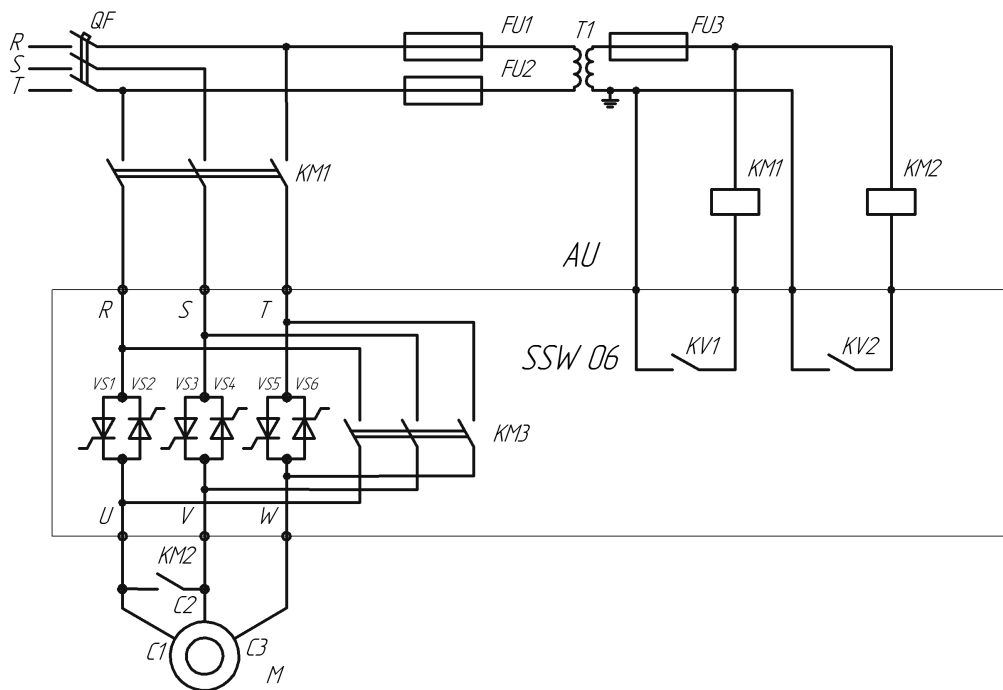


Рис. 1. Схема вмикання пристрою плавного пуску з динамічним гальмуванням постійним пульсуючим струмом

За такої схеми вмикання, на відміну від класичного трифазного випрямляча, комбінація роботи ключів VS2-VS3 і VS4-VS1 неприпустима.

Можливі два алгоритми подачі імпульсів керування на тиристори. У першому випадку, у першій фазі силового блоку пристрою AU з малим кутом відкривання в кожному циклі відкривається прямий тиристор, а в третій – зворотний. Форми кривих вихідної напруги залишаються такими самими, як і на рис. 3 і 4 [3], але струм, що протікає через обмотки двигуна, збільшується. При використанні додаткового контактора дві обмотки з'єднуються паралельно, тобто струм гальмування $I_{ГД}$ збільшується і становить:

$$I_{ГД} = \frac{U_{СЕР.ППП}}{R_{ОБМ.С} + \frac{R_{ОБМ.С}}{2}} = \frac{2U_{СЕР.ППП}}{3R_{ОБМ.С}},$$

де $U_{СЕР.ППП}$ – середнє значення напруги на виході пристрою плавного пуску;

$R_{ОБМ.С}$ – опір фази статора.

Інший алгоритм подачі керуючих імпульсів складніший. Імпульс напруги на обмотках двигуна формується комбінацією роботи ключів VS1-VS6 і VS3-VS6 (рис. 1). При подачі керуючого імпульсу на тиристор VS3 тиристор VS1 також відкритий, але, оскільки потенціал напруги у фазі B вищий, ніж у фазі A, то гальмівний струм буде створювати лінійна напруга U_{BC} , відповідно, струм у тиристорі VS1 спаде до нуля і він закриється. Слід відзначити, що мінімальний кут відкривання тиристорів має бути не менше за 60 електричних градусів. Тиристори VS1 і VS3 прямі, а VS6 –

зворотний і на виході будуть формуватися однополярні імпульси. За аналогією зі способом динамічного гальмування без замикаючого контактора [1], у кривих випрямленої напруги і струму за рахунок ЕРС самоіндукції двигуна також з'являються ділянки від'ємної полярності (рис. 2).

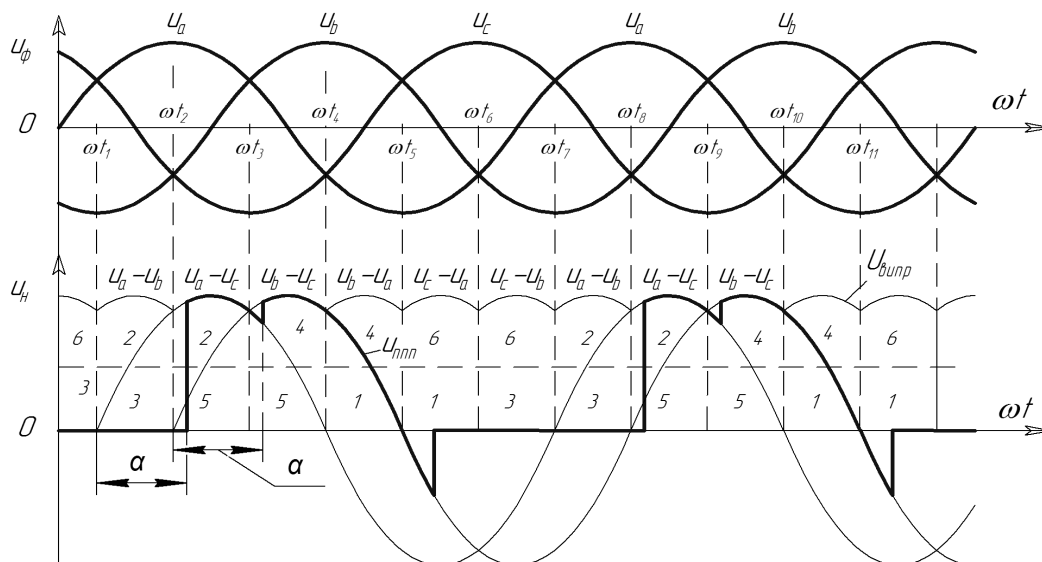


Рис. 2. Графіки миттєвих значень напруги, що формується на виході пристрою плавного пуску при динамічному гальмуванні та закорочуванні двох обмоток

Таким чином, до обмотки статора прикладається пульсуюча постійна напруга, проте, на відміну від випадку без контактора, пульсації струму значно зменшуються, оскільки імпульси ширші, а проміжки між ними менші. Під дією цього струму в обмотках статора створюється нерухоме магнітне поле, завдяки якому виникає гальмівний момент. Робоча точка системи „електропривод-робоча машина” переміщується з робочої ділянки механічної характеристики 1 двигунного режиму на криву 2 або 3 режиму динамічного гальмування (рис 3). Після зупинки двигуна реле $KV2$ вимикається, а тиристори закриваються.

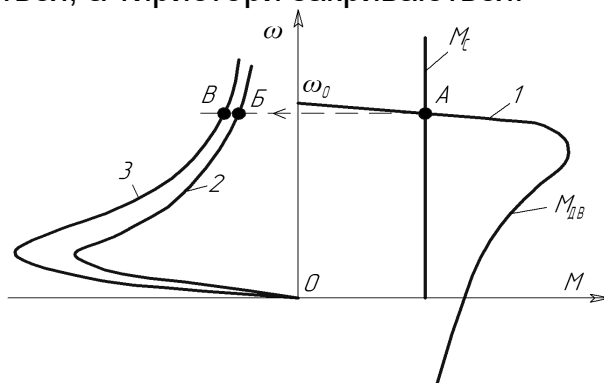


Рис. 3. Механічні характеристики асинхронного двигуна у режимі двигуна (1) та режимі динамічного гальмування (2 і 3):

$M_{ДВ}$, M_C – механічні характеристики, відповідно, двигуна та виконавчого механізму

Величину гальмівного моменту, а, отже, і тривалості гальмування, регулюють зміною кута відкриття тиристорів або шпаруватості імпульсів гальмівного струму (рис. 4). Значення гальмівного моменту задається при налагодженні пристрою плавного пуску, пам'ятаючи, що він обмежується максимально допустимим струмом гальмування.

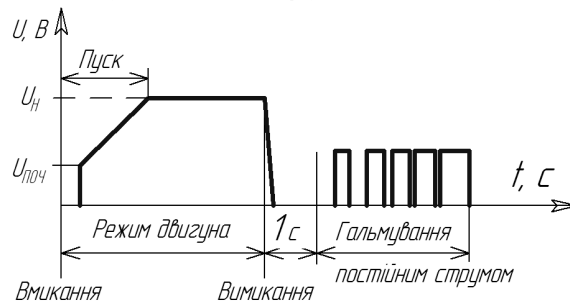


Рис. 4. Діаграма подачі напруги під час роботи електропривода з динамічним гальмуванням

Такий спосіб гальмування може бути використаний у схемах з двома тиристорами в кожній фазі силового блоку пристрою плавного пуску. Його застосування ефективне при високоінерційних навантаженнях двигунів середніх і великих потужностей.

Недоліками способу динамічного гальмування пульсуючим струмом є:

- необхідність зовнішнього контактора $KM2$ (рис. 1);
- малий гальмівний момент при низьких швидкостях обертання;
- неможливість застосування в схемах підключення обмоток двигуна трикутником з внутрішнім з'єднанням ключів.

Висновки

1. Використання зовнішнього контактора для закорочування двох обмоток двигуна при динамічному гальмуванні зменшує пульсацію гальмівного струму і моменту.

2. Створювані імпульси постійної напруги, порівняно з варіантом без закорочування обмоток двигуна, ширші, а проміжки між ними менші.

3. За аналогією з динамічним гальмування без замикаючого контактора в кривій випрямленої напруги за рахунок ЕРС двигуна також присутні ділянки напруги від'ємної полярності.

Список літератури

1. Устройство плавного пуска [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electrocontrol.com.ua/ustrojstva-plavnogo-puska/ustrojstva-plavnogo-puska-ssw-06.html>
2. Голодний І. М. Гальмування противмиканням електропривода з пристроєм плавного пуску серії SSW / І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, А. В. Торопов // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2013. – Вип. 184, ч. 1. – С. 120–125.
3. Голодний І. М. Гальмування противмиканням привода з пристроєм плавного пуску серії SSW / І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, А. В. Торопов // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2015. – Вип. 15, ч. 2. – С. 192–201.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УСТРОЙСТВАМИ ПЛАВНОГО ПУСКА ПРИ ПИТАНИИ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ТОКОМ

И. М. Голодный, Ю. М. Лавриненко, А. В. Торопов

Аннотация. Приведены алгоритмы работы силового блока и диаграммы напряжения и тока в режиме динамического торможения в системах регулируемого асинхронного электропривода с устройствами плавного пуска серии SSW.

Ключевые слова: *устройства плавного пуска, переходный процесс, полупроводниковые преобразователи напряжения, диаграммы напряжения, динамическое торможение асинхронного электропривода.*

DYNAMIC BRAKING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH SOFT START WHEN POWERED PULSATING CURRENT

I. Golodny, Y. Lavrinenko, A. Toropov

Annotation. *The algorithms of work of power block and diagram of tension and current are resulted in the mode of the dynamic braking in the systems managed asynchronous electric drive with the devices of the smooth starting of series of SSW.*

Key words: *devices of the smooth starting, transient, semiconductor transformers of tension, diagram of tension, dynamic braking of asynchronous electric drive.*

УДК 004.94:658.01

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОМЕТАНУ

***С. А. Шворов, доктор технічних наук
Д. С. Комарчук, кандидат технічних наук
П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко, аспіранти
email: dmitruy@mail.ru***

Анотація. Розглянуто методи моніторингу вирощування та збору біомаси для її переробки у біометан. Сформульовано основні задачі щодо застосування безпілотних літальних апаратів для планування

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор С. А. Шворов.

© С. А. Шворов, Д. С. Комарчук,
П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко, 2015

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УСТРОЙСТВАМИ ПЛАВНОГО ПУСКА ПРИ ПИТАНИИ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ТОКОМ

И. М. Голодный, Ю. М. Лавриненко, А. В. Торопов

Аннотация. *Приведены алгоритмы работы силового блока и диаграммы напряжения и тока в режиме динамического торможения в системах регулируемого асинхронного электропривода с устройствами плавного пуска серии SSW.*

Ключевые слова: *устройства плавного пуска, переходный процесс, полупроводниковые преобразователи напряжения, диаграммы напряжения, динамическое торможение асинхронного электропривода.*

DYNAMIC BRAKING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH SOFT START WHEN POWERED PULSATING CURRENT

I. Golodny, Y. Lavrinenko, A. Toropov

Annotation. *The algorithms of work of power block and diagram of tension and current are resulted in the mode of the dynamic braking in the systems managed asynchronous electric drive with the devices of the smooth starting of series of SSW.*

Key words: *devices of the smooth starting, transient, semiconductor transformers of tension, diagram of tension, dynamic braking of asynchronous electric drive.*

УДК 004.94:658.01

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОМЕТАНУ

***С. А. Шворов, доктор технічних наук
Д. С. Комарчук, кандидат технічних наук
П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко, аспіранти
email: dmitruy@mail.ru***

Анотація. *Розглянуто методи моніторингу вирощування та збору біомаси для її переробки у біометан. Сформульовано основні задачі щодо застосування безпілотних літальних апаратів для планування*

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор С. А. Шворов.

© С. А. Шворов, Д. С. Комарчук,
П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко, 2015

засіву, збору енергетичних культур та інших органічних відходів для їх перетворення у біометан.

Ключові слова: *система моніторингу, безпілотні літальні апарати, органічна сировина, біогаз, енергетичні культури, біометан.*

За останнє десятиліття в 15 європейських країнах почали інтенсивно розвиватися проекти виробництва біометану (БМ). Подача БМ в мережу природного газу відбувається в 11 країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція, Великобританія) [1]. Для подачі біометану в газопроводи використовують технологію, за допомогою якої забезпечується відокремлення CO_2 від біогазу (БГ) та отримання біометану з умістом до 95–98%. Україна має значний потенціал виробництва біогазу/біометану з відходів АПК, комунальних та промислових стічних вод, який оцінюється в 3,2 млрд м^3 CH_4 на рік. Ще 3,3 млрд м^3 CH_4 можна отримати при вирощуванні різних енергетичних культур (ЕК) на площах 1 млн га (3% від загальної площі орних земель України) [1–4].

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є широке застосування спеціальних систем моніторингу існуючої та прогнозування перспективної бази ЕК з метою їх переробки на біогазових комплексах (БГК) для отримання максимальних обсягів біометану.

Результати проведеного аналізу наукових праць [5–6] свідчать, що на сьогодні недостатньо повно розглянуто питання розробки та застосування систем моніторингу врожайності (СМВ) енергетичних культур для їх перетворення у біометан.

Мета досліджень – обґрунтування функціональної структури системи моніторингу врожайності ЕК.

Матеріали та методика досліджень. Система моніторингу врожайності ЕК – це інформаційна система, яка здатна в оперативному режимі надавати відомості про поточний стан ЕК на певних площах.

Залежно від оглядовості (розміру контролюваної системою території) розрізняють СМВ локального, регіонального та національного (або транснаціонального) рівнів, але всі вони, зазвичай, складаються з таких підсистем:

- отримання інформації;
- опрацювання та аналізу інформації;
- розповсюдження інформації [5].

Для отримання інформації широко використовують технології та методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). З метою опрацювання аналізу інформації використовують географічні інформаційні системи (ГІС), а для її розповсюдження – технології Internet.

Дистанційне зондування Землі (*Remote Sensing of Earth*) – це отримання інформації про об'єкти на земній поверхні, а також про процеси та явища, що відбуваються на нашій планеті за відсутності безпосереднього контакту з об'єктами дослідження, тобто “здалеку”. Залежно від способу

розміщення реєструючих пристроїв, методи ДЗЗ поділяють на наземні, авіаційні та космічні, але всі вони мають одну спільну рису: одержання інформації відбувається шляхом реєстрації електромагнітного випромінювання (ЕМВ), що відбивається або випромінюється земною поверхнею. При цьому, методи ДЗЗ, як і всі інші методи отримання інформації, мають свої обмеження та переваги, а також характеризуються певною точністю.

До переваг методів ДЗЗ, перш за все, слід віднести те, що отримання інформації відбувається бездеградаційним шляхом, тобто без будь-якого втручання в об'єкт дослідження. По-друге: методи ДЗЗ характеризуються великою оглядовістю (здатністю одночасно отримувати інформацію з великих площ), що дозволяє виявляти та досліджувати явища й процеси, які неможливо спостерігати з невеликої відстані. По-третє: різноманітні сенсори, що використовуються в системах ДЗЗ, здатні реєструвати ЕМВ у багатьох діапазонах спектра – видимому, інфрачервоному, мікрохвильовому та радіодіапазоні, що значно підвищує їх інформативність та розширює коло вирішуваних задач [5].

Важливим напрямом використання технологій ДЗЗ є інвентаризація сільськогосподарських угідь та управління земельними ресурсами. У першу чергу, це стосується авіаційних методів ДЗЗ та супутникової зйомки з високою просторовою розрізненістю на місцевості з метою створення тематичних планів і карт різного масштабу для цілей землепорядного проектування та ведення земельного кадастру. Дані космічної зйомки мають максимальне покриття, а актуальність існуючих даних – не завжди на високому рівні. Для деяких територій дані космічної зйомки доводиться чекати місяцями. Технології аерофотозйомки і повітряного лазерного сканування мають високу точність, але середнє покриття. Їх застосування потребує значних фінансових витрат. Використання БПЛА виправдане у випадку, коли необхідно швидко отримати точні дані на невеликій території. До того ж, собівартість аерофотозйомки з БПЛА на порядок нижче, порівняно із застосуванням малої авіації, що для деяких проектів, безперечно, є важливим аргументом.

Аерофотозйомка місцевості – це отримання знімків із повітря та подальше їх опрацювання різними методами. Досвід застосування аерофотограмметричних методів свідчить про їх високу ефективність, порівняно з традиційними методами, що забезпечує зниження трудомісткості й термінів виконання польових робіт. Як альтернатива малої авіації і супутникової зйомки останніми роками активно застосовують дистанційно пілотовані літальні апарати.

Автоматична навігація та позиціонування забезпечують політ за маршрутом, утримання висоти, повернення в точку запуску і дають змогу ефективно відстежувати різні аспекти сільськогосподарської діяльності. Зйомки з БПЛА забезпечують проведення інвентаризації сільськогосподарських земель, виконання оперативного контролю стану посівів на різних стадіях, виявлення процесів деградації земельних ресурсів, оцінку об'ємів біомаси, вивчення динаміки сільськогосподарського використання земель та здійснення контролю за проведенням агротехнічних заходів.

Об'єктивна інформація про стан рослин у кожний період їхнього розвитку потрібна не тільки для управління виробничим процесом, але й для прогнозування врожаю, вирішення численних економічних і технічних питань, пов'язаних зі збиранням урожаю, формуванням цін на вирощувану продукцію тощо. За таких обставин надзвичайно актуальними стають розробка та впровадження ефективних, економічно вигідних систем моніторингу посівів на основі даних аерофотознімків із БПЛА за короткий термін.

Відомий метод визначення стану посівів, який базується на картографічній основі планів землекористування та огляду полів [6]. Проведення обстеження стану врожайності сільськогосподарських рослин зазвичай проводиться шляхом візуального спостереження поля та наступним нанесенням ситуації на картографічну основу планів землекористування. Недоліком такого методу є його великозатратність та наявність людського фактора, який призводить до значних похибок. Звичайні аерофотозйомки, які виконують для сільськогосподарських потреб, належать до складних технологічних процесів. Традиційно їх виконують за допомогою звичайних носіїв фотоапаратури, таких як сільськогосподарські літаки (АН-2), літаки-лабораторії аерофотозйомки (АН-26), гелікоптери (МІ-6). Однак, висока ціна цих робіт, необхідність наявності близько розташованого аеродрому та обмежена висота польоту (понад 200 м) таких засобів робить їх недоступними для більшості власників полів.

Крім того, виконання польоту до місця знімання проводиться тільки в певних "коридорах" та зйомки проводять тільки у відведених для цього зонах на висоті більш ніж 200 м, що призводить до зменшення роздільної здатності отриманого знімку. Таким чином, вищезгадані недоліки підвищують вартість аерофотозйомки та зменшують рентабельність. Зазначимо, що відношення якості/ціна при аерофотозйомці, здебільшого, є визначальною.

Поставлена задача вирішується за допомогою спеціального методу, який включає визначення ділянки поля, її аерофотозйомки, аналіз фотознімків. Фотографування визначеної поверхні проводять з висоти від 50 до 200 м за допомогою дистанційно пілотованого літального апарату, з можливістю одержання знімків із високою роздільною здатністю до посадки апарату. За їх аналізом визначають площу посівів. Після виходу в зону зйомки БПЛА починає її обліт. Протягом усього польоту фотоапарат проводить серії знімків, що дає змогу проводити перекриття знімків для їх подальшого опрацювання. Плановість зйомки досягається системою стабілізації, яка утримує БПЛА в горизонтальній площині, запобігаючи обертанню й пікіруванню апарату. Після зйомки апарат повертається в точку старту для проведення посадки. Знімки завантажуються у відповідне програмне середовище для обробки [7].

Розглянемо вирішення наступного завдання: дано знімки однієї і тієї самої території, зроблені в різний час. Передбачається, що деяка (у відсотковому співвідношенні невелика) частина території за час, що минув між зйомками, зазнала змін. Потрібно визначити ділянки змін.

Хід вирішення: беремо пару послідовних знімків і будуємо регресію – по першому знімку пророкуємо значення другого знімку. Умова того, що зміни зазнала незначна частина території, дозволяє сподіватися, що:

- формування другого знімка по першому може бути достатньо точним;

- ті ділянки, для яких помітно значне розходження сформованого і реального значень, і є зміною ділянки.

Регресія будується за допомогою нейронних мереж. Дані, призначені для опрацювання, зберігаються в проекті GRASS, а використані знімки – у MODIS.

Розглянемо для прикладу дві дати послідовних знімків території: на 03.05.2015 (рис. 1) і на 12.05.2015 (рис. 2) [7].

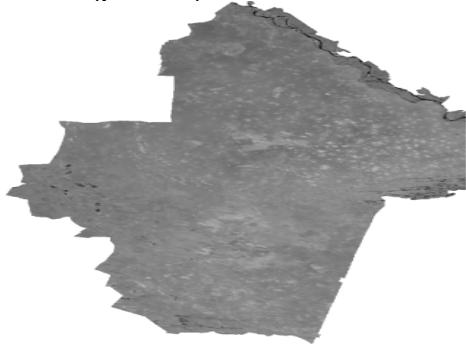


Рис. 1. Знімок території 3 травня

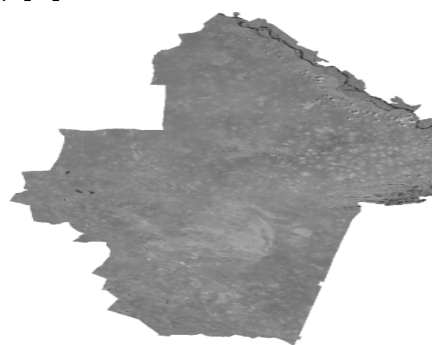


Рис. 2. Знімок території 12 травня

Розпізнавання образів включає в себе ряд етапів:

1. Сприйняття образів (технічне вимірювання).
2. Попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація).
3. Виокремлення потрібних характеристик (індексація).
4. Класифікація образу (прийняття рішення).

На першому етапі для сприйняття образів використовують два канали – (1) червоний і (2) ближній інфрачервоний).

На другому етапі здійснюється нормування вихідних значень до діапазону зміни функції активації (0, 1).

Третій та четвертий етапи розпізнавання образів, як правило, об'єднуються у системі розпізнавання образів (СРО), яка і є головним елементом такого інтелектуального комплексу. Алгоритм синтезу СРО є достатньо відпрацьованим:

- а) отримання тренувальної вибірки;
- б) вибір способу представлення даних та значущих характеристик;
- в) розробка класифікуючого критерію;
- г) навчання СРО;
- д) перевірка якості роботи з можливістю повернення до кроку 2 (або навіть і до кроку 1).

Для розпізнавання образів будуємо багатошаровий перцептрон, який бере на вході значення першого й другого каналів знімків від 3 травня, а на виході повертає передбачувані значення першого та другого каналів для знімків від 12-го травня.

Функцію активації нейронів візьмемо сигмоїдального типу:

$$f(u) = 1 / (1 + \exp(-u)). \quad (1)$$

Для роботи з нейронними мережами, у першу чергу, через швидкість роботи, доцільно використовувати пакет AMORE, в якому є декілька пакетів, що дозволяють створювати багатошарові мережі.

Відповідно до рекомендацій [7], нейронна мережа створюється таким чином. Оскільки даних для навчання є достатня кількість (близько 700 тис. пікселів), то й кількість нейронів можна взяти відносно великою. Для початку створюється мережа достатньо великих розмірів – з двома прихованими шарами по 20 і 10 нейронів у кожному (2-20-10-2); функція активації для всіх нейронів вибирається як сигмоїдальна (логістична). Навчання мережі здійснюється протягом 500 ітерацій. На навчальній множині будуть налаштовуватися ваги мережі.

Навчання мережі здійснюється відповідно до наступного алгоритму.

Крок 1. Проініціалізувати елементи вагової матриці (невеликими випадковими значеннями).

Крок 2. Подати на входи один із вхідних векторів, які мережа повинна навчитися розрізняти, і обчислити її вихід.

Крок 3. Якщо вихід правильний, перейти до кроку 4.

Інакше – обчислити різницю між ідеальним d і отриманим Y значеннями виходу:

$$\delta = d - Y. \quad (2)$$

Модифікувати вагу відповідно до формули:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta x_i, \quad (3)$$

де t і $(t+1)$ – номери відповідно поточної і наступної ітерацій;

η – коефіцієнт швидкості навчання, $0 < \eta < 1$;

i – номер входу;

j – номер нейрона у шарі.

Очевидно, якщо $d > Y$, то вагові коефіцієнти будуть збільшені і, тим самим, зменшать помилку. Інакше вони будуть зменшені, і Y теж зменшиться, наближаючись до d .

Крок 4. Виконати цикл з кроку 2, поки мережа не перестане помилятися.

Під час експериментів найбільш вдалою мережею виявилася мережа з одним прихованим шаром і п'ятьма нейронами в ньому. У результаті навчання цієї мережі було досягнуто помилки на навчальній множині: 0.0188.

Після навчання мережі здійснюються розрахунки, подаючи в навчену мережу дані першого знімка. Перш, ніж порівнювати створені нейронною мережею растри з реальними знімками, їх потрібно денормувати [7].

У підсумку отримуємо два растра, в яких містяться значення для першого і другого каналу відповідно, передбачені нейронною мережею. Замість того, щоб порівнювати безпосередні значення отриманих растрів і знімків, буде зручно знайти різниці між зформованим значенням і реальним знімком. При цьому яскраві ділянки відповідають великим по модулю значенням різниці, бліді ділянки – невеликим (рис. 3).

Візуально на знімку можна розрізнити місця якісного та неякісного зростання ЕК, а за допомогою програмного забезпечення – визначити

різницю між загальною площею поля та площею неякісного зростання ЕК, що і є ефективною площею посіву. Крім того, можна визначати площі осолонцювання, забруднення та засмічення полів тощо.

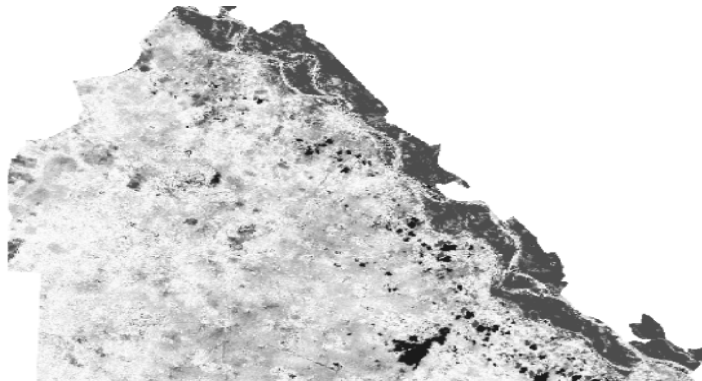


Рис. 3. Різниця між знімками 3 та 12 травня

Висновки

Отже, порівняно з існуючими методами обстеження врожайності території поля, запропонований метод має більш високу оперативність та точність отримання результатів моніторингу. Одержані дані дають можливість обраховувати ефективну площу посівів, площу просівів та ділянки поля, які потребують агротехнічних заходів. Загальна вартість СМВ значно менша, порівняно з традиційними методами моніторингу, оскільки не потребує пального.

Список літератури

1. Гелету́ха Г. Г. Перспективи виробництва та використання біометану в Україні [Електронний ресурс] / Гелету́ха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеєв Ю. Б. Режим доступу : <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-11-ua.pdf>
2. Гелету́ха Г. Г. «Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспектива» : брошюра / Гелету́ха Г. Г., Кучерук П. Д., Матвеєв Ю. Б. – Киев-Гюльцов, 2013. – 71 с.
3. Гелету́ха Г. Г. Перспективи біогазу в Україні. – Економічна правда, 2013 [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха. – Режим доступу : <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>
4. Гелету́ха Г. Г. Про майбутнє біометану [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха. – Режим доступу : <http://forbes.ua/ua/opinions/1390912-pro-majbutne-biometanu>
5. Трускавецький С. Р. Можливості супутникової зйомки в ідентифікації зернових культур Харківської області / С. Р. Трускавецький, Л. П. Коляда, О. І. Шерстюк // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2013. – Вип. 15. – С. 178–183.
6. Балюк С. А. Методичні рекомендації щодо стану зрошуваних земель та сільськогосподарських культур на базі аерофотозйомки / С. А. Балюк, М. О. Солоха ; за ред. С. А. Балюка // Завершені наукові розробки – 2013. – Х. : ІГА імені О. Н. Соколовського, 2014. – 44 с.
7. Нейросетевая обработка данных в ГИС Grass и R [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gis-lab.info/qa/grass-neuro-r.html>

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМЕТАНА

С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охрименко, Д. В. Чирченко

Аннотация. Рассмотрены методы мониторинга выращивания и сбора биомассы для ее переработки в биометан. Сформулированы основные задачи по применению беспилотных летательных аппаратов для планирования засева, сбора энергетических культур и других органических отходов для их преобразования в биометан.

Ключевые слова: система мониторинга, беспилотные летательные аппараты, органическое сырье, биогаз, энергетические культуры, биометан.

THE SYSTEM OF MONITORING THE STATE OF ENERGY CROPS FOR OBTAINING BIOMETHANE

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Ohrimenko, D. Chyrchenko

Annotation. The methods of monitoring the cultivation and harvesting biomass for processing into biomethane. The main tasks for the application of unmanned aerial vehicles to plan their planting, harvesting of energy crops and other organic waste for conversion into biomethane.

Key words: monitoring system, unmanned aerial vehicles, organic materials, biogas, energy crops, biomethane.

УДК 535.37

ІНАКТИВАЦІЯ МІКРООРГАНІЗМІВ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ

**Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук
e-mail: posudin@ukr.net**

Анотація. Обговорено основні принципи інактивації мікроорганізмів шляхом постійного електричного поля. Показано, що прикладені електричні поля можуть вибірково інактувати сенсорні функції мікроорганізмів.

Ключові слова: інактивація, електричні поля, мікроорганізми.

Інактивація – це часткова або повна втрата біологічно активною речовиною або організмом своєї активності. Інактивацію використовують для знищення будь-яких мікроорганізмів і вірусів, порушення їхніх функцій, дезактивації та дезінфекції, стерилізації. Відомі різні фізичні методи забезпечення безпеки харчових продуктів та інактивації мікроорганізмів за

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМЕТАНА

С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охрименко, Д. В. Чирченко

Аннотация. Рассмотрены методы мониторинга выращивания и сбора биомассы для ее переработки в биометан. Сформулированы основные задачи по применению беспилотных летательных аппаратов для планирования засева, сбора энергетических культур и других органических отходов для их преобразования в биометан.

Ключевые слова: система мониторинга, беспилотные летательные аппараты, органическое сырье, биогаз, энергетические культуры, биометан.

THE SYSTEM OF MONITORING THE STATE OF ENERGY CROPS FOR OBTAINING BIOMETHANE

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Ohrimenko, D. Chyrchenko

Annotation. The methods of monitoring the cultivation and harvesting biomass for processing into biomethane. The main tasks for the application of unmanned aerial vehicles to plan their planting, harvesting of energy crops and other organic waste for conversion into biomethane.

Key words: monitoring system, unmanned aerial vehicles, organic materials, biogas, energy crops, biomethane.

УДК 535.37

ІНАКТИВАЦІЯ МІКРООРГАНІЗМІВ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ

**Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук
e-mail: posudin@ukr.net**

Анотація. Обговорено основні принципи інактивації мікроорганізмів шляхом постійного електричного поля. Показано, що прикладені електричні поля можуть вибірково інактувати сенсорні функції мікроорганізмів.

Ключові слова: інактивація, електричні поля, мікроорганізми.

Інактивація – це часткова або повна втрата біологічно активною речовиною або організмом своєї активності. Інактивацію використовують для знищення будь-яких мікроорганізмів і вірусів, порушення їхніх функцій, дезактивації та дезінфекції, стерилізації. Відомі різні фізичні методи забезпечення безпеки харчових продуктів та інактивації мікроорганізмів за

допомогою термічної обробки [4]. Але термічна обробка призводить до зміни сенсорних атрибутів (таких як аромат) і стабільності термолабільних вітамінів та амінокислот, а також модифікації поживної якості продуктів.

Останніми роками використання електричних полів для інактивації мікроорганізмів привернуло значну увагу в галузі прикладної мікробіології та в технологічних процесах. Серед усіх нетермічних методів саме електричні поля знайшли своє застосування у харчових технологіях через їх короткочасну дію та зменшення впливу теплових ефектів. Електрична інактивація мікроорганізмів реалізується, зазвичай, шляхом застосування імпульсних електричних полів.

Летальний вплив інтенсивних імпульсних електричних полів на ряд видів вегетативних бактерій і дріжджів було продемонстровано в роботі [6]. Ступінь інгібування популяції визначався як добуток тривалості імпульсу та числа імпульсів (за напруженістю поля до 25 кВ/см у суспензії).

Вивчено вплив субмікросекундних електричних полів на мікроорганізми, таких як два штами *E.coli* і морські ракоподібні [7]. Залежність інгібування мікроорганізмів або тимчасового пошкодження від напруженості поля й тривалості імпульсів дає змогу використовувати цей ефект у стерилізаторах (їжі та води), а також в електричних фільтрах для запобігання обростанню систем охолодження.

Інактивації *Salmonella Typhimurium* (CRA 1005) і *Listeria monocytogenes* (NCTC 11994) було досягнуто за рахунок обробки імпульсним електричним полем у дистильованій воді напруженістю 10, 15 і 20 кВ/см [5]. Інактивацію *Leuconostoc mesenteroides*, *E.coli*, *Listeria innocua* і *Saccharomyces cerevisiae* в апельсиновому соку було індуковано електричними полями на рівні 30 кВ/см і 50 кВ/см [2]. Обидва рівня електричного поля були ефективні під час інактивації мікроорганізмів за температури нижче від стандартної, що застосовується під час термічної обробки, проте, особливо важливим параметром є кількість імпульсів.

Метод застосування імпульсних електричних полів (ІЕП) виявився перспективним у технології збереження харчових продуктів під час інактивації мікроорганізми порчі, а також патогенних мікроорганізмів. Спосіб полягає у прикладанні короткочасного інтенсивного електричного поля до харчового продукту, який знаходиться між двома електродами. Успішне застосування ІЕП значною мірою залежить від морфології та фізіологічних особливостей клітин, властивості рідкого середовища, типу і характеристик електричного поля, що використовується [1]. Імпульсні електричні поля можуть пригнічувати життєздатність, рухливість, швидкість руху мікроорганізмів і навіть викликати летальний результат, але не можуть вибірково інактивувати сенсорні функції мікроорганізмів, такі як рецепція, сенсорне перетворення, просторова орієнтація тощо. Це є недоліком методу ІЕП.

Мета досліджень – визначити можливість застосування постійних електричних полів для інактивації сенсорних функцій мікроорганізмів.

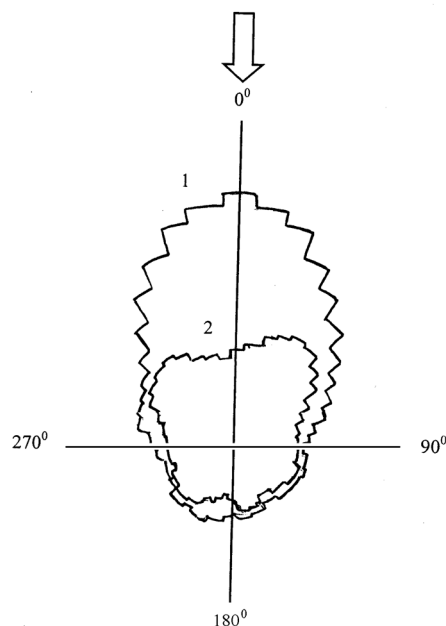
Матеріали та методика досліджень. У даному дослідженні було використано одноклітинну культуру *D. salina* Teod. штам № 10 з колекції Інституту ботаніки ім. Н. Г. Холодного НАН України [3].

Спеціальну прямокутну кювету було побудовано для вивчення впливу електричних полів на фоторух водоростей. Кювета складалася з оглядової камери (40×10×4 мм), яка містила суспензію водоростей, дві електродних камери, які були відокремлені від оглядової камери желатином та розчином KCl (0,3 М) для запобігання електролізу. Золоті електроди, розташовані під кутом 90° до латерального джерела світла, було приєднано до джерела живлення. Відстань між паралельними електродами становила 30 мм.

Для вивчення фоторуху *Dunaliella* було розроблено спеціальну експериментальну систему відеомікрографії для спостереження та вимірювання швидкості та напрямку руху окремих клітин під час зміни параметрів світлового стимулу [3]. Система складається з мікроскопу, підключеного до джерела світла, монохроматора та відеосистеми.

Фур'є-перетворення було використано для визначення рівня інгібування фототопотаксису електричним полем [3]. Методика дала змогу проаналізувати зміни амплітуд основних гармонік для з'ясування можливої участі мембранних електричних потенціалів у фоторусі водоростей.

Результати досліджень. Застосування електричного поля (10–20 В/м) викликає інгібування фототопотаксису *D. salina* при латеральному освітленні білим світлом (на рівні 500 лк). Гістограми кутового розподілу за відсутності та при накладанні електричного поля (20 В/м) відображено на рисунку.



Вплив зовнішнього електричного поля напруженістю 20 В/м, прикладеного до суспензії водоростей, на кутовий розподіл клітин та інтенсивність фототопотаксису *D. salina*:

1 – поле вимкнено; 2 – поле увімкнено. Стрілка вказує напрям поширення стимулюючого світла (освітленість 500 лк)

Фур'є-аналіз дав змогу оцінити зменшення амплітуди основних гармонік (першої гармоніки – у 3 рази, другої – у 3,7 раза тощо). Гістограма кутового розподілу показує інгібування фототопотаксису *D. salina*, коли електричне поле було включено, та його відновлення через 2 хв після вимкнення поля.

Висновки

Наші експериментальні результати підтверджують гіпотезу щодо участі індукованих світлом змін мембранного потенціалу під час фоторуху водорості. Прикладання зовнішнього електричного поля порушує поширення потенціалу з рецептора до джгутикового апарата, викликаючи інгібування фототопотаксису.

Список літератури

1. Barbosa-Cánovas G. V. Pulsed Electric Fields Processing of Foods // Overview / G. V. Barbosa-Cánovas, B. Altunakar // Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry, Fundamentals and Applications. Raso J., Heinz V., eds. – New York : NY Springer, 2006. – P. 3–26.
2. McDonald C. J. Effects of Pulsed Electric Fields on Microorganisms in Orange Juice Using Electric field Strengths of 30 and 50 kV/cm / C. J. McDonald, S. W. Lloyd, M. A. Vitale [et al.] // Journal of Food Science. – 2000. – 65. – № 6. – P. 984–989.
3. Posudin Yu. I., Massjuk N. P., Lilitskaya G. G. Photomovement of *Dunaliella* Teod. Vieweg+Teubner Research. – 2010. – 224 p.
4. Rastogi N. K. Application of High-Intensity Pulsed Electrical Fields in Food Processing / N. K. Rastogi // Food Reviews International. – 2003. – № 19 (3). – P. 229–251.
5. Russell N. J.. Mechanism of action of pulsed high electric field (PHEF) on the membranes of food-poisoning bacteria is an 'all-or-nothing' effect / N. J. Russell, M. Colley, R. K. Simpson [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2000. – V. 55. – № 1–3. – P. 133–136.
6. Sale A. J. H. Effects of high electric fields on microorganisms: I. Killing of bacteria and yeasts / A. J. H. Sale, W. A. Hamilton // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects. – 1967. – V. 148. – № 3. – P. 781–788.
7. Schoenbach K. H. Effect of submicrosecond electric fields on microorganisms: experiments and applications / K. H. Schoenbach, F. E. Peterkin, S. Beebe [et al.] // Proceedings of the SPIE. – 1995. – V. 2374. – P. 99–205.

ИНАКТИВАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Ю. И. Посудин

Аннотация. Рассмотрены основные принципы инактивации микроорганизмов с помощью постоянного электрического поля. Показано, что приложенные электрические поля могут селективно инактивировать сенсорные функции микроорганизмов.

Ключевые слова: инаktivация, электрические поля, микроорганизмы.

INACTIVATION OF MICROORGANISMS BY ELECTRIC FIELDS

Y. Posudin

Annotation. *The basic principles of the inactivation of microorganisms by constant electric fields are discussed. It is shown that applied electric fields can selectively inactivate sensory functions of microorganisms.*

Key words: *inactivation, electric fields, microorganisms.*

УДК 621.3.086

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ПРИ КОМУТАЦІЇ СТРУМУ ВІДНОВЛЕНИМИ КОНТАКТАМИ ДЕТАЛЕЙ

*І. П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Подано результати досліджень електричної дуги (сили струму, часу горіння дуги) відновлених газоплазмовим напиленням контактних вузлів при комутації струму.*

Ключові слова: *контакт-деталь, активний опір, індуктивний опір, електрична дуга, змінний струм, енергія, ерозія.*

Нині актуальним завданням є вдосконалення технології відновлення контактів комутаційних апаратів, що експлуатуються в сільському господарстві.

Мета досліджень – визначення часу горіння дуги та середнього значення струму в дузі, умови гасіння дуги, а також зносостійкість напилених контакт-деталей магнітних пускачів із різних контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. При випробуваннях на комутаційну здатність та електроерозійну стійкість для визначення параметрів комутації (час горіння дуги і середнє значення струму в дузі) використовували осцилографування струму та напруги. Величину струму визначали за падінням напруги на шунті 75ШСМ3-25-05. Осцилограми струму і напруги отримували за допомогою універсального двопробного запам'ятовуючого осцилографа С8-14. Похибка вимірюваних величин не перевищувала 5 %. Схема приєднання осцилографа до випробувального електричного кола наведена на рис. 1.

При комутації змінного струму з кожним переходом струму через нуль в момент виникнення струму різко зростає напруга на дузі до напруги запалювання дуги U_3 . За напівперіод горіння дуги напруга на ній змінюється несуттєво. У низьковольтних електроустановках при другому на-

INACTIVATION OF MICROORGANISMS BY ELECTRIC FIELDS

Y. Posudin

Annotation. *The basic principles of the inactivation of microorganisms by constant electric fields are discussed. It is shown that applied electric fields can selectively inactivate sensory functions of microorganisms.*

Key words: *inactivation, electric fields, microorganisms.*

УДК 621.3.086

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ПРИ КОМУТАЦІЇ СТРУМУ ВІДНОВЛЕНИМИ КОНТАКТАМИ ДЕТАЛЕЙ

*І. П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Подано результати досліджень електричної дуги (сили струму, часу горіння дуги) відновлених газоплазмовим напиленням контактних вузлів при комутації струму.*

Ключові слова: *контакт-деталь, активний опір, індуктивний опір, електрична дуга, змінний струм, енергія, ерозія.*

Нині актуальним завданням є вдосконалення технології відновлення контактів комутаційних апаратів, що експлуатуються в сільському господарстві.

Мета досліджень – визначення часу горіння дуги та середнього значення струму в дузі, умови гасіння дуги, а також зносостійкість напилених контакт-деталей магнітних пускачів із різних контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. При випробуваннях на комутаційну здатність та електроерозійну стійкість для визначення параметрів комутації (час горіння дуги і середнє значення струму в дузі) використовували осцилографування струму та напруги. Величину струму визначали за падінням напруги на шунті 75ШСМЗ-25-05. Осцилограми струму і напруги отримували за допомогою універсального двопробного запам'ятовуючого осцилографа С8-14. Похибка виміряних величин не перевищувала 5 %. Схема приєднання осцилографа до випробувального електричного кола наведена на рис. 1.

При комутації змінного струму з кожним переходом струму через нуль в момент виникнення струму різко зростає напруга на дузі до напруги запалювання дуги U_3 . За напівперіод горіння дуги напруга на ній змінюється несуттєво. У низьковольтних електроустановках при другому на-

півперіоді горіння дуги її опір значно зростає, що призводить до підвищення її відновлювальної міцності. Після другого переходу струму через нуль дуга руйнується і згасає. Після цього, міжконтактний проміжок може ще зберігати залишкову провідність, яка відповідає тій чи іншій стадії дугового розряду. Тому визначали осцилограми напилених контакт-деталей електромагнітних пускачів ПМЛ-3200 на постійному струмі, оскільки він більш інформативний.

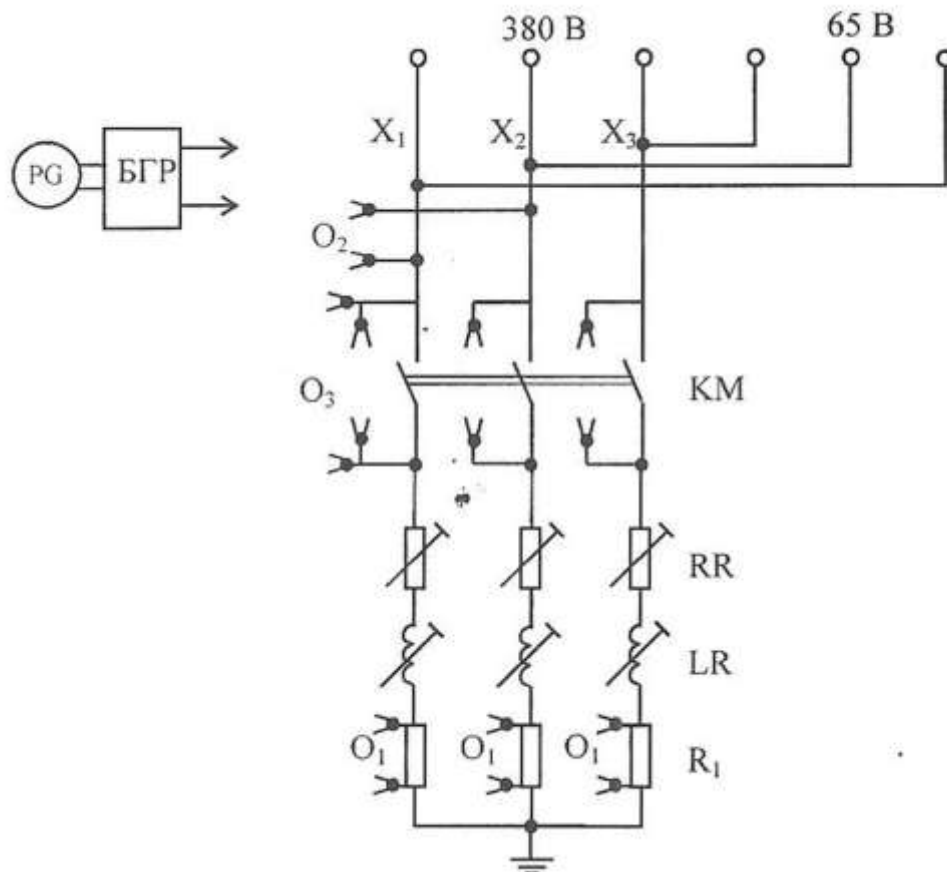
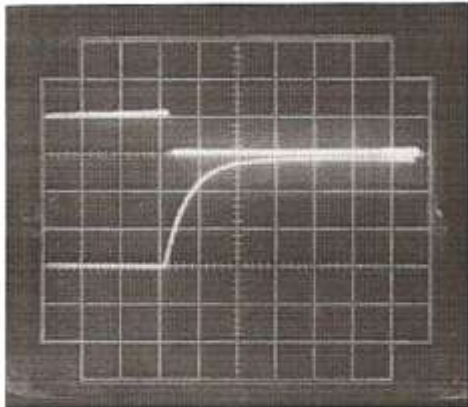


Рис. 1. Схема приєднання осцилографа С8-14 до випробувального електричного кола:

O_1 – канал осцилографа для запису струму; O_2 , O_3 – канали осцилографа для запису напруги; PG – осцилограф; R_1 – шунт; RR – регульовальні резистори; LR – регульовальні котушки індуктивності; БГР – блок гальванічної розв'язки

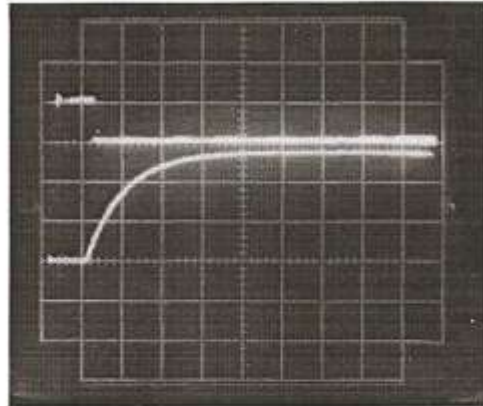
Результати досліджень. Раціональною умовою гасіння дуги змінного струму при напилених контакт-деталях в пусках ПМЛ-3200 слід вважати комутацію, за якої дуга гасне в перший після розмикання контактів перехід струму через нуль. Наочно це проілюстровано на рис. 2. Встановлено що, час горіння електричної дуги при розмиканні контактів у серійних пусках ПМЛ-3200– 04 В становить 75 мс, а в пусках із дослідними контакт-деталлями – 55 мс (рис. 2).

Матеріал КМК – 10м

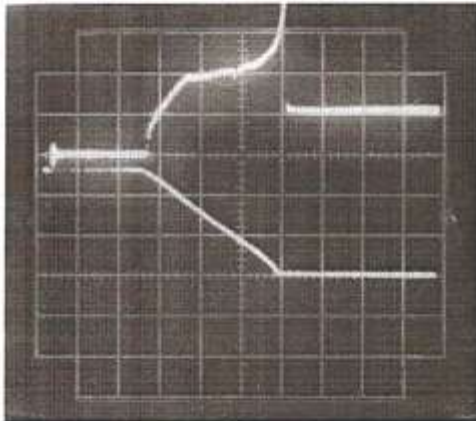


№1. Вмикання: $U=65\text{В}$; $I=40\text{А}$; $\tau=2\text{мс}$; $L=28\text{мГн}$
($m_f=50\text{ мс/под.}$; $m_u=50\text{V/под.}$; $m_i=0,02\text{V/под.}$)

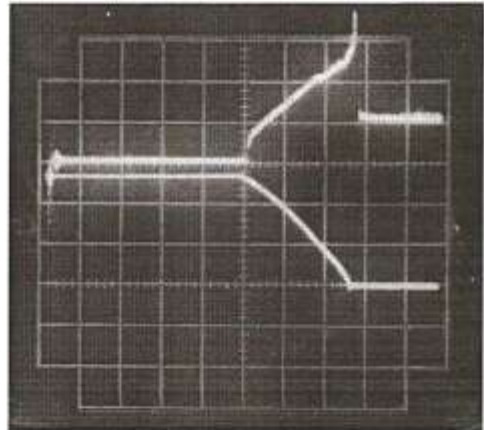
Матеріал 81,3%Cu+10%Cr+



№2. Вмикання: $U=65\text{В}$; $I=40\text{А}$; $\tau=10\text{мс}$; $L=77\text{мГн}$
($m_f=20\text{ мс/под.}$; $m_u=50\text{V/под.}$; $m_i=0,05\text{V/под.}$)



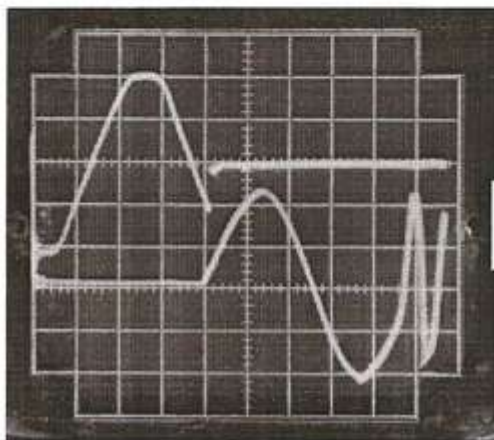
Постійний
струм



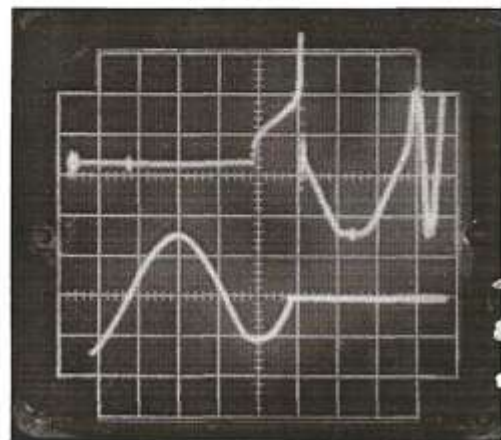
№3. Розмикання: $U=65\text{В}$; $I=40\text{А}$; $\tau=40\text{мс}$; $L=240\text{мГн}$
($m_f=20\text{ мс/под.}$; $m_u=50\text{V/под.}$; $m_i=0,05\text{V/под.}$)

№4. Розмикання: $U=65\text{В}$; $I=40\text{А}$; $\tau=40\text{мс}$; $L=240\text{мГн}$
($m_f=20\text{ мс/под.}$; $m_u=50\text{V/под.}$; $m_i=0,05\text{V/под.}$)

КМК-10м



КМК-10м



Змінний
струм

Рис. 2. Осцилограми електричної дуги
в електромагнітних пусках ПМЛ – 3200

Надійність електричного контакту визначається, здебільшого, його складовими компонентами, структурою і властивостями поверхневих шарів, які утворюються в результаті ерозії та переносу контактної матеріалу в електричній дузі [1, 2]. При комутації змінного струму постійно змінюється полярність протікання струму через контакт і за експериментальними даними встановлено негативний (тобто зменшення маси) коефіцієнт інтенсивності електричної ерозії у нерухомих контакт-деталей (1, 2, 3, 4, 5, 6) і в рухомих (мостики 1–2, 3–4, 5–6). Але рухомі контакт-деталі зношуються інтенсивніше на 10–27%.

Це явище характерне для контактів змінного струму і його можна пояснити, на нашу думку тим, що при випробуваннях температура рухомих мостиків була вища, ніж температура нерухомих контактів, на величину 25-30°C. Маса рухомого контакту мостикового типу зменшується трохи більше, ніж маса нерухомих контактів, тому що процеси при дуговій ерозії супроводжуються інтенсивнішим випаровуванням і розбризкуванням матеріалу контакт-деталі з більш високою температурою.

За результатами досліджень побудовані залежності електроерозійного зносу напилених контакт-деталей пускачів ПМЛ із різних контактних матеріалів (рис. 3, 4).

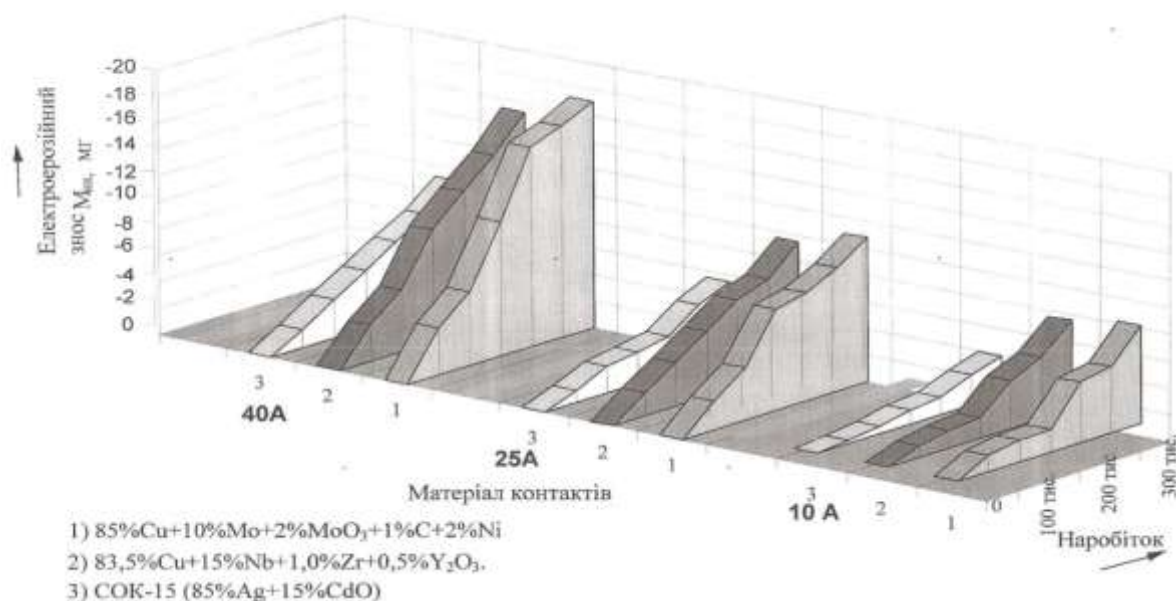


Рис. 3. Залежність електроерозійного зносу напилених нерухомих контакт-деталей пускача ПМЛ-3200-04, АС-3 (струми комутації 10; 25; 40А)

З наведених рисунків видно, що зі збільшенням комутуючого струму ерозійний знос збільшується і досягає свого максимального значення при струмі 10А. Це зумовлено тим, що зі збільшенням струму в контактних процесах більш значну роль відіграють фактори плазмової дуги і збільшується дуговий ерозійний знос за рахунок зростання енергії електричної дуги. Причому на дугову ерозію суттєво впливає фазовий склад і струк-

тура контактного матеріалу, тому що дуговий канал закріплюється на структурних складових з низькою тепло- та електропровідністю [3].

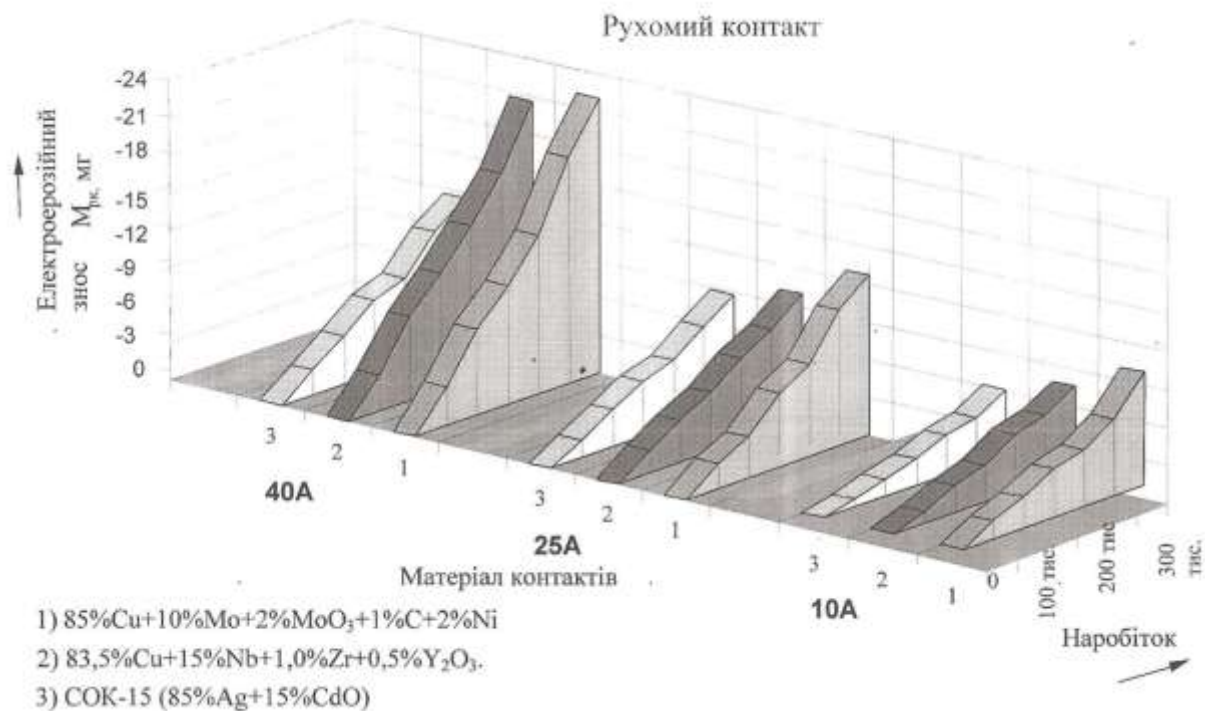


Рис. 4. Залежність електроерозійного зносу напилених рухомих контакт-деталей (мостиків) пускачів ПМЛ-3200-04, АС-3 (струми комутації 10; 25; 40А)

Найбільшу ерозійну стійкість мають контакти КМК-А10м (пускач ПМЛ 4200 В). Стійкість матеріалу КМК-А10м вища на 13–30 %, ніж контактів із латуні Л62 і на 35–45 % вища, ніж у контакт-деталей з матеріалу 85%Cu+10%Mo+2%MoO₃+1%C+2%Ni. Висока електроерозійна стійкість контактів КМК-А10м у наших дослідженнях досягається структурою матеріалу та особливостями оксиду кадмію CdO. Так, дуга горить в атмосфері парів кадмію та кисню, потенціал іонізації яких вище, ніж парів Ag. Потенціал однократної іонізації атомів Ag – 7,54В, Cd – 8,96В, О – 13,55В. Оскільки, дуга горить у парах Cd і О, то вона гасне швидше, ніж в парах Ag. Осадок оксиду кадмію, який утворився внаслідок зворотної реакції окислення парів кадмію в області більш низьких температур, осідає на контактах, перешкоджає їх зварюванню при замиканні, не порушуючи при цьому провідності [4].

Дещо нижча електроерозійна стійкість у контакт-деталей з матеріалу 83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%Y₂O₃. Цей матеріал забезпечує невелику тривалість горіння електричної дуги, має гарні робочі характеристики, але, на жаль, має низьку теплостійкість. Це призводить до обгоряння, розплавлення і зварювання контактів при високих електричних навантаженнях. Зношування відбувається по всій поверхні контакт-деталі рівномірно. Суттєвим недоліком цього матеріалу є ще недостатня тривкість проти сульфідної корозії.

Термічна дія дуги викликає випаровування і розбризкування матеріалу контактів, поверхні контакт-деталей окислюються. У процесі роботи можливі суттєві зміни в поверхневому шарі. На поверхні контактів утворюються оксиди срібла, міді, нікелю. Оксиди срібла мають невелику електричну провідність, яка близька до провідності чистого срібла, але оксид срібла, який утворився при термічній дії дуги, відрізняється від Ag_2O , який утворюється в статичному режимі. Оксид міді, скупчений в окремих точках, здатний збільшити перехідний опір протягом невеликого часу в декілька разів.

Таким чином, найбільшу ерозійну стійкість мають контакти КМК-А10м пускач ПМЛ-2100.В). Стійкість матеріалу КМК-А10м вища на 15–25%, ніж контактів із матеріалу $85\%\text{Cu}+10\%\text{Mo}+2\%\text{MoO}_3+1\%\text{C}+2\%\text{Ni}$ та на 35–40% вища, ніж у контакт-деталей з латуні Л62. Висока електроерозійна стійкість контактів КМК-А10м у наших дослідженнях досягається структурою матеріалу та особливостями оксиду кадмію CdO .

Висновки

Структура руйнування контактних матеріалів пов'язана з природою самих матеріалів. На дугову ерозію впливає фазовий склад і структура контактного матеріалу. Дуговий фазовий склад і структура складових із низькою тепло- та електропровідністю.

Досліджено електроерозійну стійкість відновних контакт-деталей магнітних пускачів серії ПМА–3100 і ПМА – 4100–04А.

Список літератури

1. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г. В. Буткевич. – М. : Энергия, 1973. – 172 с.
2. Коханівський С. П. Визначення енергії електричної дуги в контактах постійного струму / С. П. Коханівський, І. П. Радько // Науковий вісник НУБіП України. – 2009. – № 139. – С. 38–43.
3. Коханівський С. П. Вплив енергії дуги на електричну ерозію / С. П. Коханівський, І. П. Радько, В. А. Наливайко // Науковий вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2012. – Вип. 130. – С. 82–83.
4. Пат. № 47346 Україна. Спечений матеріал для електричних контакт-деталей / Коханівський С. П., Радько І. П., Щербак Т. В., Власенко Ю. П.; заявл. 14.08.2009 ; опубл. 25.01.2010, Бюл. № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ПРИ КОММУТАЦИИ ТОКА ВОССТАНОВЛЕННЫМИ КОНТАКТАМИ ДЕТАЛЕЙ

И. П. Радько

Аннотация. *Представлены результаты исследований электрической дуги (сила тока, время горения дуги) восстановленных газоплазменным напылением контактных узлов при коммутации тока.*

Ключевые слова: *контакт-деталь, активное сопротивление, индуктивное сопротивление, электрическая дуга, переменный ток, энергия, эрозия.*

STUDY PARAMETERS OF THE ELECTRIC ARC CURRENT AT COMMUTATION RESTORE CONTACTS PARTS

I. Radko

Annotation. *The research results of the electric arc (current strength, arcing time) of restored contact nodes by gas-plasma spraying during current switching were presented.*

Key words: *contact detail, active resistance, inductive resistance, electric arc, alternate current, energy, erosion.*

УДК 658.014.1.011.56

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХЛІБОКОМБІНАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Л. Ю. Маноха, кандидат технічних наук

Н. В. Ліманська, асистент

Національний університет харчових технологій

М. О. Кіктєв, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Для сучасного етапу розвитку функціонування виробничого процесу характерна динамічна, прискорена зміна виробничо-експлуатаційних умов. У зв'язку з цим, особливу роль набуває здатність органів управління підприємством своєчасно вживати відповідні ефективні заходи. Забезпечити інформаційну підтримку їх вироблення та обґрунтування покликане імітаційне моделювання як основа багатоваріантного прогнозування.*

Ключові слова: *імітаційне моделювання, технологічне обладнання, мережі Петрі, ремонт устаткування.*

Безперебійна робота технологічного обладнання хлібопекарського підприємства забезпечує безперервний процес виготовлення продукції і, як наслідок, злагоджену роботу підприємства загалом. Для запобігання простоїв виробництва і мінімізації збитків, до яких призведе вихід з ладу хоча б однієї технологічної одиниці, варто розглянути процес ремонтного супроводу обладнання хлібокомбінату за допомогою імітаційного моделювання.

Ремонтні взаємозв'язки для технологічного устаткування включають в себе (рис. 1):

STUDY PARAMETERS OF THE ELECTRIC ARC CURRENT AT COMMUTATION RESTORE CONTACTS PARTS

I. Radko

Annotation. *The research results of the electric arc (current strength, arcing time) of restored contact nodes by gas-plasma spraying during current switching were presented.*

Key words: *contact detail, active resistance, inductive resistance, electric arc, alternate current, energy, erosion.*

УДК 658.014.1.011.56

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХЛІБОКОМБІНАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Л. Ю. Маноха, кандидат технічних наук

Н. В. Ліманська, асистент

Національний університет харчових технологій

М. О. Кіктєв, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Для сучасного етапу розвитку функціонування виробничого процесу характерна динамічна, прискорена зміна виробничо-експлуатаційних умов. У зв'язку з цим, особливу роль набуває здатність органів управління підприємством своєчасно вживати відповідні ефективні заходи. Забезпечити інформаційну підтримку їх вироблення та обґрунтування покликане імітаційне моделювання як основа багатоваріантного прогнозування.*

Ключові слова: *імітаційне моделювання, технологічне обладнання, мережі Петрі, ремонт устаткування.*

Безперебійна робота технологічного обладнання хлібопекарського підприємства забезпечує безперервний процес виготовлення продукції і, як наслідок, злагоджену роботу підприємства загалом. Для запобігання простоїв виробництва і мінімізації збитків, до яких призведе вихід з ладу хоча б однієї технологічної одиниці, варто розглянути процес ремонтного супроводу обладнання хлібокомбінату за допомогою імітаційного моделювання.

Ремонтні взаємозв'язки для технологічного устаткування включають в себе (рис. 1):

1. Регулювання механізму – операція, характерна для завершальної стадії монтажу і початкової стадії експлуатації, часто проводиться в процесі експлуатації механізму і є основою тривалої експлуатації.

2. Заміна деталей і вузлів проводиться для запобігання їх можливій поломці та відвертання аварійного стану. Під аварійним станом слід розуміти неконтрольований і некерований розвиток ушкоджень деталей і вузлів механізму. Замінити можна практично всі деталі, за винятком базових – корпусних, заміна яких потребує проведення монтажних операцій.

3. Відновлення деталей – проводиться для забезпечення можливості продовження експлуатації дорогих елементів механізмів. Відновлення корпусних частин пов'язане із загальним зносом машин і зниженням вимог до якості базових деталей і часто використовується для ефективного відновлення працездатного стану устаткування. Ліквідація наслідків зношування шляхом відновлення деталей, одночасно із заміною деталей і вузлів, мають найбільш реальну можливість ефективно подовжити термін експлуатації устаткування.



Рис. 1. Ремонтні взаємозв'язки технологічного устаткування

Існуюча стратегія планово-запобіжних ремонтів орієнтує ремонтні служби на переважання операцій по заміні зношених вузлів. Проте різні терміни служби однотипних вузлів і деталей знижують ефективність цієї операції. Процес прироблення, що починається після заміни деталей і вузлів, призводить до прискореного зносу і перерозподілу навантажень між знову встановленими і старими деталями. Результат не завжди однозначний, можливе виникнення серії відмов (особливо при неякісному регулюванні) або зниження терміну служби деталей відносно первинного. Часті необґрунтовані заміни деталей призводять до підвищення витрат виробництва, знижуючи час роботи машини, підвищення ризику появи прихованих відмов через помилки монтажу. Збільшення часу між замінами призводить до можливого зносу корпусних деталей та необхідності проведення надалі тривалішого ремонту. Кожна заміна деталей і вузлів має бути обґрунтована технічним станом і проводитися комплексно, для ефективного відновлення працездатного стану механізму.

При цьому спостерігається закономірність: чим раніше виявлено ушкодження, тим менше засобів потрібно для його ліквідації.

Мета досліджень – розробка математичної моделі ремонтного обслуговування технологічного обладнання хлібокомбінату.

Матеріали та методика досліджень. Процес обслуговування технологічного обладнання (ТО) ремонтним відділом хлібопекарського підприємства є складним технічним процесом, на який впливають випадкові фактори, що ускладнюють прийняття рішення на управлінському рівні. Одним із варіантів використання імітаційного моделювання для обліку та аналізу випадкових факторів є використання методологій мереж Петрі. Існуючі підходи до прийняття рішень дозволяють вирішувати дуже вузьке коло задач без вираховування більшості параметрів, які обумовлюють ефективність технічного процесу, обґрунтовують необхідність програмної розробки моделей підтримки прийняття рішень [1].

Модель технічного процесу обслуговування ТО ремонтним відділом хлібопекарського підприємства (рис. 2) містить у собі 18 позицій і 9 переходів:

$$P_i = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, \dots, p_{16}, p_{17}, p_{18}\}$$

$$T_i = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9\}$$

До множини вузлів P_i належать такі події:

- p_1 – посадові інструкції головного механіка;
- p_2 – графік планово-профілактичних ремонтних робіт;
- p_3 – множина ремонтних бригад;
- p_4 – встановлене на хлібокомбінаті ТО;
- p_5 – ТО підприємства, яке знаходиться в робочому стані;
- p_6 – ТО, яке знаходиться в неробочому стані;
- p_7 – ТО, яке знаходиться в аварійному стані;
- p_8 – ТО не потребує капітального ремонту;
- p_9 – ТО після капітального ремонту;
- p_{10} – ТО після малого ремонту;
- p_{11} – обладнанню потрібен середній ремонт;
- p_{12} – ТО після заміни комплектуючих;
- p_{13} – потрібної для заміни деталі на складі немає;
- p_{14} – звіт про проведений планово-профілактичний ремонт;
- p_{15} – замовлення на закупівлю комплектуючих ТО;
- p_{16} – повідомлення про поломку обладнання;
- p_{17} – ТО, поставлене на незапланований ремонт;
- p_{18} – звіт про позапланові ремонтні роботи.

До множини переходів T_i належать наступні операції:

- t_1 – формування графіку планово-профілактичних ремонтних робіт;
- t_2 – огляд ТО;
- t_3 – проведення капітального ремонту;
- t_4 – проведення малого (відновлення деталей, регулювання механізмів) та середнього (відновлення точності, потужності й продуктивності обладнання шляхом заміни деталей) ремонтів;
- t_5 – заміна комплектуючих ТО;
- t_6 – формування звіту про проведений планово-профілактичний ремонт;
- t_7 – формування замовлення на закупівлю комплектуючих;

t_8 – огляд ТО після повідомлення про поломку;

t_9 – формування звіту про позапланові ремонтні роботи.

Підмодель, що включає в себе переходи $t_2 - t_7$ моделює процес проведення планово-профілактичних ремонтних робіт, тоді як підмодель переходів $t_8 - t_9$ – процес проведення незапланованих ремонтів після виявлення аварійного стану обладнання.

Результати досліджень. Для спрощення моделювання та аналізу множини станів застосовують спеціалізований пакет моделювання мереж Петрі – CPN Tools. Після побудови моделі процесу ремонтного обслуговування технологічного обладнання в CPN Tools, мережа знаходиться у «живому стані», вона не є тупиковою, тобто може бути виконана нескінченну кількість разів, і після виконання переходів маркери повертаються на свою початкову позицію.

Побудована модель відповідає реальній системі, у ній відображена структура та функціональні зв'язки змодельованої системи. Реалізація даної моделі на 150-му кроці дала змогу отримати такі результати (рис. 2). Побудована модель може бути використана для конкретної технологічної лінії або цеху шляхом задання вагових коефіцієнтів.

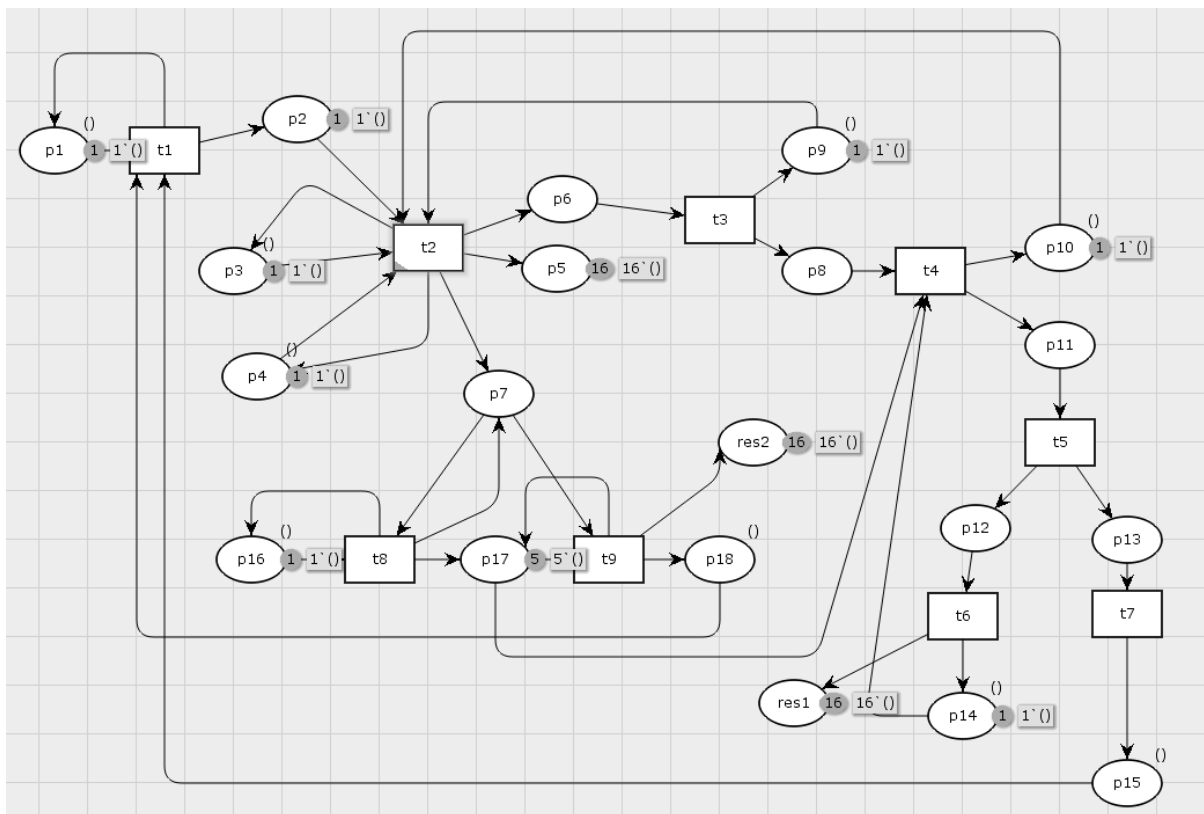


Рис. 2. Модель процесу ремонтного обслуговування технологічного обладнання в CPN Tools

Розроблена імітаційна модель дає змогу візуалізувати й здійснювати перевірку результатів призначень, отриманих на попередніх етапах, надає можливість головному інженеру оперативно оцінити вплив компонентувальних і структурних чинників використовуваних технологічних і допо-

міжних засобів (типу й розташування устаткування тощо) на завантаження обладнання і формування розкладу роботи відділу.

Імітаційне моделювання, в основному, використовується [4]:

1. При дослідженні складних внутрішніх і зовнішніх взаємодій динамічних систем задля їх оптимізації. Для цього на моделі вивчають закономірності взаємозв'язку змінних, вносять у модель зміни і спостерігають їх вплив на поведінку системи.

2. Для прогнозування поведінки системи в майбутньому на основі моделювання розвитку самої системи та її зовнішнього середовища.

3. З метою навчання персоналу, яке може бути двох типів: індивідуальне навчання оператора, що керує деяким технологічним процесом або пристроєм, і навчання групи людей, що здійснюють колективне управління складним виробничим або економічним об'єктом.

Висновки

За допомогою розробленої моделі процесу ремонту технологічного обладнання було виконано класифікацію видів ремонтних взаємозв'язків і технічного обслуговування механізмів, що встановлені та експлуатуються на хлібопекарському підприємстві.

Побудовано імітаційну модель процесу ремонтного обслуговування технологічного обладнання хлібокомбінату за допомогою мереж Петрі. Ця модель дає змогу реально оцінити процес технічного супроводження обладнання, у результаті чого, підвищується надійність роботи устаткування, зменшуються простой виробництва та забезпечується виконання робочих графіків.

Як апарат моделювання використовуються мережі Петрі – як найбільш універсальний метод формалізації імітаційних моделей.

Список літератури

1. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : Видавнича група BVH, 2005.
2. Стеценко І. В. Моделювання систем : навч. посіб. / І. В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2010.
3. Гергенов А. С. Информационные технологии в управлении : учеб. пособие. – Улан-Удэ : ВСГТУ, 2005.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХЛЕБОКОМБИНАТА С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Л. Ю. Маноха, Н. В. Лиманская, Н. А. Киктев

Аннотация. Для современного этапа развития функционирования производственного процесса характерна динамическая, ускоренная смена производственно-эксплуатационных условий. В связи с этим, особую роль приобретает способность органов управления предприятием своевременно принимать соответствующие эффективные меры.

Обеспечить информационную поддержку их выработки и обоснования призвано имитационное моделирование как основа многовариантного прогнозирования.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, технологическое оборудование, сети Петри, ремонт оборудования.*

MODELING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT REPAIR SERVICES BAKERY USING PETRI NETS

L. Manokha, N. Limanska, M. Kyktev

Annotation. *For the current stage of the production process operation characteristic dynamic, accelerated change in production and operating conditions. In this connection, a special role acquires the ability of company management to take timely adequate and effective measures. Provide information supporting their development and simulation study is intended as a basis for multivariate prediction.*

Key words: *simulation, technological equipment, Petri nets, equipment repair.*

УДК 631.371: 621.31

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ РОБОТИ ОПРОМІНЮЮЧОЇ УСТАНОВКИ ВІДКРИТОГО ТИПУ ЗАЛЕЖНО ВІД ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПРОМІНЮВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

**Т. С. Книжка, кандидат технічних наук
І. П. Назаренко, доктор технічних наук
e-mail: knizhkatatyana@mail.ru**

Анотація. *Досліджено енергоємність роботи опромінюючої установки відкритого типу. Визначено оптимальні параметри коефіцієнта світлопропускання та товщини шару опромінюваного середовища.*

Ключові слова: *опромінення водних розчинів, ультрафіолетове випромінювання, енергетична ефективність опромінення.*

Нині опромінюючі установки широко застосовуються в сільському господарстві для дезінфекції та активації рідких середовищ. [1–3]. Оскільки опромінююча установка відкритого типу зарекомендувала себе як ефективне джерело ультрафіолетового опромінення, постала необхідність визначити параметри коефіцієнта світлопропускання й товщини шару опромінюваного середовища для оптимальної енергоємності роботи установки.

Мета досліджень – визначення оптимальних параметрів коефіцієнта світлопропускання й товщини шару опромінюваного середовища та визначення показників енергоємності роботи опромінюючої установки.

DEFINITION OF THE ENERGY INTENSITY OF THE OPEN TYPE IRRADIATE INSTALLATION DEPENDING ON OPTICAL PARAMETERS IRRADIATED ENVIRONMENT

T. Knizhka, I. Nazarenko

Annotation. *Studied the energy intensity of the open type irradiate installations. Defined the optimum parameters of a coefficient of light transmission and thickness irradiated environment.*

Key words: *irradiation of water solutions, UV radiation, the energy efficiency of irradiation.*

УДК 535.37

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІРОФОСФАТІВ ЦИНКУ / МАНГАНУ

*В. В. Бойко, О. В. Гоменюк,
кандидати фізико-математичних наук
С. Г. Неділько, доктор фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Досліджено люмінесцентні властивості безводних подвійних фосфатів двовалентних металів цинку/мангану, $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Показано, що іони мангану, Mn^{2+} , у матриці дифосфату цинку формують три типи центрів випромінювання, де іон Mn^{2+} знаходиться в нормальному октаедричному оточенні; в октаедрах, що мають вакансії кисню, та в тетраедричному оточенні. З центрами першого типу пов'язується смуга червоного випромінювання з максимумом в околі 690–700 нм; центри другого типу зумовлюють довгохвильову смугу червоного випромінювання (максимум в околі 730 нм); смуга «зеленого» випромінювання (максимум в околі 450–470 нм) обумовлена центрами третього типу.*

Ключові слова: *центр люмінесценції, загасання, пастка, пірофосфат.*

Індивідуальні дифосфати цинку ($Zn_2P_2O_7$), мангану ($Mn_2P_2O_7$) та магнію ($Mg_2P_2O_7$) відомі своїми практичними застосуваннями. На їх основі виготовляють термостійкі пігменти, каталізатори, тверді електроліти, антикорозійні рідини і т. д. [1, 2]. Відомими є і їхні оптичні властивості [3, 4]. Дифосфати, які мають у своєму складі одночасно цинк і манган (мангній), вміст яких можна контролювано змінювати, мають, порівняно з індивідуальними дифосфатами, інші, для певних цілей – поліпшені фізико-хімічні, а відповідно, й експлуатаційні характеристики. Очевидно, їх оптичні, зокрема люмінесцентні властивості, також мають відрізнятися від характеристик індивідуальних дифосфатів.

Важливим аспектом є те, що дифосфати цинку допускають введення до їх складу мангану у широкому діапазоні – аж до повної заміни ним іонів цинку. Крім того, сполуки $Zn_2P_2O_7$ та тверді розчини $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ можуть існувати не тільки у вигляді безводних сполук, а й у вигляді гідратів, причому з різним і, що дуже важливо, контрольованим вмістом молекул води, що можуть модифікувати оптичні властивості дифосфатів двовалентних металів.

Відомості щодо структури, хімічних і фізичних властивостей дифосфатів, у складі яких одночасно є два катіони, Zn і Mn (Mg), стосуються, в основному, безводних твердих розчинів дифосфатів або ж гідратованих подвійних солей на основі одно- і двовалентного металу [5 – 7]. Дані щодо гідратованих твердих розчинів дифосфатів, зокрема, цинку й мангану (магнію) у літературі відсутні.

Мета досліджень – визначення люмінесцентних властивостей безводних подвійних фосфатів двовалентних металів цинку/мангану $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Такі дослідження мають не тільки науковий інтерес з позиції фізики люмінесцентних процесів у таких матеріалах, але й дають інформацію щодо структури гідратів подвійних фосфатів цинку/мангану, що відомі своїми практичними застосуваннями. Тому такі дослідження є актуальними та перспективними.

Матеріали та методика досліджень. З'ясування умов синтезу концентраційної серії зазначених дифосфатів виконувалося із застосуванням методу остаточних концентрацій. Як вихідні реагенти використовувалися водні розчини сульфатів $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ та дифосфату $K_4P_2O_7$ марки “ч.д.а”. Як оптимальні було взято наступні співвідношення у складі реагентів: $P_2O_7^{4-}/(Zn^{2+} + Mn^{2+}) = 0,2$; $k = Zn/Mn$ змінювали в межах 5,67–0,8. Безводні кристали отримували шляхом нагрівання синтезованих пентагідратів до температур $T = 853$ К.

Люмінесценція досліджувалася при $T = 4,2$, 77 та 300 К. Зразки розміщувалися в гелієвому або азотному кріостатах, у рідкому гелії або азоті за температури зразків 4,2 або 77 К, відповідно. Люмінесценцію збуджували випромінюванням лазера ИЛГИ-501 (довжина хвилі збудження $\lambda_{36} = 337,1$ нм) та випромінюванням ксенонової лампи ДКеЕл-1000 (область довжин хвиль збудження 300 – 650 нм), яке розкладали в спектр за допомогою подвійного призмового монохроматора ДМР – 4. Спектрометр ДФС – 12 (обернена лінійна дисперсія 10 Å/мм) використовували для реєстрації спектрів люмінесценції.

Сpektри люмінесценції при збудженні в області вакуумного ультрафіолету та спектри, збуджені в цій області, вимірювалися на станції SUPERLUMI синхротрону DESY в м. Гамбург (Німеччина). Сpektри люмінесценції записувалися в діапазоні довжин хвиль 275–950 нм і спектри збудження люмінесценції – у діапазоні 50–334 нм за температур від низьких (гелієвих) 10 К до 300 К.

Сpektри рентгенолюмінесценції реєструвалися за одночасного опромінення неперервним рентгенівським джерелом приблизно впродовж

1200 с, за кімнатної температури та за температури рідкого азоту ($T = 300$ і 77 К, відповідно).

Результати досліджень. Люмінесцентні властивості кристалів дифосфатів двовалентних металів $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ вивчалися в широкій області довжин хвиль збудження, $\lambda_{36} = 50 - 630$ нм, і за температур від $4,2$ до 300 К. У спектрах фотолюмінесценції (ФЛ) індивідуального дифосфату цинку, $Zn_2P_2O_7$, при $T = 300$ К спостерігається широка складна смуга синьо-рожевого випромінювання з максимумом обвідної в околі 475 нм (рис. 1, крива 1).

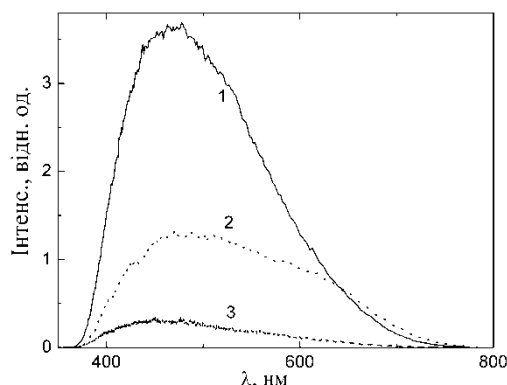


Рис. 1. Спектри ФЛ $Zn_2P_2O_7$ (1), $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (2), $Mn_2P_2O_7$ (3); $T = 300$ К, $\lambda_{36} = 337,1$ нм

З появою мангану у складі сполуки інтенсивність ФЛ падає більше, ніж удвічі. При цьому зростає відносна інтенсивність довгохвильової сторони спектра ФЛ в області $500-600$ нм, а в діапазоні, $600-750$ нм, з'являється неявно виражений компонент спектра (рис. 1, крива 2). При подальшому збільшенні вмісту Mn ($x > 1$) інтенсивність довгохвильової частини спектра ФЛ падає і для сполуки $Mn_2P_2O_7$ спектр має максимум при $450-470$ нм (рис. 1, крива 3).

Пониження температури зразків від кімнатної до 77 К супроводжується помітним (~ 6 разів) спадом інтенсивності описаної короткохвильової ФЛ, однак, водночас, в довгохвильовій області випромінювання з'являється інтенсивна смуга червоного випромінювання з максимумом, λ_M , в околі 690 нм (рис. 2).

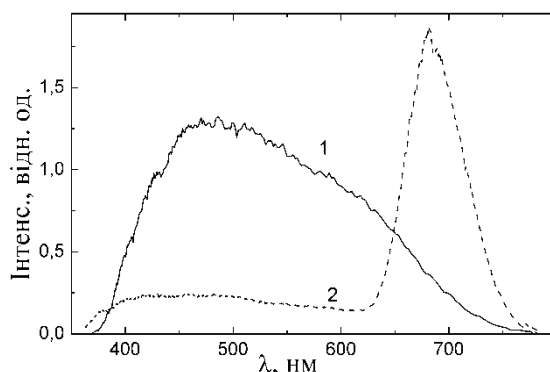


Рис. 2. Спектри ФЛ кристалів $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$; $T = 300$ (1) і 77 К (2), $\lambda_{36} = 337,1$ нм

Смуга червоного випромінювання переважає в спектрах випромінювання фосфату $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ не тільки при фотозбудженні. У спектрах рентгенолюмінесценції (РЛ) за низьких температур інтенсивність червоної смуги переважає інтенсивність короткохвильової в ~ 100 разів, а за кімнатної температури ця смуга, як і при фотозбудженні, – відсутня (рис. 3). При збудженні жорстким, вакуумним ультрафіолетом вона домінує в спектрах люмінесценції в усьому діапазоні температур: 4,2 - 300 К (рис. 3).

Інтенсивність рентгенолюмінесценції $I(\text{РЛ})$, від часу опромінення зразків рентгенівським випромінюванням порівняно не сильно залежить від типу сполуки, якщо зразки опромінюють при $T = 77$ К (рис. 4, криві 2, 3, 5), і достатньо сильно змінюється залежно від складу сполуки, якщо зразки опромінюють за кімнатної температури (рис. 4, криві 1, 4).

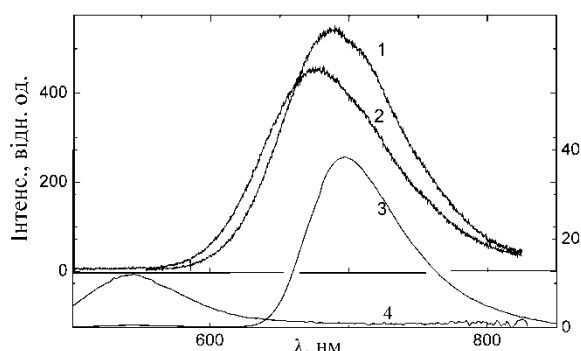


Рис. 3. Спектри люмінесценції при ВУФ збудженні (1, 2; $\lambda_{36} = 170$ нм) та спектри РЛ (3, 4) сполуки $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$; $T = 10$ (1) і 300 (2) та 77 (3) і 300 К (4).

За кімнатної температури дозова залежність $I(\text{РЛ})$ є значно сильнішою у випадку індивідуального фосфату цинку (крива 1), ніж у випадку подвійного фосфату $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ (рис. 4, крива 4).

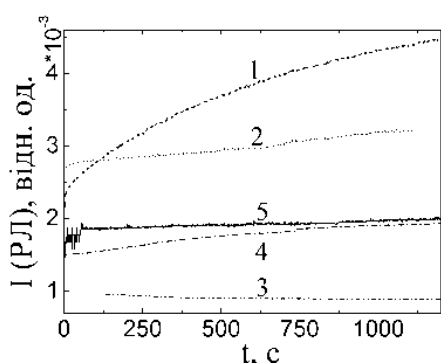


Рис. 4. Криві $I(\text{РЛ})$ для сполук $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (1, 2), $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ (3, 4) та $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (5), залежно від часу опромінення; $T = 300$ (1, 4) і 77 К (2, 3, 5)

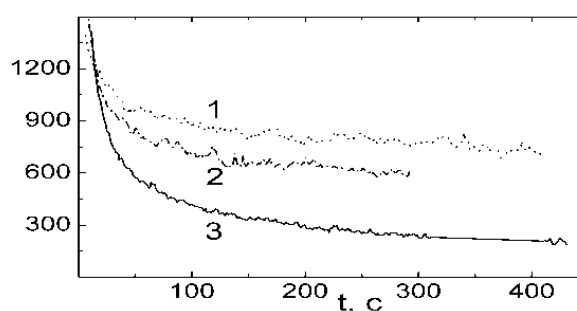


Рис. 5. Криві фосфоресценції сполук $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (1, 2), $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ (3); $T = 300$ (1) і 77 К (2, 3)

Дані рис. 4 корелюють із даними щодо впливу температури на швидкість загасання фосфоресценції: з пониженням температури зразків

$\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ від кімнатної до 77 К загасання фосфоресценції відбувається швидше (рис. 5, криві 1, 2). Заміна атомів цинку на манган також призводить до більш швидкого загасання свічення (рис. 5).

Наведені дані свідчать, що пастки, відповідальні за запасання світлосуми, як у нелегованих, так і в легованих манганом сполуках, є відносно мілкими: пониження температури до 77 К уже сильно зменшує імовірність звільнення з них носіїв. Крім того, з цих даних випливає, що іони мангану створюють нові рівні захоплення, а також ефективно взаємодіють із пастками й частину електронів із заповнених пасток вивільняють на себе, перекриваючи тим самим канал їх переходу на центри власного випромінювання матриці.

Результати досліджень кривих термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) узгоджуються із наведеними вище даними щодо поведінки кривих запасання світлосуми, кривих загасання фосфоресценції, спектрами РЛ та спектрами свічення при збудженні вакуумним ультрафіолетом. Дійсно, якщо для індивідуального фосфату $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ спостерігається два чітких піки при 140 та 184 К у низькотемпературній частині кривої ТСЛ і два невеликої інтенсивності піки в області високих температур при 265 і 295 К, то для твердого розчину $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ спектр пасток є подібним, але, значною мірою, неоднорідно розширеним: у спектрі ТСЛ спостерігається широка смуга, яка знаходиться в тому самому діапазоні температур 100–250 К, а тому її можна розглядати як утворену суперпозицією згаданих вище піків, але за умови їх енергетичної неоднорідності. Крім того, для подвійного фосфату додаються і деякі нові піки. Це, очевидно, як пік в області низьких, ~ 120 К, так і особливо піки за більш високих температур, зокрема в околі 160 та 210 К. У результаті, крива ТСЛ у цілому зміщується в область більш високих температур (рис. 6).

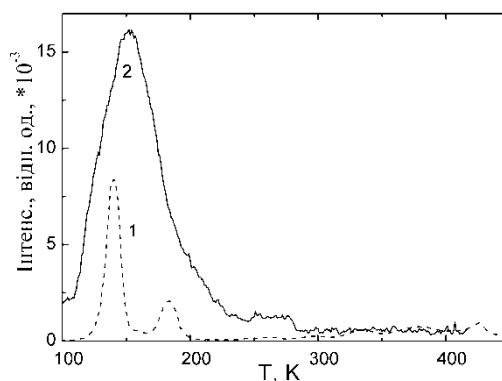


Рис. 6. Криві ТСЛ сполук $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (1) та $\text{Zn}_{1,04}\text{Mn}_{0,96}\text{P}_2\text{O}_7$ (2)

Для ТСЛ монофосфату цинку можна провести елементарні оцінки глибини рівнів захоплення, яким відповідають піки ТСЛ при 140 та 184 К.

Аналіз форми цих піків свідчить, що вони є більш протяжними з боку низьких температур, що, як відомо, є ознакою так званої лінійної кінетики ТСЛ (імовірність повторного захоплення електронів на пастки багато менша від імовірності їх рекомбінації на центрах свічення). З урахуванням цієї обставини, глибину пастки E_t можна оцінити за відомою елементарною формулою [8]:

$$E_t = \frac{2T_m^2}{\delta},$$

де T_m – положення максимуму,

δ – напівширина піка кривої ТСЛ.

Одержані за цією формулою значення становлять ~ 2100 і 2500 см^{-1} , відповідно для піків при $T = 140$ і 184 K . Як відомо, наведена вище формула для E_t дає значення, завищені на 20–40 %, порівняно із реальними, а отже, і дійсні величини E_t слід оцінювати значеннями 1500–1750 та 1780–2080 см^{-1} .

Таким чином, обидва типи сполук, без мангану та з манганом, мають подібну систему дефектів (пасток). Ця система, очевидно, є доволі складною, що зумовлює різний відгук сполуки певного складу на збудження різного типу. Так, енергія близького ультрафіолету (наприклад, 337,1 нм), у сполуках із манганом за низьких температур ефективніше потрапляє до центрів червоного свічення, ніж до центрів власного свічення, і тому в спектрах ФЛ за низьких температур спостерігається тільки червона смуга, тоді як за температур порядку кімнатної її інтенсивність дуже незначна (див. рис. 1 та рис. 2).

При високоенергетичному ВУФ збудженні, яке, очевидно, викликає міжзонні переходи, у спектрах легованих сполук, незалежно від температури зразків, в основному, виявляють довгохвильову червону смугу випромінювання, а свічення матриці – відсутнє. Очевидно, за умови низьких температур, як при «низькоенергетичному» УФ збудженні, коли вільні носії зарядів не утворюються, так і при ВУФ збудженні енергія збудження від матриці ефективно передається до домішкових іонів мангану, («пряме» збудження центрів червоної люмінесценції також, можливо, має місце). Із цього випливає, що при УФ та ВУФ збудженнях в люмінесцентних процесах беруть участь дефекти, які безпосередньо взаємодіють із центрами червоної люмінесценції.

Це, однак, мають бути дефекти різного типу, які відрізняються положенням енергетичних рівнів. Ті з них, що формують глибокі рівні, є більш ефективними при ВУФ збудженні, а дефекти з мілкими рівнями актуальні при УФ збудженні. За наявності мангану, за низьких температур енергія збудження від дефектів передається переважно на центри люмінесценції, пов'язані саме з іонами мангану, і тільки за підвищення температури до кімнатної енергія збудження дефектної матриці передається і до центрів власного свічення. Розташування рівнів дефектів на різній глибині зумовлює різну температурну поведінку червоної люмінесценції залежно від типу збудження: «високоенергетичне» ВУФ чи «низькоенергетичне» УФ збудження. У результаті, при УФ збудженні червона люмінесценція швидко загасає з підвищенням температури, при ВУФ збудженні – загасання є повільним.

Описані вище зміни кривих ТСЛ, (рис. 6), показали, що, у результаті легування фосфату цинку іонами мангану, генеруються пастки з більш глибокими рівнями. При рентгенівському збудженні, утворені вільні носії зарядів, очевидно, більш ефективно захоплюються пастками, безпосередньо зв'язаними з іонами мангану, ніж із центрами власного свічення,

унаслідок чого, за низьких температур інтенсивність червоної люмінесценції значно переважає інтенсивність власного свічення. Глибина цих пасток, як показали наведені вище результати розрахунків, є якраз такою, що може забезпечувати за кімнатної температури сильне загасання червоної РЛ і посилення власної РЛ (рис. 3).

Введення іонів мангану до складу дифосфату цинку призводить до змін, очевидно, не тільки в ансамблі дефектів кристалічної решітки. Наведені дані свідчать, що на основі іонів мангану формуються нові, домішкові, центри люмінесценції, з якими слід асоціювати смуги випромінювання в діапазоні 450 – 650 нм, (див. рис. 1, 2), та смугу червоного випромінювання з максимумом в околі 700 нм (див. рис. 2, 3). Дійсно, є загальновідомим, що «зелене» свічення в діапазоні 400–600 нм у сполуках, які містять домішковий манган, або манган, що входить до їх складу, можуть спричиняти двозарядні іони Mn^{2+} у кисневому оточенні, близькому до тетраедричного, а іони Mn^{2+} , які знаходяться в октаедричному кисневому оточенні, характеризуються червоною люмінесценцією в діапазоні 600–800 нм [1–6]. У складних матрицях, до складу яких входять комплексні оксидні молекулярні аніони, інколи одночасно виявляють центри обох типів. Наведені вище дані свідчать про можливість реалізації такої ситуації і для досліджених нами фосфатів.

Можливість одночасного формування на основі іонів мангану центрів різного типу – в октаедричному та тетраедричному оточенні, впливає з даних щодо структури дифосфатів цинку та мангану. Вважається, що в $Zn_2P_2O_7$ координаційне число для цинку дорівнює 5 або 6 [9]. Подібну невизначеність можна розглядати як наслідок існування в матриці дифосфату цинку поліедрів, що містять іони цинку, переважно з кількістю атомів кисню: 4 та 6. Така можливість, на наш погляд, зумовлена вже вихідною будовою решітки кристала $Zn_2P_2O_7$, в якій існує два нееквівалентних атоми цинку і, якщо один із них має здатність легше, ніж інший, втрачати два атоми кисню, то в решітці будуть існувати кисневі поліедри переважно двох типів. Не виключено, що певною мірою в структурі решітки представлено і поліедри з п'ятьма атомами кисню, які можна розглядати як дефектні октаедри.

Якщо іони мангану в оточенні чотирьох атомів кисню є центрами «зеленої» люмінесценції, то характеристики свічення тих, що знаходяться в середині поліедрів із п'яти киснів, можуть бути близькими до характеристик октаедричних центрів. Аналіз червоної люмінесценції підтверджує, що спостережене нами червоне випромінювання дійсно є складним.

По-перше, про це свідчить різна температурна поведінка червоного випромінювання залежно від типу збудження: УФ, ВУФ або ж рентгенівське. По-друге, смуги цього випромінювання при різного типу збудженнях хоча і мають дуже близькі положення максимумів, однак форма смуг помітно відрізняється. Так, при ВУФ збудженні, контур смуги (крива 1 на рис. 3) описується однією широкою ($\delta = 1770 \text{ см}^{-1}$) гаусової форми кривою з $\nu_m = 14370 \text{ см}^{-1}$ ($\lambda_m = 696 \text{ нм}$); УФ збудження призводить до асиметричної кривої (крива 2 на рис. 2) в якій домінує значно вузький ($\delta = 1120 \text{ см}^{-1}$)

компонент гаусової форми з $\nu_M = 14580 \text{ см}^{-1}$ ($\sim 686 \text{ нм}$), із доданком ще одного довгохвильового контуру: $\nu_M = 13700 \text{ см}^{-1}$ ($\lambda_M = 730 \text{ нм}$); $\delta = 640 \text{ см}^{-1}$). У спектрі при рентгенівському збудженні (крива 3 на рис. 3) також маємо суму двох гаусових контурів із максимумами при 14425 см^{-1} (693 нм) та 13690 см^{-1} (730 нм) і напівширинами 990 та 1490 см^{-1} . Розклад згаданих спектрів на складові показано на рис. 7.

Формування поліедрів з кількістю атомів кисню менше, ніж 6, означає існування в решітці кристалів певної кількості кисневих вакансій, які можуть бути ядрами центрів власної люмінесценції дифосфатів. З наведених даних зрозуміло, що співвідношення кількості дефектів та домішкових центрів випромінювання, зумовлених манганом, має впливати на люмінесцентні характеристики досліджених сполук. Важливим є і сам тип дефекту, від якого може залежати конкурентоспроможність каналів передачі енергії збудження: до центрів власного свічення (загасання), чи то до центрів домішкової люмінесценції.

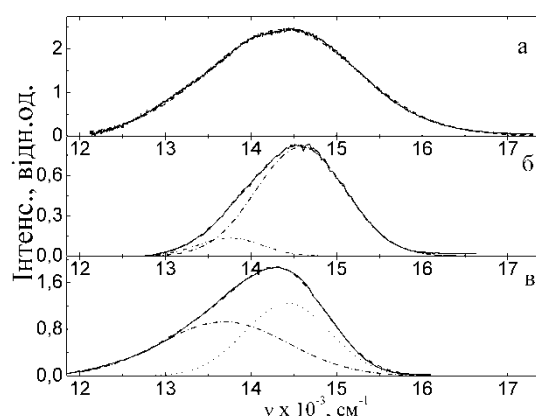


Рис. 7. Розклад спектрів люмінесценції на гаусові складові:

а) при УФ збудженні: спектр 2 з рис. 2; б) при ВУФ збудженні: спектр 1 з рис. 3;
в) при рентгенівському збудженні: спектр 3 з рис. 3

Висновки

Наведені результати дають змогу стверджувати, що домішкові іони мангану, Mn^{2+} , у матриці дифосфату цинку формують три типи центрів випромінювання: Mn^{2+} в октаедричному оточенні, таких центрів має бути переважна більшість; іони Mn^{2+} з дефектами у вигляді вакансій кисню в їх октаедричному оточенні та іони Mn^{2+} у тетраедричному оточенні. З центрами першого типу пов'язується смуга червоного випромінювання з максимумом в околі $690\text{--}700 \text{ нм}$, яка переважає в усіх наведених спектрах; центри другого типу зумовлюють довгохвильову смугу червоного випромінювання (максимум в околі 730 нм); смугу «зеленого» випромінювання слід зіставляти з центрами третього типу. Дефекти іншого типу, ніж кисневі вакансії у першій координаційній сфері іонів мангану та віддалені дефекти, очевидно, спричиняють неоднорідне розширення смуг червоного випромінювання.

Одним із чинників, які можуть впливати на характеристики процесів люмінесценції, безумовно, є молекули води, атоми яких можуть входити до найближчого оточення двовалентного металу решітки. Тому в частині

2 цієї роботи буде розглянуто основні прояви впливу води на люмінесцентні властивості сполук $Zn_{2x}Mn_xP_2O_7$.

Список літератури

1. Arthur L. Smith. Luminescence of three forms of Zinc Orthophosphate: Mn // J. of the Electrochemical Society. – 1951. – V. 98, № 9. – P. 363–368.
2. B. Han, R. Y. Korotkov, B. W. Wessels, M. P. Ulmer Optical properties of Mn^{4+} ions in GaN:Mn codoped with Mg acceptors // Applied Physics Letters. – 2004. – V. 84, Is. 26. – P. 5320–5322.
3. Muuga I. A., Lushchik N. E. The sensitized luminescence of the $Ca_3(PO_4)_2$ - Ga, Mn and $Ca_3(PO_4)_2$ -In, Mn // Research on the luminescence / Proceedings of the Institute of Physics and Astronomy, Academy of Sciences of the Estonian SSR / Tartu. – 1962. – V. 21. – P. 51. (in Russian).
4. J. Lakshmana Rao, B. Deva Prasad Raju, N. O. Gopul, K. V. Narasimhulu. Electron paramagnetic resonance and optical absorption studies on Mn^{2+} ions doped in $KZnClSO_4 \cdot 3H_2O$ single crystals // Physica B. – 2005. – V. 355. – P. 207–215.
5. A. Patra, Gary A. Baker, Sheila N. Baker. Effects of dopand concentration and annealing temperature on the phosphorence from $Zn_2SiO_4:Mn^{2+}$ nanocrystals // Journal of Luminescence. – 2005. – V. 111. – P. 105–111.
6. Fuhai Su, Baoshan Ma, Kun Ding [et al.]. Luminescence temperature and pressure studies of Zn_2SiO_4 phosphors doped with Mn^{2+} and Eu^{3+} ions // Journal of Luminescence. – 2006. – V. 116. – P. 117–126.
7. Crispin Calvo. The crystal structure and phase transitions of β - $Zn_2P_2O_7$ / Crispin Calvo // Canad. J. of Chem. – 1965. – V. 43. – P. 1147–1153.
8. Kaminskiy A. A. The laser crystals. – Moscow : Nauka, 1975. – 268 p.
9. Constant Z. A. Divalent metal phosphates. – Riga : Zinatne, 1987. – 371 p.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПИРОФОСФАТОВ ЦИНКА / МАРГАНЦА

В. В. Бойко, О. В. Гоменюк, С. Г. Недилько

Аннотация. Исследованы люминесцентные свойства безводных двойных фосфатов двухвалентных металлов цинка / марганца, $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Показано, что ионы марганца, Mn^{2+} , в матрице дифосфата цинка формируют три типа центров излучения, где ион Mn^{2+} находится в нормальном октаэдрическом окружении; в октаэдрах, имеющих вакансии кислорода, и в тетраэдрическом окружении. С центрами первого типа связывается полоса красного излучения с максимумом в окрестности 690–700 нм; центры второго типа обуславливают длинноволновую полосу красного излучения (максимум в окрестности 730 нм), полоса «зеленого» излучения (максимум в окрестности 450–470 нм) обусловлена центрами третьего типа.

Ключевые слова: центр люминесценции, затухание, ловушка, пирофосфат.

THE LUMINESCENCE PROPERTIES Zn/Mn PYROPHOSPHATE

V. Boyko, O. Gomenyuk, S. Nedilko

Annotation. *Luminescence properties of two valence metals anhydrous double phosphates $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$) have been investigated. It was shown that Mn^{2+} ions form three types of the emission centers where Mn^{2+} ion can be located, first in the regular octahedral oxygen environment, second, in defect octahedra that has oxygen vacancy, and third, – in the tetrahedral oxygen environment. Red emission with peak position near 690–700 nm is accompanied with the first type of luminescence centers; second type of the centers determines other red luminescence (peak position is near 730 nm) and third type of the centers originates “green” emission (peak position is about 450–470 nm).*

Key words: *luminescence centre, decay, trap, pyrophosphate.*

УДК 621.314.55(088.8)

ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ТРАНСФОРМАТОР ІЗ ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ СТРУМУ ЗВАРЮВАННЯ

*М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
І. С. Зубков, студент магістратури
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Наведено конструкцію зварювального трансформатора, запропоновано спосіб плавного регулювання струму зварювання, виконано розрахунки параметрів магнітопроводу для регулювання струму зварювання.*

Ключові слова: *зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання, первинна обмотка, вторинна обмотка.*

Зварювальні трансформатори, які широко використовують у виробництві, мають серйозні недоліки щодо регулювання величини струму зварювання. Традиційно таке регулювання здійснюється механічними механізмами, за допомогою яких змінюють величину проміжку у магнітопроводі або між його обмотками. Механічні механізми ненадійні та потребують більш ретельного технічного обслуговування (регулювання, змащення). До того ж, електрична суть регулювання величини струму зварювання полягає у збільшенні (максимальний струм) чи зменшенні (мінімальний струм) магнітного потоку розсіювання, тобто втратами електроенергії. Магнітні поля розсіювання, замикаючись через металеві частини транс-

THE LUMINESCENCE PROPERTIES Zn/Mn PYROPHOSPHATE

V. Boyko, O. Gomenyuk, S. Nedilko

Annotation. *Luminescence properties of two valence metals anhydrous double phosphates $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$) have been investigated. It was shown that Mn^{2+} ions form three types of the emission centers where Mn^{2+} ion can be located, first in the regular octahedral oxygen environment, second, in defect octahedra that has oxygen vacancy, and third, – in the tetrahedral oxygen environment. Red emission with peak position near 690–700 nm is accompanied with the first type of luminescence centers; second type of the centers determines other red luminescence (peak position is near 730 nm) and third type of the centers originates “green” emission (peak position is about 450–470 nm).*

Key words: *luminescence centre, decay, trap, pyrophosphate.*

УДК 621.314.55(088.8)

ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ТРАНСФОРМАТОР ІЗ ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ СТРУМУ ЗВАРЮВАННЯ

*М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
І. С. Зубков, студент магістратури
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Наведено конструкцію зварювального трансформатора, запропоновано спосіб плавного регулювання струму зварювання, виконано розрахунки параметрів магнітопроводу для регулювання струму зварювання.*

Ключові слова: *зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання, первинна обмотка, вторинна обмотка.*

Зварювальні трансформатори, які широко використовують у виробництві, мають серйозні недоліки щодо регулювання величини струму зварювання. Традиційно таке регулювання здійснюється механічними механізмами, за допомогою яких змінюють величину проміжку у магнітопроводі або між його обмотками. Механічні механізми ненадійні та потребують більш ретельного технічного обслуговування (регулювання, змащення). До того ж, електрична суть регулювання величини струму зварювання полягає у збільшенні (максимальний струм) чи зменшенні (мінімальний струм) магнітного потоку розсіювання, тобто втратами електроенергії. Магнітні поля розсіювання, замикаючись через металеві частини транс-

форматора, породжують вихрові струми (струми Фуко), що нагрівають трансформатор.

Мета досліджень – обґрунтування конструкції зварювального трансформатора та параметрів системи регулювання струму зварювання.

Матеріали та методика досліджень. Конструкція трансформатора для зварювання з мінімальними магнітними потоками розсіювання, що підвищує його коефіцієнт корисної дії (ККД), зменшеними масою та габаритами, а також пристроєм плавного регулювання зварювального струму шляхом взаємокомпенсації складових магнітного потоку наведена на рис.1.

У трансформаторі для зварювання, який складається з основного кільцевого магнітопроводу I, на який намотана первинна обмотка 1, та другого кільцевого магнітопроводу II, на який намотана обмотка регулювання величини струму зварювання 3. Магнітопроводи зв'язані між собою вторинною обмоткою 2, яка намотана поверх первинної та регулювальної і є спільною для обох магнітопроводів. До виводів вторинної обмотки 2 приєднується зварювальний електрод. Виводи регулювальної обмотки 3 приєднані до пристрою, який дає змогу плавно змінювати струм в обмотці. Це можуть бути тиристорні регулятори, а також реостати.

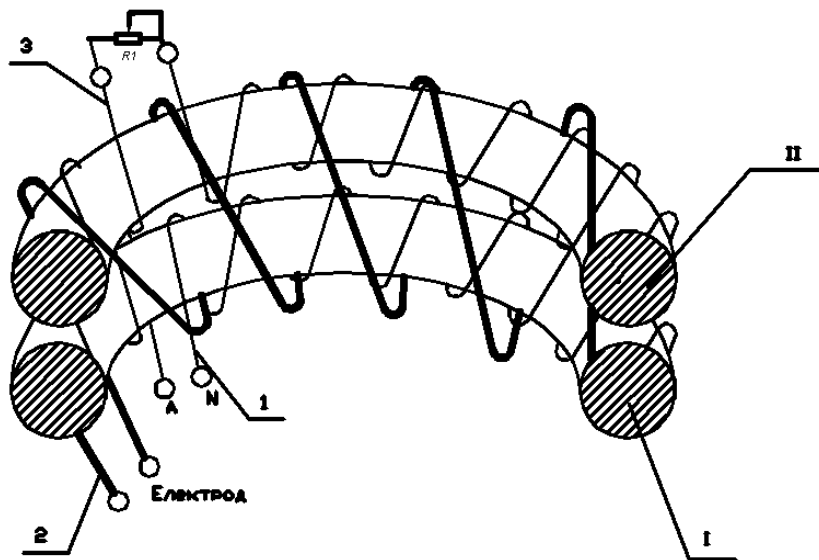


Рис. 1. Конструкційне виконання зварювального трансформатора

Магнітопровід II доцільно розміщувати на магнітопроводі I, прийнявши зовнішні та внутрішні діаметри однаковими. Поліпшується тепловий режим за тривалої роботи пристрою. Плавно змінюючи струм в обмотці регулювання (змінним опором або електронними пристроями регулювання) змінюємо величину індуктивного опору вторинної обмотки, а отже, отримуємо діапазон плавного регулювання зварювального струму.

На рис. 2 наведена принципова електрична схема пристрою.

Зварювальний трансформатор працює так. До первинної обмотки 1 від електричної мережі подається напруга. По ній буде протікати струм, намагнічуючи магнітопровід I. У вторинній обмотці 2 буде наводитись електрорушійна сила (ЕРС). При замиканні кінців обмотки через зварю-

вальний електрод буде протікати струм, величина якого буде обмежуватись індуктивним опором, що створює магнітопровід II. Магнітний потік магнітопроводу II буде наводити в обмотці регулювання 3 ЕРС. При замиканні її на змінний опір або інший елемент, що дозволяє змінювати величину струму, в ній буде протікати струм, який можна плавно регулювати. Цей струм створює складову магнітного потоку, яка взаємодіє з основним магнітним потоком магнітопроводу II, змінюючи таким чином індуктивний опір обмотки 3 в бік його зменшення. Струм зварювання при цьому збільшиться.

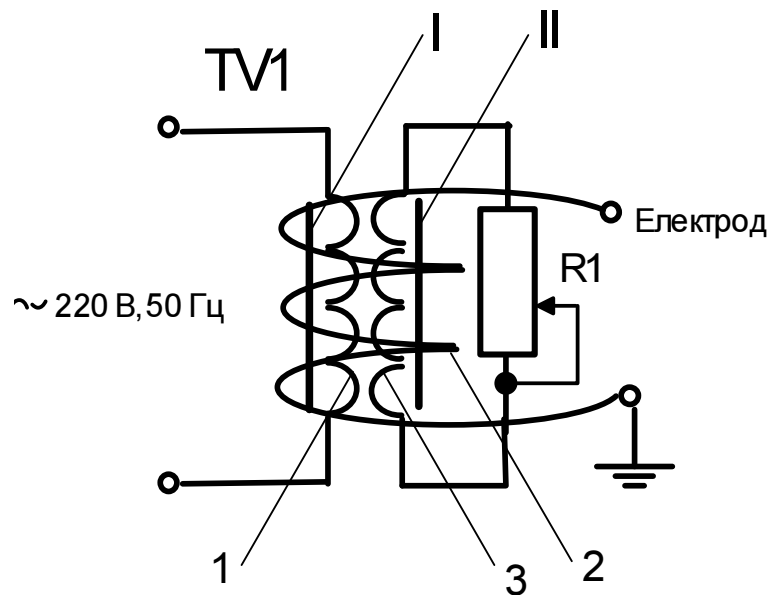


Рис. 2. Принципова електрична схема зварювального трансформатора

Результати досліджень. Мінімальний зварювальний струм має забезпечити магнітопровід II, який охоплюється вторинною обмоткою трансформатора. Вторинна обмотка трансформатора, при розімкненій обмотці регулювання, навантажена на індуктивний опір. Величину падіння напруги на цьому опорі знайдемо з рівняння напруг вторинної обмотки.

$$U_2 = I_{2min} \cdot Z_{2тр} + I_{2min} \cdot r_{ел} + I_{2min} \cdot Z_{тор} + U_d, \quad (1)$$

де $Z_{2тр}$ – опір вторинної обмотки трансформатора, Ом, знаходимо з дослідів короткого замикання;

$Z_{2тр} = 0,0884$ Ом; $r_{ел}$ – опір електрода, Ом; для електрода діаметром 2 мм $r_{ел} = 0,013$ Ом;

$Z_{тор}$ – повний опір магнітопроводу II, Ом;

U_d – напруга зварювальної дуги, В; $U_d = 20 \dots 25$ В.

$$U_{тор} = I_{2min} \cdot Z_{тор} = U_2 - I_{2min} \cdot Z_{2тр} - I_{2min} \cdot r_{ел} - U_d. \quad (2)$$

Струм зварювання, протікаючи по вторинній обмотці, у магнітопроводі II створює магнітний потік Φ_p . Величину індуктивного опору цього магнітопроводу, а відповідно, і його товщину h_p , знайдемо наступним чином.

За законом повного струму, середня напруженість магнітного поля

$$H = \frac{I_{2min} \cdot \omega}{2\pi R}, \quad (3)$$

де R – радіус середньої магнітної лінії магнітопроводу II, м.

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}, \quad (4)$$

де R_1 – внутрішній радіус кільця магнітопроводу м;

R_2 – зовнішній радіус кільця магнітопроводу м;

Знаючи марку сталі (2411 – холоднокатана ізотропна, легована кремнієм 2,8÷4,8%. Питомі втрати в сталі при магнітній індукції 1,5 Тл, для частоти 50 Гц ($P_{1,5/50}$) становлять 1,3 Вт/кг), по кривій намагнічування знаходимо величину магнітної індукції B .

Оскільки вторинна обмотка виконана мідним проводом великого перерізу, то падінням активної складової напруги можна знехтувати. З деякими припущеннями можна вважати, що падіння напруги на магнітопроводі II рівне

$$U_{top} = I_{2min} \cdot \omega L = I_{2min} \cdot 2\pi f L, \quad (5)$$

де f – частота змінного струму, Гц; $f = 50$ Гц;

L – індуктивність обмотки регулювання, Гн.

Згідно з [1], індуктивність для кільцевого магнітопроводу визначається з виразу:

$$L = \frac{\omega^2 \mu_0 h}{2\pi} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (6)$$

де h – висота магнітопроводу II, м;

R_1 – внутрішній радіус кільця магнітопроводу, м;

R_2 – зовнішній радіус кільця магнітопроводу, м.

Величину μ_0 виразимо через величини магнітної індукції B та напруженості магнітного поля H згідно з таблицею намагнічування сталі [3].

Тоді висота тороїда

$$h = \frac{(U_2 - I_{2min} \cdot Z_{2tp} - I_{2min} \cdot r_{ел} - U_d) \cdot H}{f \cdot \omega^2 \cdot B \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} \cdot I_{2min}}. \quad (7)$$

Діаметри магнітопроводу II, виходячи з конструкційної доцільності, приймаємо рівними діаметрам магнітопроводу I.

Вихідні дані для розрахунку:

- напруга вторинної обмотки – $U_2 = 60$ В;
- мінімальний струм зварювання $I_{2min} = 60$ А;
- максимальний струм зварювання $I_{2man} = 120$ А;
- напруга горіння дуги $U_d = 20 \dots 25$ В;
- зовнішній та внутрішній діаметри магнітопроводу $d_3 = 0,246$ м, $d_в = 0,162$ м;
- кількість витків вторинної обмотки $\omega = 96$ витків;
- опір електрода $r_{ел} = 0,013$ Ом;

Підставивши їх у (7), отримаємо товщину кільця магнітопроводу II; $h = 15,7 \cdot 10^{-3}$ м. Площа поперечного перерізу $S_{II} = 6,6 \cdot 10^{-4}$ м², що в 7,4 раза менше від основного магнітопроводу.

Висновки

1. Запропоновано конструкцію зварювального трансформатора з плавним регулюванням величини струму зварювання.

2. Наведено методику розрахунку параметрів магнітопроводу для плавного регулювання струму зварювання.

Список літератури

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1973. – 750 с.
2. Вольдек А. И. Электрические машины : учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений / А. И. Вольдек [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Энергия, 1974. – 840 с.
3. Гольберг О. Д. Проектирование электрических машин : учеб. для втузов / О. Д. Гольберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М. : Высш. шк., 1984. – 431 с.
4. Пат. 72397 України МПК Н 01 F 30/06/ Трансформатор для зварювання / Васьковський Ю. М., Брагіда М. В., Чуєнко Р. М., Брагіда Є. М. ; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № 201014661 ; заявл. 06. 12. 10 ; опубл. 27. 08 12, Бюл. № 16.

СВАРОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СВАРОЧНОГО ТОКА

М. В. Брагида, И. С. Зубков

Аннотация. *Приведена конструкция сварочного трансформатора, предложен способ плавного регулирования сварочного тока, выполнен расчет параметров магнитопровода.*

Ключевые слова: *сварочный трансформатор, тороид, магнитопровод, обмотка регулирования, первичная обмотка, вторичная обмотка.*

THE WELDING TRANSFORMER WITH SMOOTH REGULATING OF A WELDING CURRENT

M. Bragida, I. Zubkov

Annotation. *The design of the welding transformer is resulted, the way of smooth regulating of a welding current is offered, calculation of parameters of a magnetic circuit is executed.*

Key words: *the welding transformer, ring magnetic, circuit magnetic, regulating winding, primary winding, the secondary winding.*

КОМБІНОВАНЕ СПАЛЮВАННЯ СУМІШІ ПРИРОДНОГО ТА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ

В. А. Колієнко, асистент

Т. А. Галінська, О. В. Шеліманова, кандидати технічних наук

e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. Запропоновано спосіб спалювання суміші генераторного і природного газу у широких межах їх кількісного співвідношення з використанням одного газопальникового пристрою.

Ключові слова: генераторний газ, дифузійний пальник, дальнобійність струмин, стабілізатор горіння.

Технології виробництва горючого газу шляхом газифікації біомаси чи твердих побутових відходів є найбільш прийнятним способом використання наявної біомаси в енергетичних цілях, але потребують постійного вдосконалення у зв'язку з недостатньо високою ефективністю процесу.

Спалювання синтез-газу, замість природного, хоч і має деякі технічні обмеження, проте забезпечує економію коштів, обсяг якої залежить від джерела біомаси що газифікується. Технології газифікації та спалювання генераторного газу є найбільш доцільними для споживачів, що мають власне джерело біомаси як відходи різного походження.

Мета досліджень – розробка конструкції пальника, який повинен забезпечити комбіноване спалювання суміші природного й генераторного газу.

Матеріали та методика досліджень. Серед основних відмінностей генераторного газу від природного відзначається [3], що генераторний газ має значно меншу теплоту згорання (близько 5500 кДж/м^3 проти 36000 кДж/м^3 для природного газу), ширші межі спалахування ($\alpha_{\text{в}}=0,375$ та $\alpha_{\text{н}}=4,15$ для генераторного газу проти $\alpha_{\text{в}}=0,6$ та $\alpha_{\text{н}}=2$ для природного).

Ефективними пальниками для стійкого спалювання газу з такими горючими властивостями і широким діапазоном меж спалахування, як генераторний газ, є дифузійні пальники, що обладнані вентиляторами та димососами з частотними регуляторами для якісного реагування на зміни у складі горючого газу [1, 4]. Для цього можна було скористатися подовгими дифузійними пальниками, але не у всіх топкових пристроях можливе розміщення таких пальників. Тому в основу конструкції пальника для комбінованого спалювання природного й генераторного газів було покладено принцип дуттьового кінетичного пальника із примусовою подачею повітря без попереднього змішування.

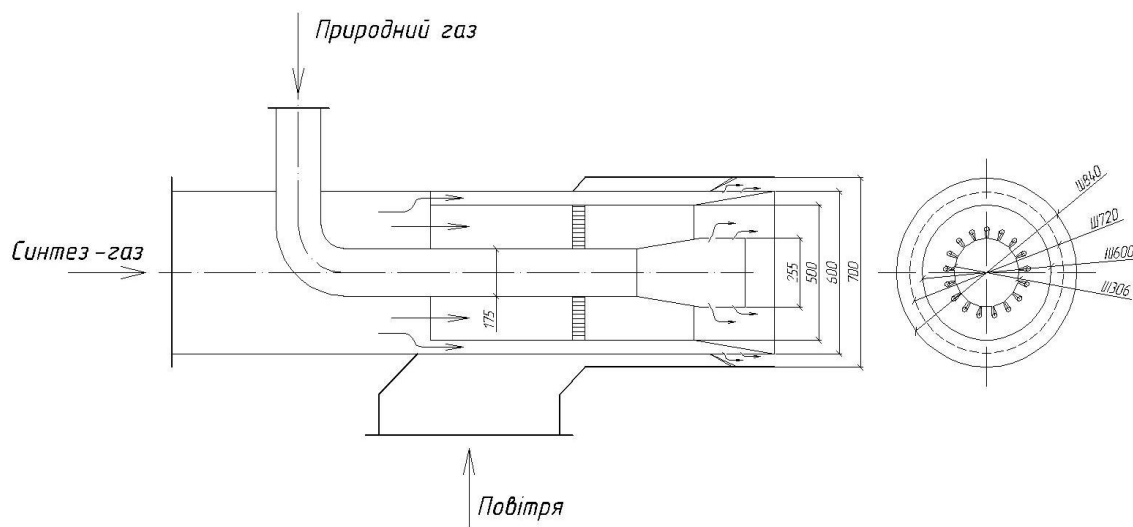
Враховуючи економічну доцільність збільшення частки генераторного газу у суміші ($r_{\text{гр}}$) та, разом з тим, істотне погіршення горючих характеристик суміші [3], мінімальна частка природного газу в суміші була обме-

жена на рівні 15%. За таких умов межі спалахування вдається утримати на рівні $\alpha_H=2,8$, $\alpha_B=0,51$, $\Delta\alpha=2,29$. Це у 1,7 раза менше порівняно з чистим генераторним газом.

Таке співвідношення дає можливість організувати стійке горіння і виконати розрахунок газового пальника, який повинен забезпечити як спільне спалювання природного газу та синтез-газу у суміші, так і спалювання чистого природного газу (у разі тимчасової відсутності генераторного). Подача природного і генераторного газів передбачається при цьому по окремих каналах.

Утворення суміші газів та їх перемішування з повітрям буде здійснюватись у тунелі пальника і в самій топці.

Схему такого пальника показано на рисунку.



Пальник для комбінованого спалювання суміші природного та генераторного газу

Результати досліджень. В основу розрахунку пальника [2] покладено принцип забезпечення необхідної дальності струмін природного і генераторного газу, що перевірялося згідно із залежністю

$$h = d_0 \cdot \sin \beta \cdot k_s \cdot \frac{W_r}{W_{\text{пов}}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{\rho_{\text{пов}}}};$$

де $\sin \beta$ – $\sin$ кута атаки газових струмін природного і генераторного газу повітряного потоку;

k_s – коефіцієнт кроку вогневих отворів;

h – дальність газових струмін, мм;

d_0 – діаметр вогневих отворів, мм;

W_r – швидкість витікання горючого газу із вогневих отворів, м/с;

W_o – швидкість повітря, м/с.

Генераторний газ, кількість якого у суміші з природним, може становити від 0 до 85 %, подається через два ряди радіальних отворів у корпусі пальника а також по кільцевому зазору між трубопроводом для подачі

природного газу й корпусом та ефективно перемішується з дуттьовим повітрям за рахунок забезпечення необхідної дальності газових струмин. У гирлі пальника відбувається інтенсивне перемішування природного і генераторного газу. Гомогенізація суміші з дуттьовим повітрям завершується на виході з вогнетривкого тунелю пальника – стабілізатора горіння. Тривалий міжремонтний період роботи пальника і тунелю забезпечується за рахунок периферійної подачі дуттьового повітря.

Випробування моделі пальника свідчать про його стійку роботу у широкому діапазоні регулювання витрат і співвідношення різних горючих газів.

Висновки

Запропоновано принцип комбінованого спалювання газів зі змінними фізико-хімічними характеристиками, який полягає у використанні кінетичного принципу згорання з примусовою подачею повітря без попереднього змішування. Визначене оптимальне співвідношення між природним і генераторним газом, яке дає можливість організувати стійке горіння та виконати розрахунок газового пальника, що повинен забезпечити як спільне спалювання газів, так і винятково природного. Подача природного й генераторного газів передбачається у пальнику по окремих каналах. Утворення суміші газів та їх перемішування з повітрям буде здійснюватись у тунелі пальника і в самій топці. Виконано розрахунок такого пальника для спалювання генераторного газу повітряної газифікації.

Проведені дослідження дають можливість реалізувати процес спалювання генераторного або іншого виду штучних газів у пальниках, в яких можливе також спалювання чистого природного газу. Це створює передумови для ефективного використання альтернативних джерел енергії у вигляді штучних газів у комбінованих котельних без значної їх реконструкції та монтажу вартісних твердопаливних котлів. Те, що основний (штучний газ) і дублюючий (природний газ) вид палива у складі котельних централізованих систем теплопостачання є газоподібними, дає можливість зменшити вартість таких джерел теплоти й підвищити їх доступність.

Список літератури

1. Альбом промышленных горелочных устройств прошедших государственные испытания в 1991–1994 гг. / Государственный центр по испытанию и внедрению топливоиспользующего оборудования г. Киев. – К. : Государственный центр по испытанию и внедрению топливоиспользующего оборудования, 1994. – 45 с.
2. Иванов Ю. В. Основы расчета и проектирования газовых горелок / Ю. В. Иванов. – М. : Гостоптехиздат, 1963. – 360 с.
3. Колієнко В. А. Особливості спалювання горючих газів із змінними характеристиками процесу горіння / В. А. Колієнко, О. В. Шеліманова // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – № 209/2. – С. 181–188.
4. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики) / [Винтовкин А. А., Ладыгичев М. Г., Гусовский В. Л., Усачёв А. Б.]. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 496 с.

КОМБИНИРОВАННОЕ СЖИГАНИЕ СМЕСИ ПРИРОДНОГО И ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

В. А. Колиенко, Т. А. Галинская, Е. В. Шелиманова

Аннотация. Предложен способ сжигания смеси генераторного и природного газа в широких пределах их количественного соотношения с использованием одного газогорелочного устройства.

Ключевые слова: генераторный газ, диффузная горелка, дальнобойность струй, стабилизатор горения.

COMBINED BURNING OF MIXTURE OF NATURAL AND PRODUCER GASES

V. Koliyenko, T. Galinska, O. Shelimanova

Annotation. Provides a method of generating and burning of natural gas in a wide range of the proportion of gas burners using a single device.

Key words: producer gas, diffusion burner, jet's long range, burning stabilizer.

УДК 621.3.066.5/6:636

СТАН ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

*В. В. Коробський, кандидат технічних наук
О. О. Чернобай, студент магістратури
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Наведено результати стану експлуатації електромагнітних пускачів різних типів, що експлуатуються в аграрному секторі країни. Проаналізовано причини несправностей, структуру відмов пускачів у реальних умовах, нормативні та фактичні значення параметрів навколишнього середовища, в якому працюють пускачі в сільському господарстві.

Ключові слова: експлуатація, електромагнітний пускач, показник надійності, відмова, параметри навколишнього середовища.

Наприкінці минулого століття і на початку 2000-х років промисловість випускала понад 100 типів комплектних пристроїв керування для різних галузей сільського господарства і різноманітна номенклатура основних серій і типовиконань пускачів (понад 100). Обсяг виробництва

КОМБИНИРОВАННОЕ СЖИГАНИЕ СМЕСИ ПРИРОДНОГО И ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

В. А. Колиенко, Т. А. Галинская, Е. В. Шелиманова

Аннотация. Предложен способ сжигания смеси генераторного и природного газа в широких пределах их количественного соотношения с использованием одного газогорелочного устройства.

Ключевые слова: генераторный газ, диффузная горелка, дальнобойность струй, стабилизатор горения.

COMBINED BURNING OF MIXTURE OF NATURAL AND PRODUCER GASES

V. Koliyenko, T. Galinska, O. Shelimanova

Annotation. Provides a method of generating and burning of natural gas in a wide range of the proportion of gas burners using a single device.

Key words: producer gas, diffusion burner, jet's long range, burning stabilizer.

УДК 621.3.066.5/6:636

СТАН ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

*В. В. Коробський, кандидат технічних наук
О. О. Чернобай, студент магістратури
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Наведено результати стану експлуатації електромагнітних пускачів різних типів, що експлуатуються в аграрному секторі країни. Проаналізовано причини несправностей, структуру відмов пускачів у реальних умовах, нормативні та фактичні значення параметрів навколишнього середовища, в якому працюють пускачі в сільському господарстві.

Ключові слова: експлуатація, електромагнітний пускач, показник надійності, відмова, параметри навколишнього середовища.

Наприкінці минулого століття і на початку 2000-х років промисловість випускала понад 100 типів комплектних пристроїв керування для різних галузей сільського господарства і різноманітна номенклатура основних серій і типовиконань пускачів (понад 100). Обсяг виробництва

пускатів досягав приблизно 17...19 млн шт. за рік [1] (із них 8,9 млн шт. припадало на пускаті з $I_{ном} \leq 10A$) [10].

Аналіз найпоширеніших 17 типових проектів тваринницьких приміщень і ферм, на базі яких створювалися тваринницькі комплекси за часів СРСР, свідчить, що 90% використовуваних комутаційних апаратів – це апарати зі струмовим навантаженням до 25 А, стосовно пускатів – це пускаті 0, 1, 2 величин.

Мета досліджень – визначення реального стану експлуатації електромагнітних пускатів, що експлуатуються в аграрному комплексі України та пропозиція заходів, спрямованих на зменшення відмов пускатів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження стану експлуатації пускатів проводилися для всіх типів пускатів, які експлуатуються в господарствах України. Для кількісного опису стану системи пускача застосовується математичний апарат теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів.

Результати досліджень. При конструюванні пускатів ставляться такі експлуатаційні та спеціальні вимоги [8]:

- а) врахування впливів умов навколишнього середовища;
- б) значний термін служби, надійність, безвідмовність;
- в) простота й зручність спостереження, огляду і заміни запчастин, ремонтпридатність;
- г) низькі експлуатаційні витрати, в тому числі, мале споживання електроенергії пускачем;
- д) забезпечення нормальних умов праці обслуговуючого персоналу (ергономічних, естетичних);
- е) безпечність під час виробництва, монтажу, експлуатації.

Пускаті повинні виготовлятися та експлуатуватися згідно з [9], технічними описами та інструкціями з експлуатації конкретних типів пускатів. Як правило, технологічне обладнання, призначене для тваринницьких ферм і комплексів комплектується пускачами загальнопромислового призначення, класу зносостійкості Б, В. Такі пускаті не придатні до тривалої роботи в специфічних умовах сільського господарства, тому що не відповідають вимогам щодо захисту від впливу навколишнього середовища (до 30% всіх відмов) [5, 9], виходять з ладу раніше, ніж напрацюють визначений ресурс зносостійкості. Вітчизняна електротехнічна промисловість, на жаль, не випускає пускаті сільськогосподарського призначення, на відміну від електродвигунів.

Умови експлуатації пускатів у сільському господарстві відрізняються від умов їх роботи на виробництві. На виробничих підприємствах більшість пускатів знаходиться в нормальних умовах навколишнього середовища і вони працюють в режимах, які передбачені держстандартами й технічними умовами, напруга трифазної мережі при цьому стабільна і симетрична. Обслуговує ці пускаті та мережі, як правило, висококваліфікований персонал, проводяться заходи, передбачені вимогами системи планово-запобіжних ремонтів і технічного обслуговування.

У сільськогосподарському виробництві більшість пускачів знаходиться в складних умовах експлуатації, функціонують вони в ненормальних режимах роботи, (повторно-короткотривалому з великими перервами); підведена напруга мережі часто нестабільна (амплітуда добового руху напруги у споживачів становить 20%) зі змінною асиметрією, що зумовлено змішаним під'єднанням споживачів.

Для отримання оцінок показників надійності пускачів із заданою точністю і достовірністю визначено межі генеральної сукупності, тобто вибірку пускачів, за якою проводяться спостереження під час експлуатації. Приймаючи план спостережень NUT і, використовуючи дані [5], вважаємо що розподіл наробітку пускачів до відмов і середній термін служби пускачів підпорядковується нормальному закону розподілу. Задаємо значення довірчої імовірності $g = 0,95$ і величину відносної похибки $\varepsilon = 0,05$. Тоді, згідно з [2], кількість пускачів, за якими проводяться спостереження, становить $N = 1000$ шт. Експлуатаційні спостереження за вибіркою пускачів у кількості 1000 шт., проводяться впродовж 3 років у господарствах Київської, Чернігівської, Хмельницької областей. За період спостережень зафіксовано 324 відмови. Причини відмов і характери несправностей окремих елементів пускачів наведено в таблиці.

Структура відмов електромагнітних пускачів

Види відмов (несправностей)	Відмови	
	кількість	%
1. Електротеплові:		
- електрична ерозія контактів;	79	24,38
- зварювання контактів;	8	2,47
- пошкодження котушок;	63	19,45
- пошкодження корпусу;	13	4,01
- пошкодження електротеплових реле.	59	18,21
Сума по електротеплових відмовах	222	68,52
2. Фізико-хімічні:		
- зниження опору ізоляції та пробій;	37	11,42
- утворення непровідних плівок на контакт-деталях;	5	1,55
- послаблення і відмова контактних пружин.	12	3,70
Сума по фізико-хімічних відмовах	54	16,67
3. Механічні:		
- пошкодження рухомої частини комутуючого пристрою;	12	3,70
порушення з'єднання між контакт-деталлю і	7	2,16
контактотримачем;	6	1,85
- пошкодження блок-контактів;		
- пошкодження короткозамкненого витка електромагнітної	8	2,47
катушки;	6	1,85
- забруднення робочих поверхонь електромагніту;	9	2,78
- пошкодження оболонки пускача.		
Сума по механічних відмовах	48	14,81
Всього по пусках	324	100

Зважаючи на специфічні особливості тваринницьких приміщень та умов їх експлуатації, у тваринницьких і птахівничих господарствах щорічно

мають відмови близько 17% електромагнітних пускачів, а розподілення відмов пускачів в агропромисловому секторі становить: по тваринництву – 70%; по рослинництву – 20%; по ремонтно-механічним майстерням – 10% [1, 6].

Нормативні та фактичні значення параметрів навколишнього середовища (температура, вологість, вміст агресивних газів), в якому працюють пускачі в сільському господарстві, не відповідають значенням, визначеним нормативними документами на електрообладнання. Обстеження середовища тваринницьких та птахівничих приміщень різноманітних зон країни показало, що в приміщеннях не обладнаних механічною вентиляцією, вологість повітря взимку, весною і восени становила 95...98%, вміст аміаку часто досягав $0,09 \text{ г/м}^3$, сірководню – $0,08 \text{ г/м}^3$, вуглекислого газу – $14,7 \text{ г/м}^3$, що в 5...6 разів перевищує допустимі нормативи.

Окрім негативного впливу факторів наавколишнього середовища, на стан пускачів суттєво впливають режими їх роботи. Аналіз технологічних графіків роботи пускачів свідчить, що вони експлуатуються в основному, в повторно-короткотривалому та перервно-тривалому режимі, для них характерна сезонність роботи та роботи в одну зміну.

Висновки

1. Підсумовуючи результати спостережень можна констатувати, що причинами несправностей та низькими експлуатаційними показниками надійності пускачів є:

- вплив умов навколишнього середовища на комутуючий пристрій;
- специфічні режими роботи, пов'язані з нечастими вмиканнями і великими перервами між ними;
- невідрегульованість захисних апаратів пускачів і робота в аномальних режимах;
- низька якість електроенергії;
- незадовільна експлуатація пускачів;
- дефекти виготовлення, монтажу, ремонту тощо.

2. На основі проведених обстежень господарств аграрного комплексу деяких областей, найбільш поширені пускачі таких типів:

- вітчизняного виробництва ПМЕ – 46%, ПМЛ – 25%, ПАЕ – 11,3%, П6 – 4,2%;
- закордонного виробництва MDSt – 3%, SLA – 0,5%, інші – 10%.

3. Щоб запобігти впливу агресивного середовища тваринницьких приміщень на практиці, в умовах експлуатації, застосовують такі ефективні захисні заходи щодо забезпечення та підвищення надійності пускачів:

- а) розміщення пускачів загальнопромислового призначення в окремих приміщеннях [4];
- б) виготовлення пускачів у спеціальному виконанні, придатному для роботи в несприятливих умовах [4, 12];
- в) застосування інгібіторів корозії для захисту деталей пускачів від агресивного середовища [3, 7];
- г) застосування протекторного захисту електричних контактів [13], спеціальних мастил для контактів, які зменшують вплив навколишнього середовища [3, 11];

д) для зменшення впливу пилу на апарат рекомендується використання екранів та фільтрів, очищення контактів із використанням інструменту, вибір зручної орієнтації поверхонь контактів [14].

Список літератури

1. Беленов А. Т. Техничко-економические требования, обеспечивающие эффективность использования аппаратов низкого напряжения в сельском хозяйстве / А. Т. Беленов // Электротехническая промышленность. Серия. Аппараты низкого напряжения. Науч.-техн. сб. – М. : Отделение ВНИИЭМ (Информэлектро). – 1981. – Вып. 6 (97). – С.15– 16.

2. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.

3. Катаева Н. К. Влияние параметров окружающей среды на надежность магнитных пускателей / Н. К. Катаева // Применение ингибиторов для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. Научные труды. – Челябинск : ЧИМЭСХ. – 1987. – С. 81–83.

4. Моисеев Ю. И. Исследование условий эксплуатации электрических аппаратов, напряжением до 1000 В в химостойких, герметизированных комплектных устройствах и разработка рекомендаций на их создание и применение в сельскохозяйственном производстве : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / Ю. И. Моисеев. – К. : УСХА, 1971. – 23 с.

5. Райченко О. Ю. Підвищення надійності електрообладнання на тваринницьких фермах і комплексах / О. Ю. Райченко – К. : Урожай, 1977. – 96 с.

6. Романишин М. С. Экономическая эффективность внедрения системы ППРЭСх на предприятиях // Научные труды ВНИИМЭСХ / М. С. Романишин – 1985. – № 65. – С. 26–33.

7. Сагач М. Ф. Временная противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники / М. Ф. Сагач. – К. : УкрНИИТИ Госплана УССР, 1991. – 124 с.

8. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов. Общие вопросы проектирования : учеб. пособие для вузов по специальности «Электрические машины и аппараты» / П. В. Сахаров. – М. : Энергия, 1971. – 560 с.

9. Пускатели электромагнитные низковольтные. Общие технические условия : ГОСТ 2491-82 (СТ СЭВ 5535-86). – [Чинний від 1983-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 22 с.

10. Экспериментальные и теоретические исследования по созданию нового поколения магнитных пускателей на токи до 160 А (перспектива до 2005 года) : отчет о НИР (закл.) / ВНИИР. – № ГР01890020984 ; инв. № 02890053785. – Чебоксары, 1989. – 115 с.

11. Електричні контакти. Шляхи підвищення якості і надійності : зб. наук. пр. – К. : ІПМ АН України, 2000. – 185 с.

12. Заявка 3528890 ФРН, МКИ Н 1 Н 1/02 / Kontaktstück / Gaspar Gottfried, Iwan Helmut; Siemens AG. – №P35288906 ; заявл. 12.08.85 ; опубл. 19.02.87. – 4 с.

13. Пат. №265489 НДР, МКИ Н 01 Н 1/04 / Korrosionsschutz elektrischer / Kontakt / Brauer Jurgen, Engler Thomas, Kochan Herwig; Technische Univ. Karl-Marx-Stadt. – № 3076487 ; заявл. 05.01.87 ; опубл. 01.03.89. – 3 с.

14. Zhang Ji-Gao. The effect of dust contamination on electric contacts / Zhang Ji-Gao, Wen Xia-Min. // Elec. Contacts, 1985. Proc. : 31 th Meet. IEEE Holm Conf. Elec. Contact Phenom., Sept. 29 – Oct. 2 – 1985. – New York. – 1985. – P.175–179.

СОСТОЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В. В. Коробский, А. А. Чернобай

Аннотация. Приведены результаты состояния эксплуатации электромагнитных пускателей различных типов, которые эксплуатируются в аграрном секторе страны. Проанализированы причины неисправностей, структура отказов пускателей в реальных условиях, нормативные и фактические значения параметров окружающей среды, в которой работают пускатели в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: эксплуатация, электромагнитный пускатель, показатель надежности, отказ, параметры окружающей среды.

OPERATION STATUS OF ELECTROMAGNETIC ACTUATORS IN AGRICULTURE

V. Korobsky, A. Chernobay

Annotation. The results of the state of operation of the electromagnetic actuators of various types, which are operated in the agricultural sector. The causes of faults, failures starters structure under real conditions, regulatory and actual values of the environment in which the actuators operate in agriculture.

Key words: operation, an electromagnetic actuator, an indicator of reliability, failure, environmental parameters.

УДК 632.9:631.302

ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЕКВІПОТЕНЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ІНДУКТОРА ЗІ ЗМІННИМ РАДІУСОМ НАВИТКИ НА КАРКАСІ ЗРІЗАНОГО КОНУСУ

***А. Г. Кушніренко, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень імітаційного моделювання напруженості магнітного поля робочої зони технологічного вузла установки, який має змінний радіус навитки, виконаної на каркасі зрізаного конусу. Виконана перевірка на адекватність теоретичної моделі.

Ключові слова: передпосівний обробіток насіння сільськогосподарських культур, електромагнітне поле, моделі картин електромагнітного поля, робоча зона індуктора.

СОСТОЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В. В. Коробский, А. А. Чернобай

Аннотация. Приведены результаты состояния эксплуатации электромагнитных пускателей различных типов, которые эксплуатируются в аграрном секторе страны. Проанализированы причины неисправностей, структура отказов пускателей в реальных условиях, нормативные и фактические значения параметров окружающей среды, в которой работают пускатели в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: эксплуатация, электромагнитный пускатель, показатель надежности, отказ, параметры окружающей среды.

OPERATION STATUS OF ELECTROMAGNETIC ACTUATORS IN AGRICULTURE

V. Korobsky, A. Chernobay

Annotation. The results of the state of operation of the electromagnetic actuators of various types, which are operated in the agricultural sector. The causes of faults, failures starters structure under real conditions, regulatory and actual values of the environment in which the actuators operate in agriculture.

Key words: operation, an electromagnetic actuator, an indicator of reliability, failure, environmental parameters.

УДК 632.9:631.302

ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЕКВІПОТЕНЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ІНДУКТОРА ЗІ ЗМІННИМ РАДІУСОМ НАВИТКИ НА КАРКАСІ ЗРІЗАНОГО КОНУСУ

***А. Г. Кушніренко, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень імітаційного моделювання напруженості магнітного поля робочої зони технологічного вузла установки, який має змінний радіус навитки, виконаної на каркасі зрізаного конусу. Виконана перевірка на адекватність теоретичної моделі.

Ключові слова: передпосівний обробіток насіння сільськогосподарських культур, електромагнітне поле, моделі картин електромагнітного поля, робоча зона індуктора.

Електротехнології передпосівного обробітку насіння сільськогосподарських культур в електромагнітному полі, створеному в індукторі зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу, необхідно теоретично змодельовувати. Отримані моделі дадуть змогу визначити технологічні параметри обробітку, які забезпечують отримання стабільної прибавки врожаю.

Відомі теоретичні та експериментальні моделі картин поля в робочій зоні індуктора, який має суцільну одношарову навитку [1-2]. Моделі картин поля, утвореного в індукторі із змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу, у наукових працях не виявлено.

Мета досліджень – теоретично та експериментально дослідити картини електромагнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу та перевірити їх на адекватність.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження базувалися на теорії електромагнітного поля Д. К. Максвелла, принципу суперпозиції електромагнітних полів від різних частин навитки. Використані методи імітаційного моделювання та індукційного вимірювання напруженості магнітної складової електромагнітного поля.

Результати досліджень. Загальний вигляд в 3D та розрахункова схема індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу приведено на рис. 1 [1].

Для індуктора зі змінним радіусом навитки в точці А складові напруженість магнітного поля (радіальна і поперечна) та напруженість магнітного поля визначаються за відомою методикою [3–4]:

$$H_R = \frac{I \cdot n \cdot S \cdot \cos \theta}{2\pi \cdot R^3} \quad (1)$$

$$H_\theta = \frac{I \cdot n \cdot S \cdot \sin \theta}{4\pi \cdot R^3} \quad (2)$$

$$H = \sqrt{H_R^2 + H_\theta^2} \quad (3)$$

Із розрахункової схеми для індуктора зі змінним радіусом навитки визначаємо:

$$R_{xy}^2 = R_x^2 + R_y^2 \quad (4)$$

$$R_{xy} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (5)$$

$$R^2 = R_{xy}^2 + R_z^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2 \quad (6)$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (7)$$

Позначимо $R_x = X_a$, $R_y = Y_a$, $R_z = Z_a$ та визначимо наступні величини:

$$\cos \theta = \frac{Z_a}{R} = \frac{Z_a}{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}}, \quad (8)$$

$$\cos^2 \theta = \frac{Z_a^2}{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2} \quad (9)$$

$$\sin \theta = \frac{R_{xy}}{R} = \frac{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2}}{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}} \quad (10)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{X_a^2 + Y_a^2}{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2} \quad (11)$$

$$S = \pi R_i^2 \quad (12)$$

Підставивши знайдені величини у вирази 1, 2, 3, отримуємо:

$$H_R = \frac{I \cdot n \cdot R_i^2 Z_a}{2(X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2)^2} \quad (13)$$

$$H_\theta = \frac{I \cdot n \cdot R_i^2 \sqrt{X_a^2 + Y_a^2}}{4(X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2)^2} \quad (14)$$

$$H = \frac{I \cdot n \cdot R_i^2 \cdot \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + 4Z_a^2}}{2 \cdot (X_a^2 + Y_a^2 + 4 \cdot Z_a^2)^2} \quad (15)$$

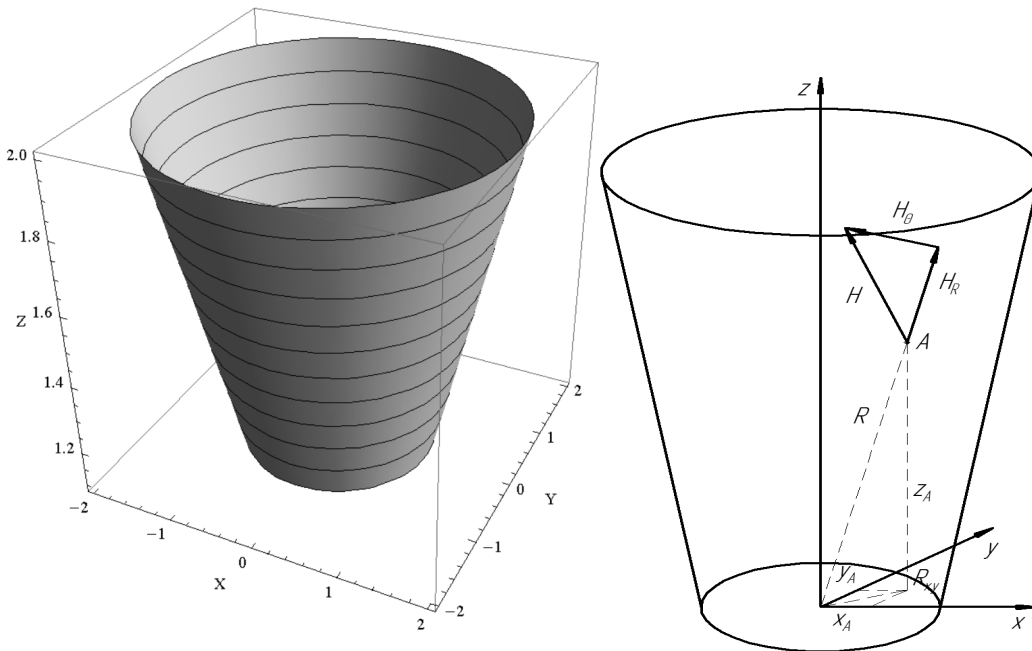


Рис. 1. Загальний вигляд у 3D та розрахункова схема індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу

Якщо у вирази 13, 14, 15 замість R_i і Z_a підставити їх значення для індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу, отримаємо:

$$R_i = R(Z) = \sqrt{\left(\frac{4}{3}R_i - Z\right)Z} \quad (16)$$

$$Z'_a = (Z_a + R_i) \quad (17)$$

та з урахуванням перенесення осей координат із центру індуктора на периферію, кінцевий результат набере вигляду:

$$H_R = \frac{\ln\left(\frac{1}{3}R_i - Z_a\right)(Z_a + R_i)^2}{2[X_a^2 + Y_a^2 + (Z_a + R_i)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (18)$$

$$H_e = \frac{\ln\left(\frac{1}{3}R_i - Z_a\right)(Z_a + R_i)\sqrt{X_a^2 + Y_a^2}}{2[X_a^2 + Y_a^2 + (Z_a + R_i)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (19)$$

$$H = \frac{\ln\left(\frac{1}{3}R_i - Z_a\right)(Z_a + R_i)\sqrt{Z_a^2 + Y_a^2 + 4Z_a^2}}{2[X_a^2 + Y_a^2 + 4(Z_a + R_i)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (20)$$

Вирази 18–20 є теоретична модель напруженості магнітного поля індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу.

Теоретичні моделі напруженості магнітного поля еквіпотенційних поверхонь індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу мають вигляд:

$$H(100\%) = 0 + 0.1X^2 + 0.1Y^2 \quad (21)$$

$$H(95\%) = 3.5 + 0.1X^2 + 0.1Y^2 \quad (22)$$

$$H(90\%) = 5.3 + 0.15X^2 + 0.15Y^2 \quad (23)$$

$$H(85\%) = 6.3 + 0.225X^2 + 0.225Y^2 \quad (24)$$

Побудова графічного зображення моделі еквіпотенційних поверхонь розрахункових (теоретичних) значень векторів напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу виконано у полі програми Wolfram Matematyka 6.

Імітаційні моделі еквіпотенційних поверхонь теоретичних значень векторів напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу наведено на рис. 2.

Імітаційні моделі еквіпотенційних поверхонь напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки за результатами експериментальних даних мають вигляд:

$$H(100\%) = 0 + 0.1X^2 + 0.1Y^2 \quad (25)$$

$$H(95\%) = 3.3 + 0.1X^2 + 0.1Y^2 \quad (26)$$

$$H(90\%) = 5.0 + 0.15X^2 + 0.15Y^2 \quad (27)$$

$$H(85\%) = 6.1 + 0.225X^2 + 0.225Y^2 \quad (28)$$

Імітаційні моделі еквіпотенційних поверхонь векторів напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу, побудованих за результатами експериментальних значень, наведено на рис. 3.

Перевірка отриманої теоретичної імітаційної моделі (21) на адекватність із аналогічною експериментальною імітаційною моделлю (25) виконується за методикою нульової гіпотези H_0 та за допомогою розробленої програми у полі програм Wolfram Matematyka 6.

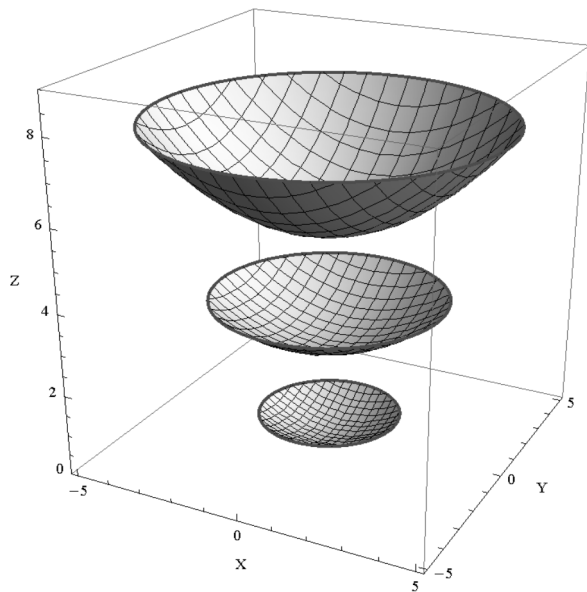


Рис. 2. Імітаційна модель еквіпотенційних поверхонь теоретичних значень векторів напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки на каркасі зрізаного конусу

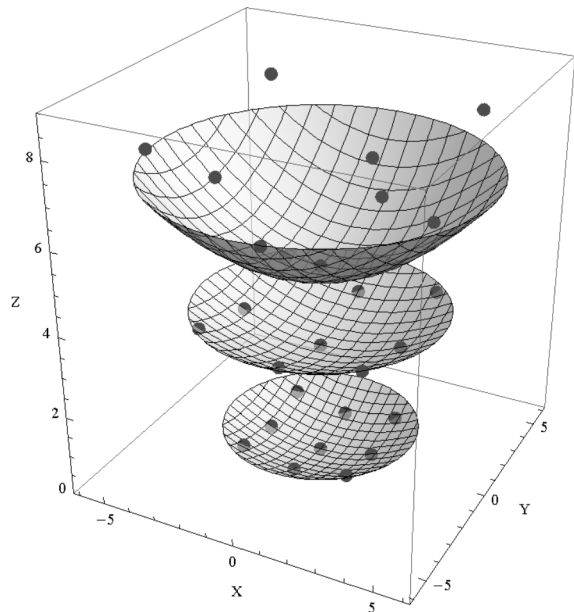


Рис. 3. Імітаційна модель еквіпотенційних поверхонь експериментальних значень векторів напруженості магнітного поля в робочій зоні індуктора зі змінним радіусом навитки

У програму введено значення чотирьох теоретичних вузлових точок імітаційної моделі 21 (значення які не повторюються) та аналогічні значення експериментальних.

Табличне значення t-критерію Стюдента при 5%-му рівні при числі степенів свободи для даного випадку $\nu=8$ становить $t_{0.05}=2,38$, а за результатами розрахунку $t_{\text{фак}}=2,56$.

Висновки

Оскільки виконується умова $t_{\text{фак}}=2,56 \geq t_{0.05}=2,38$, теоретичні імітаційні моделі $H(\%)=f(X,Y)$ вважаються адекватними з отриманими експериментальними даними.

Список літератури

1. Лукач В. С. Пристрій для передпосівного обробітку насіння в електромагнітному полі. Патент на винахід № 65240 А, Україна, МПК⁷ А 01 С 1 / 00 / В. С. Лукач, А. Г. Кушніренко, В. Ф. Ярошенко, В. І. Міщенко, Н. В. Ніженець. – К. : УІВ ; опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5. – 6 с.
2. Лукач В. С. Спосіб оцінки ефективності передпосівної обробки насіння. Деклараційний патент на корисну модель № 17411 А, Україна, МПК⁷ А 01 С 1 / 00 / В. С. Лукач, В. Ф. Ярошенко, І. П. Радько, Л. А. Кушніренко. – К. : УІВ ; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9. – 4 с.
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Наука, 1989. – 504 с.

4. Татур Т. А. Основные теории электромагнитного поля : справ. пособие / Т. А. Татур. – М. : Высшая школа, 1989. – 271 с.

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКТОРА С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ НАВИТКИ НА КАРКАСЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА

А. Г. Кушниренко

Аннотация. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований имитационного моделирования напряженности магнитного поля рабочей зоны технологического узла установки, который имеет переменный радиус навитки, выполненной на каркасе срезанного конуса. Проведена проверка на адекватность теоретической модели.

Ключевые слова: *предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур, электромагнитное поле, модели картин электромагнитного поля, рабочая зона индуктора.*

A SIMULATION MODEL EQUIPOTENTIAL SURFACE TENSION INDUCTOR MAGNETIC FIELD WITH VARIABLE RADIUS NAVYTKY

A. Kushnirenko

Annotation. The results of theoretical and experimental studies and simulation of the magnetic field of the working area of technological node installation that has a variable radius navytky. Test the adequacy of the theoretical model with experimental.

Key words: *pre-cultivation of seed crops, electromagnetic field, electromagnetic field model pictures, work area inductor.*

УДК 535.37

ФЛУОРЕСЦЕНТНА СПЕКТРОСКОПІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. Розглянуто можливість застосування методу лазерної спектрофлуориметрії сільськогосподарських, зокрема злакових, культур та кукурудзи. Показано, що цей метод є перспективним для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи,

© Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська,
І. А. Залоїло, Я. В. Кожем'яко, 2015

4. Татур Т. А. Основные теории электромагнитного поля : справ. пособие / Т. А. Татур. – М. : Высшая школа, 1989. – 271 с.

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКТОРА С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ НАВИТКИ НА КАРКАСЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА

А. Г. Кушниренко

Аннотация. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований имитационного моделирования напряженности магнитного поля рабочей зоны технологического узла установки, который имеет переменный радиус навитки, выполненной на каркасе срезанного конуса. Проведена проверка на адекватность теоретической модели.

Ключевые слова: *предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур, электромагнитное поле, модели картин электромагнитного поля, рабочая зона индуктора.*

A SIMULATION MODEL EQUIPOTENTIAL SURFACE TENSION INDUCTOR MAGNETIC FIELD WITH VARIABLE RADIUS NAVYTKY

A. Kushnirenko

Annotation. The results of theoretical and experimental studies and simulation of the magnetic field of the working area of technological node installation that has a variable radius navytky. Test the adequacy of the theoretical model with experimental.

Key words: *pre-cultivation of seed crops, electromagnetic field, electromagnetic field model pictures, work area inductor.*

УДК 535.37

ФЛУОРЕСЦЕНТНА СПЕКТРОСКОПІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. Розглянуто можливість застосування методу лазерної спектрофлуориметрії сільськогосподарських, зокрема злакових, культур та кукурудзи. Показано, що цей метод є перспективним для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи,

© Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська,
І. А. Залоїло, Я. В. Кожем'яко, 2015

причому найсуттєвіші зміни флуоресцентних індексів виявляються на різних фазах розвитку: паросток, жовта стеблина, зелена стеблина.

Метод реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу уможлиблює дослідження впливу обробітку ґрунту, внесення агрохімічних препаратів та добрив, високих інтенсивностей фотосинтетично активного та ультрафіолетового випромінювання, зневоднення, температури на флуоресценцію хлорофілу адаптованих попередньо до темряви листків сільськогосподарських культур – сої, ріпаку, салату, квасолі кущової.

Ключові слова: *флуоресценція, спектрофлуориметрія, індукція флуоресценції, сільськогосподарські культури.*

Процес перетворення світлової енергії Сонця в хімічну енергію рослинних тканин лежить в основі *фотосинтезу*; він складається з таких етапів, як поглинання світла молекулою пігменту, перенесення енергії збудження й протікання хімічних реакцій у фотосистемі *ФСII*. Дезбудження поглинутої світлової енергії супроводжується виділенням тепла і випромінюванням світла як флуоресценції хлорофілу.

Флуоресцентна спектроскопія або *флуориметрія* – це різновид електромагнітної спектроскопії, який базується на аналізі флуоресценції зразку. Реєстрація залежності інтенсивності флуоресценції зразку від довжини хвилі випромінювання флуоресценції є основою *спектрофлуориметрії*. Якщо як джерело збудження флуоресценції використовують лазер, йдеться про *лазерну спектрофлуориметрію* [1].

Залежність інтенсивності флуоресценції від часу після початку освітлення називається кривою *індукції флуоресценції хлорофілу*, або індукційною кривою. Реєстрація індукції флуоресценції дає можливість спостерігати часову кінетику інтенсивності флуоресценції попередньо адаптованого до темноти зеленого листка. При освітленні зеленого листка, що знаходився попередньо у темряві, в останньому флуоресценція хлорофілу набуває індукційної кінетики – повільного спадання флуоресценції від максимального рівня f_m до стаціонарного рівня f_s протягом 3–5 хвилин, відомої як “ефект Каутського” [2].

Матеріали та методика досліджень. В експериментах було використано етіоловані паростки та жовті стеблини злакових культур (м'які й тверді види, озимі та ярові сорти) – пшениці, жита, ячменю та гібридів із колекції Національного університету біоресурсів і природокористування України, а також сільськогосподарські культури (соя, ріпак, салат, квасоля кущова), що знаходяться під впливом абіотичних та антропогенних факторів, і ґрунт із добривами, на якому вони вирощуються.

Лазерний спектрофлуориметр. Схему лазерного спектрофлуориметра наведено на рис. 1.

Як джерело збудження флуоресценції використовують азотний лазер 1 з параметрами: довжина хвилі випромінювання 337 нм; частота повторення імпульсів 50 Гц; середня потужність випромінювання 3 мВт; тривалість імпульсу 10 нс; розбіжність лазерного променя $3 \cdot 10^{-3}$ рад.

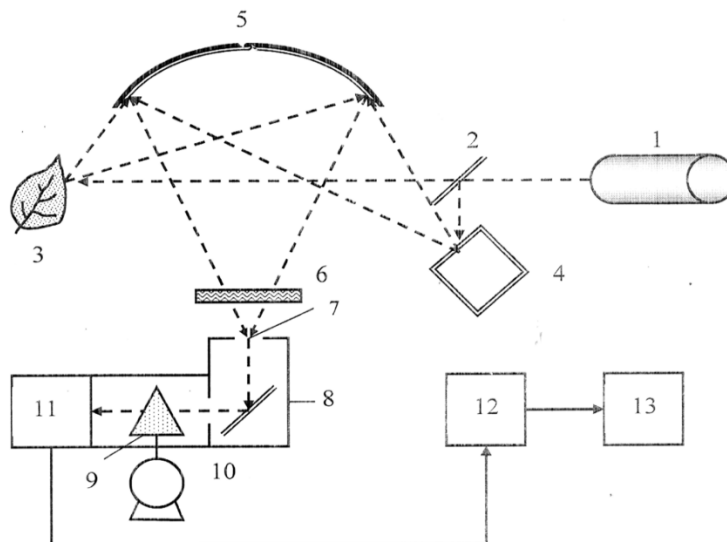


Рис. 1. Лазерний спектрофлуориметр

Випромінювання лазера спрямовують на напівпрозору скляну пластину 2 на зразок 3 (листок) або флуоресцентний стандарт 3 (розчин барвника). Зразок або кювету зі стандартом розміщують під кутом 45° до лазерного променя з тим, щоб запобігти небажаному поглинанню лазерного випромінювання зразком або стандартом відповідно.

Було використано як спектральні критерії стану сільськогосподарських культур такі флуоресцентні індекси: $F_1 = 430/460$, $F_2 = 460/530$, $F_3 = 690/735$, $F_4 = 460/690$, $F_5 = 430/690$, $F_6 = 530/690$, $F_7 = 430/735$, $F_8 = 460/735$, $F_9 = 530/735$, $F_{10} = 430/530$.

Лазерна спектрофлуориметрія інтактного листка дає можливість аналізувати залежність форми та інтенсивності спектрів випромінювання при збудженні флуоресценції хлорофілу. Недоліком цього методу є довготривалість процесу запису спектра, під час якого в листку можуть відбуватися певні зміни, викликані індукцією флуоресценції хлорофілу.

Позбавитися цих недоліків дає змогу метод реєстрації індукції флуоресценції. У цьому випадку дослідження проводили за допомогою портативного флуориметра. Принцип роботи флуориметра пояснюється на рис. 2.

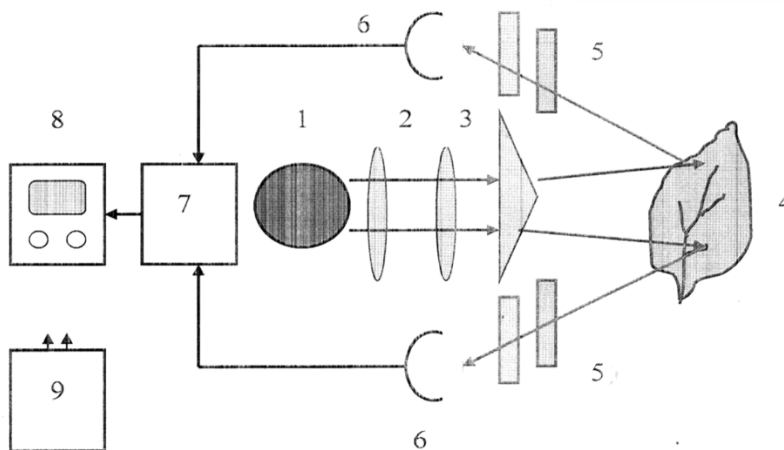


Рис. 2. Схема портативного флуориметра

Випромінювання світлового діода 1 подається через коліматор 2 та призму 3, де він розщеплюється на два променя, що збуджують флуоресценцію зразка – зеленого листка 4. Випромінювання флуоресценції проходить через інтерференційні фільтри 5, які пропускають випромінювання з довжиною хвилі 690 нм та 740 нм відповідно, після чого обидва променя флуоресценції реєструються фотоприймачами 6. Електричні сигнали з виходів фотоприймачів потрапляють на вхід підсилювача 7 та аналізуються системою реєстрації 8. Джерело збуджуючого випромінювання 1, фотоприймачі 6, підсилювач 7 та система реєстрації 8 пов'язані з джерелом автономного живлення 9.

Функції флуоресцентних індексів виконують такі флуоресцентні параметри, як індекс життєздатності $Rfd = f_d / f_s = (f_m - f_s) / f_s$, який вимірюють на двох довжинах хвиль: $Rfd(690)$ і $Rfd(735)$,

де f_m – максимальна флуоресценція;

f_s – стаціонарна флуоресценція;

$f_d = f_m - f_s$ – зменшення флуоресценції [3, 4], а також індекс адаптації до стресів $A_p = 1 - [Rfd(735) + 1] / [Rfd(690) + 1]$.

Результати досліджень. Використання методу лазерної спектрофлуориметрії уможливило дослідження вікових та видових відмін злакових культур та кукурудзи.

Застосуванню методу лазерної спектрофлуориметрії сільськогосподарських рослин присвячені роботи [3–7].

Використання методу реєстрації індукції флуоресценції дало змогу дослідити вплив обробітку ґрунту, внесення агрохімічних препаратів та добрив, високих інтенсивностей фотосинтетично активного та ультрафіолетового випромінювання, зневоднення, температури на флуоресценцію хлорофілу адаптованих попередньо до темряви листків сільськогосподарських культур – сої, ріпаку, салату, квасолі кущової [8–16]. Показано, що величини спектральних індексів чутливі до змін стану фотосинтетичного апарату в результаті дії несприятливих факторів або фізіологічно активних речовин, наприклад, гербіцидів.

Висновки

Використання методу лазерної спектрофлуориметрії для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи показало, що найсуттєвіші зміни флуоресцентних характеристик виявляються на різних фазах розвитку: паросток, жовта стеблина, зелена стеблина. Залежність флуоресцентних індексів від роду та сорту не знайдена. Те саме можна сказати щодо генетичних форм.

На початкових стадіях розвитку для етильованих паростків знайдено відміни для різних культур – пшеничних та кукурудзи. В останньому випадку, ця різниця зумовлена сповільненим процесом накопичення протохлорофіліду в паростках.

Техніка реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу дає можливість реєструвати й аналізувати вплив різноманітних природних і антропогенних стресів на рослини.

У цілому, методи флуоресцентної спектроскопії дають змогу проводити швидкий, точний та неруйнівний контроль стану рослин через вимірювання *in vivo* параметрів флуоресценції хлорофілу зеленого листка.

Список літератури

1. Посудін Ю. І. Біофізика рослин / Ю. І. Посудін. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 252 с.
2. Kautsky H. Neue Versuche zur Kohlenstoffassimilation/ Kautsky H. and Hirsch A. *Naturwissenschaften*, **19**: 964 (1931).
3. Посудін Ю. І. Оптичні методи дослідження фотобіологічних реакцій вищих і нижчих рослин : дисс. ... д-ра біол. наук : 06.01.03 / Посудін Ю. І. ; Українська сільськогосподарська академія. – К., 1992. – 433 с.
4. Posudin Yuri I. Laser spectrofluorometry of agronomic plants *in vivo* (*SPIE Proceedings Paper*) 1997. http://spie.org/x648.html?product_id=274735
5. Посудін Ю. І. Флуориметр для аналізу сільськогосподарських рослин в стресових умовах / Ю. І. Посудін, Я. В. Кожем'яко // Науковий вісник НАУ, 2002. – Вип. 58. – С. 39–41.
6. Посудін Ю. І. Лазерна спектрофлуориметрія *in vivo* злакових культур / Ю. І. Посудін, Я. В. Кожем'яко // Науковий вісник НУБіП України. – 2009. – № 140. – С. 60–79.
7. Кожем'яко Я. В. Використання лазерної спектрофлуориметрії для оцінки росту і розвитку овочевих культур / Я. В. Кожем'яко, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НУБіП України. – 2009. – № 145. – С. 51–59.
8. Посудін Ю. І. Флуоресцентний аналіз рослин протягом розвитку та в стресових умовах / Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ. – 2002. – Вип. 58. – С. 42–48.
9. Портативний флуориметр для аналізу стану сільськогосподарських рослин / [Мельничук М. Д., Посудін Ю. І., Кожем'яко Я. В., Залоїло І. А., Годлевська О. О.] / Вчені НАУ – виробництву. Бюлетень завершених наукових розробок. – 2007. – № 1. – С. 27.
10. Годлевська О. О. Флуоресцентний аналіз деяких овочевих культур протягом розвитку в стресових умовах / О. О. Годлевська, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ, 2008. – № 121. – С. 53–58.
11. Флуоресцентний аналіз рослин протягом розвитку в стресових умовах / [Мельничук М. Д., Посудін Ю. І., Кожем'яко Я. В. та ін.] // Агробіологія. Біла Церква, 2009. – Вип. 1 (64). – С. 141–149.
12. Application of portable fluorometer for estimation of plant tolerance to abiotic factors/ [Posudin Yu.I., Godlevska O.O., Zaloilo I.A., Kozhem'yako Ya.V.] *Int. Agrophysics*, 2010, Vol. 24, No. 4. – P. 363–368.
13. Застосування портативного флуорометра для оцінювання толерантності рослин до біотичних факторів / О. О. Годлевська, І. А. Залоїло, Я. В. Кожем'яко, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – Вип. 161. – С. 217–225.
14. Посудін Ю. І. Флуоресцентний аналіз салату (*Lactuca sativa* L.) під впливом зневоднення / Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська // Науковий вісник НУБіП України. 2011. – Вип. 166. – С. 205–212.
15. Posudin Yuriy. Portable fluorometer for fluorescence analysis of agronomic plants. *International Scientific Electronic*/ [Posudin Yuriy, Godlevska J., Zaloilo I.] // *Earth Bioresources and Life Quality*. – No 3. – 2013.
16. Посудін Ю. І. Вплив зневоднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу у листках салату (*lactuca sativa* L.) [Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська,

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Ю. И. Посудин, А. А. Годлевская, И. А. Залоило, Я. В. Кожемяко

Аннотация. Рассмотрена возможность применения метода лазерной спектрофлуориметрии сельскохозяйственных и, в частности, злаковых культур. Показано, что этот метод является перспективным для диагностики возрастных и видовых отличий злаковых культур и кукурузы, причем существенные изменения флуоресцентных индексов проявляются на разных фазах развития: росток, желтый стебель, зеленый стебель.

Метод регистрации индукции флуоресценции хлорофилла дает возможность исследовать влияние обработки почвы, внесение агрохимических препаратов и удобрений, высоких интенсивностей фотосинтетически активного и ультрафиолетового излучения, обезвоживания, температуры на флуоресценцию хлорофилла адаптированных предварительно к темноте листьев сельскохозяйственных культур: сои, рапса, салата, фасоли кустовой.

Ключевые слова: флуоресценция, спектрофлуориметрия, индукция флуоресценции, сельскохозяйственные культуры.

FLUORESCENCE SPECTROSCOPY OF AGRICULTURAL CROPS

Y. Posudin, O. Godlevska, I. Zaloyilo, Y. Kozhemiako

Annotation. The possibility of applying the method of laser spectrofluorometry of agricultural crops, particularly, cereals is discussed. It is shown that this method is promising for diagnosis of age and specific differences of cereals and maize. The most substantial changes of fluorescent indices appear at various stages of development: sprout, yellow stems, green stem.

The method of registration of chlorophyll fluorescence induction provides an opportunity to explore the impact of tillage, agrochemical fertilizers, effect of high intensity of photosynthetically active and ultraviolet radiation, dehydration, temperature on chlorophyll fluorescence of leaves previously adapted to the darkness – soybean, rapeseed, lettuce, beans bush.

Key words: fluorescence, spectrofluorometry, chlorophyll fluorescence induction, crops.

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

*І. Б. Луцик, кандидат технічних наук
Тернопільський національний педагогічний університет
імені В. Гнатюка
email: iraila@ya.ru*

Анотація. Наведено методику проведення досліджень для синтезу експертної системи, яка дає змогу визначати енергоощадні режими роботи комплексу активного вентилявання; запропоновано метод реалізації алгоритмів роботи системи на основі адаптивних нейронечітких інтелектуальних модулів.

Ключові слова: експертна система, електротехнологічний комплекс, адаптивні алгоритми керування, нейронечіткі технології.

Досвід передових галузей промисловості розвинених країн свідчить, що на сучасному етапі ефективність вкладень в удосконалення електротехнологічного комплексу вища, ніж у нові види обладнання. Результативним інструментом пошуку, в даному випадку, є математичне моделювання комплексу процесів, що відбуваються в реальній системі, з подальшим дослідним опрацюванням рішень і схем.

Використання експертних систем, об'єднаних із моделями роботи технологічної та екосистеми, призводить до нового шляху вирішення проблем і прийняття практичних рішень на виробництві.

Мета досліджень – методологічне узагальнення процесу створення експертної системи, що забезпечує визначення енергоощадних режимів роботи електротехнологічного комплексу активного вентилявання.

Матеріали та методика досліджень. Технологія розробки експертної системи базується на поетапному вирішенні задач ідентифікації, моделювання технологічного процесу, формалізації способів подання знань та маніпулювання ними [1]. Отримані знання є основою для побудови прототипів експертної системи для подальшої їх дослідної експлуатації з метою оптимізації режимів роботи електротехнологічного комплексу з точки зору зменшення енерговитрат.

Результати досліджень. Процес синтезу експертної системи, яка б дозволяла забезпечувати енергоощадність комплексу активного вентилявання ґрунтується на виявленні впливу швидкісних режимів вентилявання на теплофізичні процеси у зерновому насипі з урахуванням абіотичних чинників. Встановлені залежності дозволять сформулювати алгоритм та правила диференціації швидкісних режимів електроприводу вентиляційного комплексу. Наступним етапом роботи є вибір методів реалізації алгоритмів та відповідних засобів для створення програмних модулів автоматизованої системи керування.

Таким чином, першочерговим завданням є аналіз факторів впливу на стан зернового насипу протягом його тривалого зберігання та вентильовання. Найбільш шкідливим для зерна є процес самозігрівання. Доведено, що інтенсивність розвитку цього негативного процесу залежить від комбінації значень температур і вологості зерна [2].

Задачу ідентифікації температурного стану сировини у зерноскладі можна сформулювати так: на обмеженій площині прямокутної форми розміщені області самозігрівання, які є замкненими, не перетинаються, а їх місце розташування наперед невідоме. Датчики температури, які є складовими розподіленої системи термометрії, мають певний радіус чутливості та визначають температуру зерна у певних точках із дискретністю в часі. Метою розподіленої системи термометрії є визначення експертною системою місць із підвищеною до небезпечних показників температурою.

Оскільки кількість фізичних датчиків температури є обмеженою, ми використовуємо ще й віртуальні датчики, які на основі отриманої інформації від сенсорних датчиків та керуючись даними, що зберігаються у базах знань, дадуть змогу визначати температуру в необхідних точках. В основі функціонування віртуальних датчиків лежить нейромережевий апарат, що використовує дані, отримані від сенсорних датчиків температури та баз даних, що зберігають інформацію про визначені температурні показники у попередні періоди часу [2].

Ефективне прогнозування можливе за наявності деякого мінімуму спостережень. Проте, оскільки зерно є живим організмом, передбачити всі можливі його температурно-вологісні реакції на зміни в навколишньому середовищі чи умови зберігання практично неможливо. У такому випадку, побудувати нейромережеву систему прогнозування все-таки можна, при цьому модель буде уточнюватися в процесі надходження до неї свіжих даних.

Проте представлення біофізичного стану сировини, без урахування наявних комах-шкідників, унеможлиблює отримання достатньої інформації щодо процесів, які відбуваються в зерновому насипі. Адже життєдіяльність комах-шкідників призводить до появи осередків самозігрівання, і, навпаки, самозігрівання активізує розмноження шкідників у геометричній прогресії. Особливо небезпечним для зернових культур є кліщ, а для пшениці й кукурудзи – ще й довгоносик. Тому критичні значення температурно-вологісних параметрів потрібно визначати з урахуванням сприятливих умов розвитку саме для цих шкідників.

Отже, функціонування експертної системи для розв'язку завдання діагностики стану біосировини здійснюється за такою схемою [3]. Оперативна інформація від термодатчиків щодо температури зерна в різних зонах сховища, а також дані про вологість зерна в контрольних змірах заносяться у базу знань та аналізуються у блоці оперативного контролю. Результати розрахованих значень і параметрів, дані про температуру та вологість навколишнього повітря, зараженість зерна заносяться у базу

даних з метою їх подальшого використання для прогнозування процесу самозігрівання.

Для отримання даних, що розміщуються у базах знань експертної системи, а також для визначення впливу швидкісних режимів активного вентилявання на хід процесу самозігрівання та на наявність шкідників в зерновому насипі, проведено дослідження на основі макету електротехнологічного комплексу вентиляції зерноскладу (рис. 1). Основними складовими макету були: 1 – блок живлення двигуна; 2 – блок живлення для контролера; 3 – цифровий мультиметр; 4 – ЛАТР; 5 – вентилятор; 6 – ПК; 7 – контролер; 8 – перетворювач частоти; 9 – нагрівальні елементи; 10 – перфорований вентиляційний канал; 11 – датчики температури; 12 – макет зерноскладу.

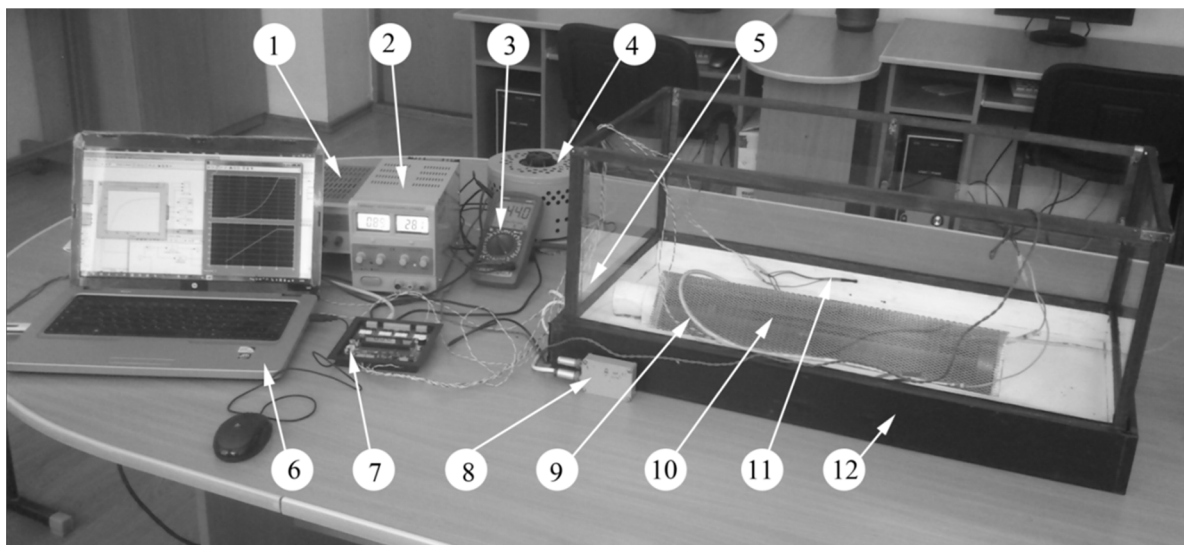


Рис. 1. Макет електротехнологічного комплексу активного вентилявання

Дослідження, проведені на установці, а також аналіз спостережень безпосередньо у виробничих умовах, дали змогу сформуванати остаточний алгоритм функціонування експертної системи визначення енергоощадних режимів роботи комплексу активного вентилявання:

1. Опрацювання інформації від датчиків температури, значень вологості зерна і повітря та показника зараженості зерна з певною дискретністю у часі;

2. Визначення необхідних умов для проведення активного вентилявання: з урахуванням відносної вологості повітря (w_n) та рівноважної вологості зерна.

3. Вибір режиму вентилявання $R \in \{1, 2, 3\}$ згідно зі значеннями детекторів зараженості та самозігрівання.

4. Обчислення необхідної швидкості обертання вентилятора:

$$\omega = f(\Delta t_s, t_n, w_n, Q, R) \quad (1)$$

Список літератури

1. Машков О. А. Методика створення експертної оцінки системи функціонально-стійкого інформаційно-керуючого комплексу динамічного об'єкта на основі бази знань / О. А. Машков, В. Р. Косенко // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. – 2010. – Вип. 57. – С. 193–221.
2. Федорейко В. С. Определение рациональных скоростных режимов электропривода комплекса активного вентилирования на основе адаптивных нейронечетких систем / В. С. Федорейко, И. Б. Луцык // MOTROL. ISSN 1730-8658. – Lublin – Rzeszów. – 2014. – Vol. 16, No. 4. – P. 193–199.
3. Федорейко В. С. Нейронечітка система керування вентиляванням біосировини / В. С. Федорейко, І. Б. Луцук // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194. – С. 80–86.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

И. Б. Луцык

Аннотация. *Изложена методика проведения исследований для синтеза экспертной системы, позволяющей определять энергосберегающие режимы работы комплекса активной вентиляции; предложен метод реализации алгоритмов работы системы на основе адаптивных нейронечетких интеллектуальных модулей.*

Ключевые слова: *экспертная система, электротехнологический комплекс, адаптивные алгоритмы управления, нейронечеткие технологии.*

THE EXPERT SYSTEM FOR DETERMINING ENERGY-SAVING MODES OF ELECTRO-TECHNOLOGICAL COMPLEX

I. Lutsyk

Annotation. *Was represented the technique of research for the synthesis of an expert system, which allows to determine the energy-saving modes of operation of the complex active ventilation. The method for the implementation of algorithms of functioning system was proposed. This method based on adaptive neuro-fuzzy intelligent modules.*

Key words: *expert system, electro-technological complex, adaptive control algorithms, neuro-fuzzy technology.*

**ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАТИВНИХ ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ ТА ВІДХОДІВ,
ЯКІ ПРОЙШЛИ АНАЕРОБНУ ОБРОБКУ В БІОРЕАКТОРАХ**

***А. В. Ляшенко, кандидат технічних наук
Інститут технічної теплофізики НАН України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. *Визначено напруги та швидкості зсуву, динамічну в'язкість органічних розчинів, які представляють собою нативні й ферментативні відходи утримання великої рогатої худоби. Результати досліджень становлять інтерес під час підбору та проектування технологічного обладнання для транспортування розчинів у каналах збору гною для передачі його до біогазової установки та мішалки для перемішування розчинів при підготовці до анаеробної переробки їх в біореакторах.*

Ключові слова: *відходи великої рогатої худоби, дослідження, біореактор, анаеробна переробка.*

Розвиток агропромислового комплексу України призводить до необхідності вивчення як теплофізичних характеристик органічних відходів (гній, послід та ін.), так і їх фізико-механічних властивостей. Фізико-механічні властивості гною залежать від раціону відгодівлі, віку тварин та інших факторів, але основним є його вологість.

Розчини гною великої рогатої худоби (ВРХ) є в'язкопластичними матеріалами [1] та представляють собою неньютонівські рідини. Одними з основних факторів, що визначають конструктивні параметри і режими оптимального функціонування гідротранспорту, насосів та мішалок систем біологічних реакторів є вологість, густина, гранична напруга зсуву та динамічна в'язкість матеріалу [2].

Із літературних джерел встановлено, що при однаковій масовій частці сухих речовин (СР) в'язкість гною ВРХ є значно вищою за в'язкість свинячого гною, оскільки у гної ВРХ міститься більше колоїдних частинок. Водночас, гній однієї й тієї самої вологості, при відгодівлі ВРХ кормами з високим вмістом сировини клітковини та низьким вмістом протеїну, має більшу в'язкість. Зі збільшенням вологості активізується процес розшарування гною. Тверді частинки, які знаходяться в менш в'язкому середовищі, інтенсивніше випадають в осад, який утворює більш щільну та менш рухливу структуру. За певної вологості гній настільки щільний, що його неможливо видалити із систем гідротранспорту біореакторів без застосування механічної дії.

Мета досліджень – отримання комплексних кількісних величин зі зміни фізико-механічних характеристик гнойових стоків, що необхідні під час підбору, проектування та вдосконалення роботи систем гідротранспорту ферм ВРХ та біогазових комплексів. Проведений цикл досліджень

дасть змогу порівняти вміст органічних речовин нативних розчинів гною ВРХ та ферментованих розчинів після анаеробної обробки в біогазових установках.

Матеріали та методика досліджень. Інтенсифікації процесу розшарування гною сприяє і та обставина, що з підвищенням вологості зростає різниця у щільності твердої та рідкої фаз. З додаванням води дисперсійне середовище розм'якшується, щільність знижується, а щільність твердих частинок залишається майже незмінною, унаслідок чого, проходить інтенсивне утворення осаду. У гнойових стоках із вологістю 98 % і більше, вже через 15 хв відстоювання в осад випадає до (80...85 %) усіх твердих частинок, а через 2 год – до 90 %. Процес седиментації практично припиняється, подальше перебування гнойового розчину в спокої призводить до ущільнення осаду, шар якого зменшується та через деякий час втрачає пливність [3]. Умови експлуатації ферм ВРХ та частота прибирання гною зумовлені не тільки санітарними нормами приміщень, де утримується худоба, а й фізичним станом гною, який треба прибирати, та енергетичними затратами, необхідними для здійснення цієї технологічної операції.

Систематичні дослідження з вивчення фізико-механічних та реологічних характеристик нативних відходів утримання ВРХ і свиней проводять у Тамбовському державному технологічному університеті під керівництвом В. П. Капустіна. Автор наводить значення зміни динамічної в'язкості при вологості нативного гною в межах 87–91% та швидкості деформації зсуву від 1,5–11,5 с⁻¹ [1].

Проби на дослідження відбиралися з діючого біогазового комплексу, який розташований на території ферми ВРХ ТОВ «Українська молочна компанія» в с. В. Крупіль, Згурівського району Київської обл.

Початковий розчин відбирався з ємкості попереднього утримання біореактора, куди надходять гнойові стоки з ферми ВРХ, ферментований розчин відбирався з трубопроводів зливу, розташованих у кожному ферментаторі. З трубопроводів зливу відпрацьовані стоки потрапляють у ємність утримання (лагуну) для подальшого їх використання, наприклад, як добрива.

Результати досліджень. Фізико-механічні характеристики нативних та ферментованих гнойових стоків біогазового комплексу наведені в таблиці.

Наведені в таблиці дані свідчать, що кількість органічних речовин після процесу ферментації зменшилася в 1,34 раза, що уможливорює їх подальше використання з отриманням кінцевого продукту у вигляді органічних добрив.

Дослідження напруги зсуву, швидкості зсуву та динамічної в'язкості розчинів органічних матеріалів проводилися на ротаційному віскозиметрі «Реотест 2.1» із циліндричним вимірювальним пристроєм [4,5].

Під час досліджень було використано внутрішній вимірювальний циліндричний пристрій, радіус якого до стандартного зовнішнього мав відношення $R/r = 1,24$. Гнойові розчини мали об'єм 50мл $\pm$ 5%, а величина відстані між вимірювальними циліндрами була більша від розмірів твердих включень у гнойових розчинах.

Фізико-механічні характеристики нативного та ферментованого матеріалів

Проба	pH	Густина, кг/м ³	Вологість, %	Абсолютно сухі речовини, %	Кількість органічних речовин по відношенню до абсолютно сухих, %	Кількість мінеральних речовин по відношенню до абсолютно сухих, %
Нативний	7,02	1015	95,05	4,95	83,8	16,2
Ферментований	7,7	1013	96,08	3,92	79,08	20,92
За даними [1]	7,05	1018	87,4	12,6	–	–

На рис.1 подано криві залежності зміни напруги зсуву від швидкості зсуву (дослідження проводилися за фіксованих значень вологості (95,05% (нативний розчин) та 96,08% (ферментований розчин)) і температури 295 К).

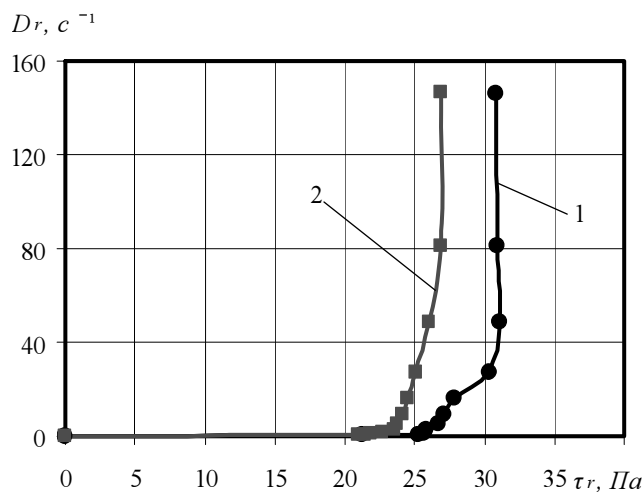


Рис. 1. Криві залежності зміни напруги зсуву від швидкості зсуву:
1 – нативний розчин; 2 – ферментований розчин

Аналіз кривих (рис. 1) свідчить, що за певної вологості й температури гнойових розчинів і різних швидкостей переміщення мірних циліндрів, напруга зсуву змінюється від 0 до максимального значення. Так, при зміні частоти обертання від 0,333 до 145,8 c^{-1} , напруга зсуву збільшується від 25,5 до 31,1 Па для нативного розчину (крива 1) та від 22,3 до 26,9 Па для ферментованого розчину (крива 2). Після досягнення максимального значення відбувається зменшення напруги зсуву до рівноважного стану. Наявність максимуму пояснюється пружними властивостями розчину, а подальший спад напруги зсуву до рівноважного стану свідчить про руйнування структурних зв'язків у гнойовій масі. Найбільша напруга зсуву відповідає максимальній міцності незруйнованої структури рідини.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що рух розглянутих речовин у каналі відбудеться тоді, коли сила руху (гідростатичний тиск) перевищить силу опору, який дорівнює 25,5 Па (крива 1) та 22,3 Па (крива 2) рис. 1.

На рис. 2 подано криві зміни динамічної в'язкості від напруги зсуву в напівлогарифмічній системі координат.

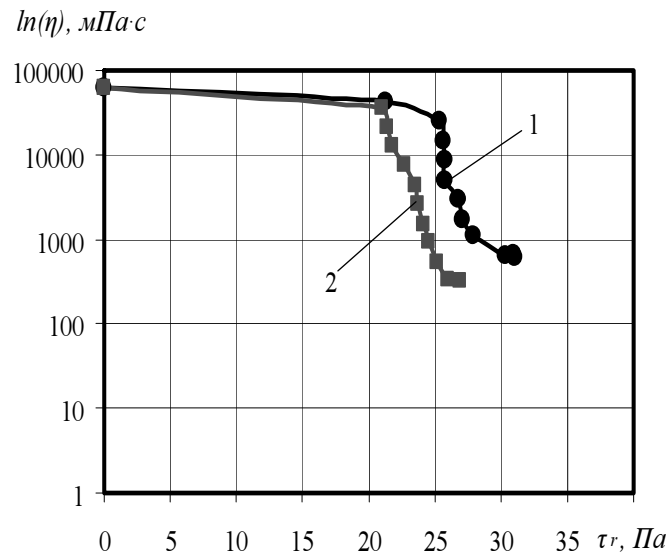


Рис. 2. Криві залежності зміни динамічної в'язкості від напруги зсуву:

1 – нативний розчин; 2 – ферментований розчин

Аналіз кривих (рис. 2) свідчить, що до досягнення величини напруги зсуву значень 25,5 Па (крива 1) та 22,3 Па (крива 2) динамічна в'язкість монотонно спадає за рахунок зменшення дії пружних сил гнойової маси. Потім відбувається інтенсивне руйнування структурних зв'язків, що призводить до стрибкоподібного зменшення показників динамічної в'язкості та подальшої їх стабілізації до постійних значень при повному руйнуванні структурних зв'язків у гнойовій масі.

Порівняльний аналіз експериментальних досліджень, описаних у роботі з дослідженнями, наведеними В. П. Капустіним, свідчать, що збільшення вологості посліду в 1,10 раза призводить до зменшення показників сили опору гнойової маси в 1,70 раза.

Висновки

Аналіз експериментальних досліджень свідчить, що кількість органічних речовин в 1 м^3 субстратної маси за час ферментації зменшилася на 34% (утворився біогаз). Вміст органічних речовин у ферментованій масі дає змогу рекомендувати її як сировину при створенні органічних добрив.

Отримані кількісні характеристики зміни динамічної в'язкості нативних та ферментованих відходів утримання великої рогатої худоби при вологості розчинів 95,05% та 96,08%, відповідно, у діапазоні зміни швидкості зсуву в межах від 0,166...148,8 с^{-1} .

Результати роботи необхідні під час підбору та проектування технологічного обладнання, транспортування гнойових стоків у каналах збору та передачі їх до біореакторів і проектуванні конструкцій мішалок при перемішуванні розчинів у біореакторах.

Список літератури

1. Капустин В. П. Совершенствование систем уборки и транспортировки безподстилочного навоза / В. П. Капустин. – Тамбов : Гос.техн.ун-т, 2001. – 128 с.
2. Обоснование, исследование и совершенствование оптимальных способов и технических средств для уборки, обработки и транспортировки навоза на молочных (КРС) и свиноводческих промышленных комплексах, применительно к зоне ЦЧО : отчет по НИР (Заключительный) Тамбовский филиал ВИЕСХ : Руководитель В. П. Капустин. – № pp 7707740 ; Инв. № Б 629569. – Тамбов, 1976. – 152 с.
3. Лукьяненко И. И. Приготовление и использование органических удобрений / И. И. Лукьяненко. – М., 1982. – 207 с.
4. Саяпин В. А. Усовершенствование вискозиметра РВ-8. Информационный листок / Саяпин В. А., Колесников А. В., Капустин В. П. – Тамбов : ЦНТИ, 1978. – № 26–78. – 4 с.
5. Реотест 2.1. Цилиндрический и конусо-пластиночный ротационный вискозиметр. Инструкция по эксплуатации.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАТИВНЫХ ОТХОДОВ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА И ОТХОДОВ, ПРОШЕДШИХ АНАЭРОБНУЮ ОБРАБОТКУ В БИОРЕАКТОРАХ

А. В. Ляшенко

Аннотация. *Исследованы напряжения сдвига, скорости сдвига и динамическая вязкость органических растворов, представляющих собой нативные и ферментированные отходы содержания крупного рогатого скота. Результаты исследований представляют интерес при подборе и проектировании технологического оборудования для транспортировки навозных стоков в каналах сбора и передачи его к биогазовой установке и мешалке для перемешивания растворов при подготовке к анаэробной переработке их в биореакторах.*

Ключевые слова: *отходы крупного рогатого скота, исследования, биореактор, анаэробная переработка.*

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS NATIVE CATTLE OF WASTE AND WASTE HELD ANAEROBIC PROCESSING IN BIOREACTORS

A. Lyashenko

Annotation. *Investigated the shear stress, shear rate, and the dynamic viscosity of the organic solutions, which are native and fermented waste content of cattle, research results are of interest in the selection of designing*

and manufacturing equipment for the transport of manure runoff in channels collection and transfer it to the biogas plant and mixer for mixing of solutions in preparation for the anaerobic treatment of them in bioreactors.

Key words: *waste cattle, investigations, bioreactor, anaerobic processing.*

УДК 621.762

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ ЗА РІЗНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук
email: amrachkovskyi@mail.ru

Анотація. *Розглянуто залежності режимів роботи електричних контактів за активного та індуктивного навантажень електричного кола, а також зміни енергетичних параметрів (напруга, сила струму, потужності, енергії) при замиканні й розмиканні контактів комутаційних апаратів.*

Ключові слова: *розривні контакти, робоча поверхня, активний опір, індуктивний опір, енергія, потужність, комутаційні апарати.*

Електроерозійна стійкість контакт-деталей реле в основному визначається властивостями контактного матеріалу та параметрами електричної дуги: величиною напруги, силою струму, потужністю та енергією. Встановлення залежностей режимів роботи комутаційних апаратів за різних навантажень електричного кола є визначальним фактором зносостійкості контакт-деталей.

Мета досліджень – підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних реле в електроустановках сільського господарства за рахунок створення нових композиційних контактних матеріалів на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень електротеплових та фізико-хімічних процесів на робочих поверхнях контакт-деталей.

Матеріали та методика досліджень. Для встановлення закономірностей зміни контрольованих параметрів контакт-деталей від режимів роботи електричних контактів за активного та індуктивного навантажень електричного кола, використовувалися відомі та розроблені детерміновані й імовірнісні математичні та фізичні моделі контакт-деталей комутаційних апаратів.

Експериментальні дослідження в лабораторних умовах здійснювали на спеціальному стенді з використанням кліматичної камери.

Аналіз теплових процесів на контакт-деталях проводили методом розв'язування нелінійної задачі теплопровідності напівнескінченного тіла з урахуванням витрат енергії.

and manufacturing equipment for the transport of manure runoff in channels collection and transfer it to the biogas plant and mixer for mixing of solutions in preparation for the anaerobic treatment of them in bioreactors.

Key words: *waste cattle, investigations, bioreactor, anaerobic processing.*

УДК 621.762

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ ЗА РІЗНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук
email: amrachkovskyi@mail.ru

Анотація. *Розглянуто залежності режимів роботи електричних контактів за активного та індуктивного навантажень електричного кола, а також зміни енергетичних параметрів (напруга, сила струму, потужності, енергії) при замиканні й розмиканні контактів комутаційних апаратів.*

Ключові слова: *розривні контакти, робоча поверхня, активний опір, індуктивний опір, енергія, потужність, комутаційні апарати.*

Електроерозійна стійкість контакт-деталей реле в основному визначається властивостями контактного матеріалу та параметрами електричної дуги: величиною напруги, силою струму, потужністю та енергією. Встановлення залежностей режимів роботи комутаційних апаратів за різних навантажень електричного кола є визначальним фактором зносостійкості контакт-деталей.

Мета досліджень – підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних реле в електроустановках сільського господарства за рахунок створення нових композиційних контактних матеріалів на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень електротеплових та фізико-хімічних процесів на робочих поверхнях контакт-деталей.

Матеріали та методика досліджень. Для встановлення закономірностей зміни контрольованих параметрів контакт-деталей від режимів роботи електричних контактів за активного та індуктивного навантажень електричного кола, використовувалися відомі та розроблені детерміновані й імовірнісні математичні та фізичні моделі контакт-деталей комутаційних апаратів.

Експериментальні дослідження в лабораторних умовах здійснювали на спеціальному стенді з використанням кліматичної камери.

Аналіз теплових процесів на контакт-деталях проводили методом розв'язування нелінійної задачі теплопровідності напівнескінченного тіла з урахуванням витрат енергії.

Надійність і довговічність роботи комутаційної апаратури (вимикачі, реле тощо) залежать від роботи їх контактів і стану контактних поверхонь. При розмиканні й замиканні в контактах виділяється енергія, яка витрачається на нагрів контактної пари та на розплавлення металу з їх поверхонь, що, у свою чергу, сприяє підвищенню електричної ерозії поверхонь і порушенню роботи всього електричного кола.

Режим роботи контактів залежить від характеру навантаження кола. Контакти, які розмикаються й замикаються, слід розглядати як послідовно включений опір R_t із навантаженням R_n , яке за час комутації змінюється від значення $r = R_0 - R_n$, відповідаючи перехідному опору контактної пари в замкнутому стані до нескінченності в роз'єднаному вигляді. У цьому випадку, струм через контакти зменшується від I_0 до нуля, а напруга на контактах зростає від U_1 (падіння напруги на замкнених контактах $U_1 = I_1 r$) до U_0 (напруга мережі).

Із багатьох осцилограм встановлено, що напруга на контактах при відключенні ними чисто активного навантаження змінюється прямолінійно у часі. Струм зменшується при цьому від початкового значення I_0 до нуля також прямолінійно у часі за період повного розмикання контактів t_0 .

$$i = I_0 \frac{t_0 - t}{t_0}, \quad U = U_1 + \frac{U_0 - U_1}{t_0} t.$$

При замиканні контактів струм у мережі й напруга на них змінюються аналогічно

$$i = I_0 \frac{t}{t_0}, \quad U = U_0 - \frac{U_0 - U_1}{t_0} t.$$

При відомій напрузі й струмі через контакти встановлюється опір замкнених і розімкнених контактів та його залежність у часі.

$$R_t = \frac{U}{i};$$

а) при замиканні

б) при розмиканні

$$R_t = R_0 \frac{t_0}{t_0 - t} - R_n; \quad R_t = R_0 \frac{t_0}{t} - R_n,$$

де: $R_0 = \frac{U_0}{I_0}$ – опір усього кола, включаючи контакти;

$R_n = \frac{U_0 - U_1}{I_0}$ – опір навантаження.

На рис. 1 наведені графіки залежностей напруги, струму та опору контактів при розмиканні й замиканні ними кола з активним навантаженням.

Знаючи опір контактів і його залежність у часі, можна знайти закон зміни струму в колі і напруги на контактах за період комутації за індуктивного навантаження (рис. 2).

Рівняння електричної рівноваги кола при замиканні й розмиканні контактів такі:

$$iR_t + iR_n + L \frac{di}{dt} = U_0,$$

де L – індуктивність кола.

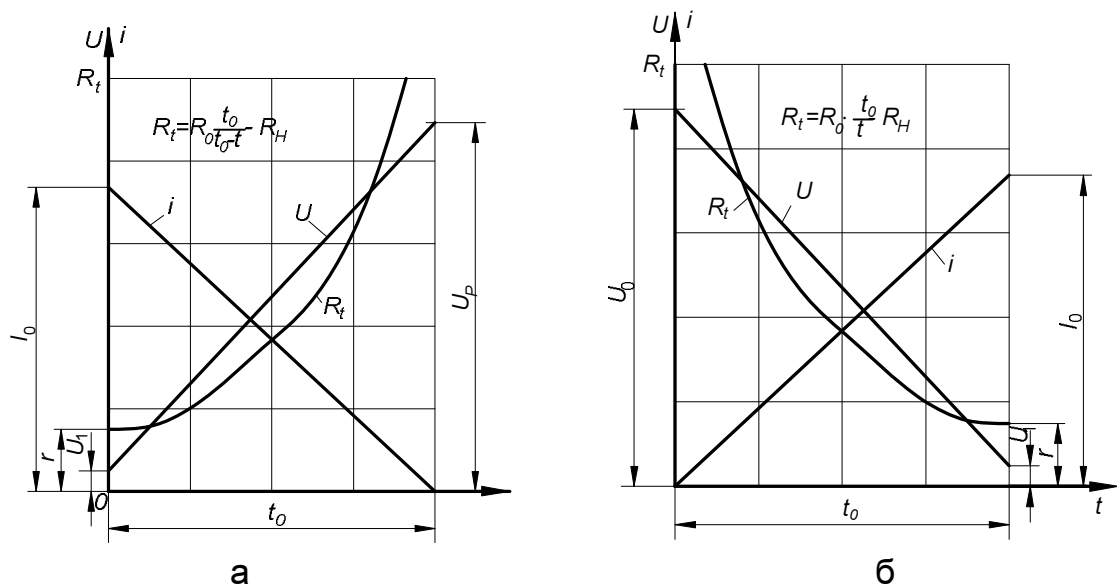


Рис. 1. Залежність напруги, струму та опору контактів при розмиканні (а) та замиканні (б) кола з активним навантаженням

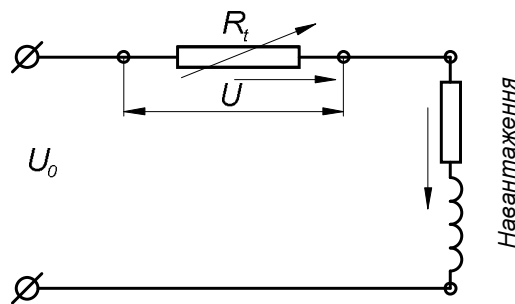


Рис. 2. Розрахункова схема кола з активним та індуктивним навантаженнями

Після перетворень рівняння набуває вигляду:

а) при розмиканні

$$iR_0 \frac{t_0}{t_0 - t} + L \frac{di}{dt} = U_0;$$

б) при замиканні

$$iR_0 \frac{t_0}{t} + L \frac{di}{dt} = U_0.$$

Як видно з графіка (рис. 3), струм у колі до кінця розмикання зменшується до нуля, але в проміжні моменти він набуває значно більших величин, ніж за чисто активного навантаження. За індуктивного навантаження ($R_0 = 0$ і $\alpha = 0$) струм через контакти протягом усього періоду розмикання дорівнює робочому струму кола ($i = I_0$). При замиканні контактів струм у колі з індуктивністю завжди менший, ніж за активного навантаження, оскільки завжди $\frac{\alpha}{\alpha + 1} < 1$.

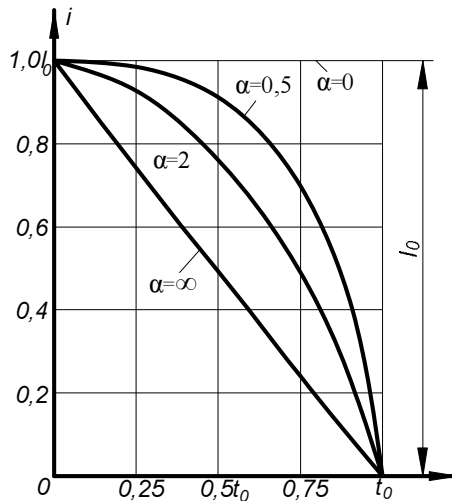


Рис. 3. Залежність струму в колі від часу розмикання для різних значень параметра

Довговічність контактів визначається режимом розмикання у колі з індуктивністю, оскільки у цьому разі підвищуються значення струмів, які проходять через них.

Висновки

1. Наявність індуктивності в колі при розмиканні збільшує струм через контакти, особливо наприкінці процесу розмикання. Напруга на контактах може бути в декілька разів більшою за напругу мережі. Під час розмикання й замикання контактів у колі з активним навантаженням струм і напруга на них змінюються пропорційно часу.

2. За наявності індуктивності в колі, момент настання максимуму потужності припадає на кінець процесу розмикання контактів і значно перевищує таку за активного навантаження кола. Потужність у контактах, під час розмикання кола з активним навантаженням, має максимум у момент, близький до середини проміжку комутації та становить четверту частину потужності всього кола.

3. Загальна енергія, що витрачається в контактах, має дві складові: першу – пропорційну часу розмикання і другу – постійну. Перша визначається наявністю активного навантаження кола, інша дорівнює енергії магнітного поля, накопиченої в індуктивностях усього кола і не залежить від часу розмикання контактів.

Список літератури

1. Сотсков Б. С. Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств / Б. С. Сотсков. – М-Л. : Энергия, 1965. – 237 с.
2. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Изд-во иностранной лит-ры, 1961. – 464 с.
3. Материалы VI Всесоюзного совещания. Электрические контакты. – М. : Энергия, 1972.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

А. Н. Мрачковский

Аннотация. Рассмотрены зависимости режимов работы электрических контактов при активной и индуктивной нагрузке электрической цепи, а также изменения энергетических параметров (напряжение, ток, мощности, энергии) при замыкании и размыкании контактов коммутационных аппаратов.

Ключевые слова: разрывные контакты, рабочая поверхность, активное сопротивление, индуктивное сопротивление, энергия, мощность, коммутационные аппараты.

STUDY OF CONTACT-DETAILS OF SWITCHING DEVICES FOR DIFFERENT LOAD CIRCUIT

A. Mrachkovsky

Annotation. Considered depending on operating conditions of electrical contacts with the active and inductive load circuit, as well as changes in the energy parameters (voltage, current, power, energy) for the closure and opening contacts of switching devices.

Key words: discontinuous contacts, work surface, resistance, inductive reactance, energy, power, switching devices.

УДК 535.37

ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ ЛИСТКІВ ШПИНАТУ ГОРОДНЬОГО (*Spinacia oleracea*) ПІД ВПЛИВОМ УФ-ОПРОМІНЕННЯ

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. Наведено результати впровадження портативного флуориметра для реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу зелених листків шпинату, які зазнали впливу УФ-опромінення. Показано, що

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

А. Н. Мрачковский

Аннотация. Рассмотрены зависимости режимов работы электрических контактов при активной и индуктивной нагрузке электрической цепи, а также изменения энергетических параметров (напряжение, ток, мощности, энергии) при замыкании и размыкании контактов коммутационных аппаратов.

Ключевые слова: разрывные контакты, рабочая поверхность, активное сопротивление, индуктивное сопротивление, энергия, мощность, коммутационные аппараты.

STUDY OF CONTACT-DETAILS OF SWITCHING DEVICES FOR DIFFERENT LOAD CIRCUIT

A. Mrachkovsky

Annotation. Considered depending on operating conditions of electrical contacts with the active and inductive load circuit, as well as changes in the energy parameters (voltage, current, power, energy) for the closure and opening contacts of switching devices.

Key words: discontinuous contacts, work surface, resistance, inductive reactance, energy, power, switching devices.

УДК 535.37

ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ ЛИСТКІВ ШПИНАТУ ГОРОДНЬОГО (*Spinacia oleracea*) ПІД ВПЛИВОМ УФ-ОПРОМІНЕННЯ

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. Наведено результати впровадження портативного флуориметра для реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу зелених листків шпинату, які зазнали впливу УФ-опромінення. Показано, що

запропонований метод дає змогу аналізувати стан та якість рослин під впливом стресових факторів у лабораторних та польових умовах.

Ключові слова: флуоресценція, портативний флуориметр, стрес.

Сучасні фізичні методи неруйнівного оцінювання якості сільськогосподарських продуктів доцільно класифікувати на основі фізичних принципів, які лежать в основі вимірювань тих чи інших параметрів якості (механічні, акустичні, оптичні та спектроскопічні, методи ЯМР та побудови ядерно-магнітних зображень, тощо [1]). Упродовж проходження сільськогосподарської продукції технологічним ланцюгом «вирощування-транспортування-обробка-зберігання-маркетинг», вона підлягає дії численних стресових факторів, що спричиняють зниження якості. Тож, питання застосування саме неруйнівних методів її контролю є вкрай актуальним.

Мета досліджень – визначення впливу стресових факторів (водного та температурного режимів, ультрафіолетового випромінювання) на флуоресцентні індекси $Rfd(690)$, $Rfd(740)$, які характеризують функціональний стан фотосинтетичного апарату зелених листків шпинату.

Матеріали та методика досліджень. Рослини шпинату (*Spinacia oleracea*) вирощували у польових умовах. Для досліду використовували листки одного ярусу, аналогічні за розміром та кольором. Викопані разом із коренем рослини опромінювали УФ-лампою впродовж 10 хв, після чого, через рівні проміжки часу, для листків фіксували індекси $Rfd(690)$ та $Rfd(740)$ за допомогою портативного флуориметра. Результати вимірювань формували у вигляді діаграм.

Результати досліджень. Результати дослідження впливу ультрафіолетового випромінювання та подальшого зневоднення на флуоресцентні індекси $Rfd(690)$ та $Rfd(740)$ зелених листків шпинату наведені у вигляді діаграм (рис.1, 2).

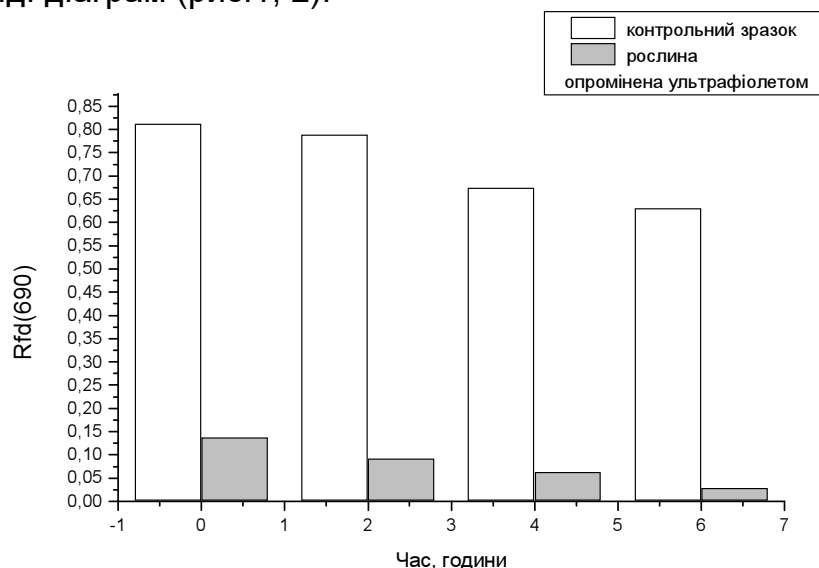


Рис. 1. Залежність індексу життєздатності $Rfd(690)$ для контрольного зразка та для листка шпинату під впливом ультрафіолетового випромінювання впродовж 10 хвилин

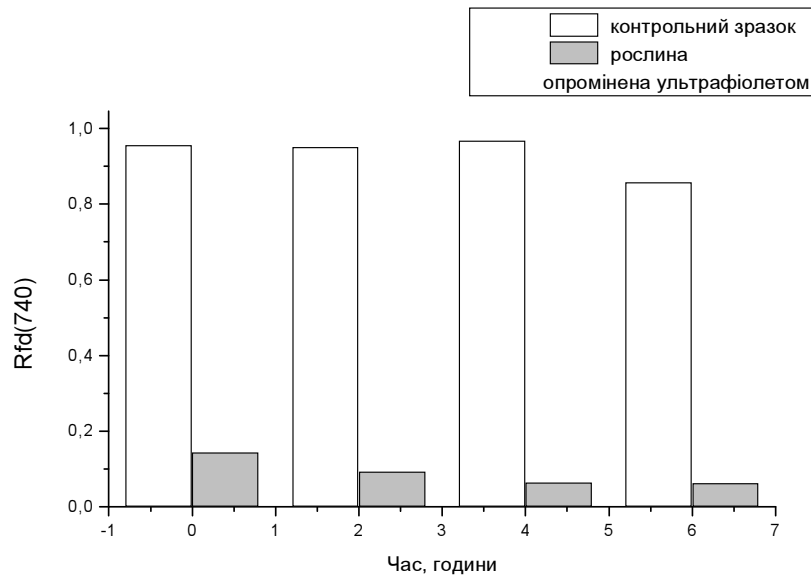


Рис. 2. Залежність індексу життєздатності $Rfd(740)$ для контрольного зразка та для листка шпинату під дією ультрафіолетового випромінювання впродовж 10 хвилин

При освітленні фотосинтезуючих організмів, які попередньо знаходилися в темряві, флуоресценція характеризується певною часовою кінетикою, відомою як «ефект Каутського» [2]. На кінетичній кривій інтенсивності флуоресценції хлорофілу адаптованих до темряви листків спостерігаються швидкі й повільні зміни.

Індукційна крива флуоресценції відбиває складний механізм швидких процесів, що відбуваються у фотосинтетичному апараті зеленого листка. Під час цих процесів відбувається розділення зарядів у реакційному центрі фотосистем, активація транспорту електронів в електрон-транспортному ланцюзі фотосинтезу, формування градієнта електрохімічного потенціалу протонів на мембранах та інших [3].

Флуоресцентні індекси, функції яких можуть виконувати деякі флуоресцентні параметри, використовуються для кількісної оцінки тих змін, яких зазнає рослина внаслідок стресових умов. Такими параметрами було обрано максимальну флуоресценцію fm , стаціонарну флуоресценцію fs , зменшення флуоресценції $fd = fm - fs$, індекс *життєздатності* $Rfd = fd/fs$, який вимірюють на двох довжинах хвиль: $Rfd(690)$ і $Rfd(740)$; індекс адаптації до стресів $Ap = 1 - [Rfd(740) + 1] / [Rfd(690) + 1]$.

Висновки

Ряд попередніх дослідів із використанням методу реєстрації індукції флуоресценції для оцінювання впливу стресових факторів на життєдіяльність сільськогосподарських культур підтвердили його перспективність [4–7]. Найвагомішою перевагою даного підходу є можливість проведення дослідження фотосинтетичної активності без руйнування об'єктів дослідження, відносна простота вимірів та достатньо висока інформативність одержаних даних.

Список літератури

1. Посудін Ю. І. Методи неруйнівної оцінки якості та безпеки сільськогосподарських і харчових продуктів / Ю. І. Посудін. – К. : Арістей, 2005. – 407 с.
2. Kautsky H. Das Fluoreszenzverhalten grüner Pflanzen / H. Kautsky, A. Hirsch // Biochem. – Z., 1931. – Vol. 274. – P. 422.
3. Гавриленко В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2003. – 247 с.
4. Посудін Ю. І. Вплив зневоднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу у листках салату (*Lactuca sativa* L.) / Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська, І. А. Залоїло // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. Вип. 194, ч. 3. – С. 226–229.
5. Посудін Ю. І. Векторний метод флуоресцентного аналізу рослин у стресових умовах / Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ. – 2003. – Вип. 63. – С. 45–49.
6. Портативний флуориметр для дослідження сільськогосподарських культур / М. Д. Мельничук, Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська [та ін.] // Науковий вісник НАУ. – 2007. – С. 13–19.
7. Portable fluorometer for fluorescence analysis of agronomic plants under stress conditions / Yu. Posudin, M. Melnychuk, Ya. Kozhem'yako [et al.] // Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy, March 2 – March 7. – 2008. – New Orleans, USA.

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИСТЬЕВ ШПИНАТА ОГОРОДНОГО (*Spinacia oleracea*) ПОД ВЛИЯНИЕМ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

Ю. И. Посудин, О. А. Годлевская, И. А. Залоило, Я. В. Кожемяко

Аннотация. Представлены результаты внедрения портативного флуориметра для регистрации индукции флуоресценции хлорофилла зеленых листьев шпината, предварительно подвергшихся воздействию УФ-излучения. Показано, что предложенный метод позволяет анализировать состояние и качество этих растений под влиянием стрессовых факторов в лабораторных и полевых условиях.

Ключевые слова: флуоресценция, портативный флуориметр, стресс.

FLUORESCENCE ANALYSIS STATE OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF VEGETABLE GARDEN SPINACH (*Spinacia oleracea*) UNDER THE INFLUENCE OF UV-IRRADIATION

Y. Posudin, O. Godlevska, I. Zaloyilo, Y. Kozhemiako

Annotation. The results of the introduction of portable fluorometer registration induction of chlorophyll fluorescence of green spinach leaves exposed to UV-radiation. It is shown that the proposed method can analyze the status and quality of plants under the influence of stress in laboratory and field conditions.

Key words: fluorescence, portable fluorometer, stress.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОЇ ЗОНИ МЕТАЛОПОКРИТТЯ
ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ**

***І. П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

***Анотація.** Подано результати дослідження перехідної зони напилених контактних матеріалів при відновленні контактних вузлів електричних апаратів.*

***Ключові слова:** контакт, перехідна зона, напilenня, покриття, мікроструктура.*

Вивчення фізичних процесів, які відбуваються в перехідній зоні з металопокриття при відновленні контактних вузлів електричних апаратів, створює передумову для подальшої боротьби з електричною ерозією, яка є однією з основних причин руйнування електричних апаратів.

Мета досліджень – створення контактних вузлів при їх відновленні, які дадуть змогу продовжити тривалість роботи електричного апарату в цілому й підвищити економічну ефективність його використання.

Матеріали та методика досліджень. Проведені дослідження процесу взаємодії частки з напиленою поверхнею показали, що його можна представити фазами утворення фізичного контакту активації контактних поверхонь із утворенням хімічних міжатомних зв'язків на межі розподілу. Встановлено, що якість та формування покриття обумовлюється міцністю зчеплення покриття з основою, коефіцієнтом використання порошку та пористістю покриття.

Будову перехідної зони між покриттям та основою досліджено ще недостатньо повно, унаслідок великої складності точного вивчення структури граничних ділянок. Через те, що матеріали покриття та основи мають різні властивості, а саме: різну твердість під час шліфування, яка проводиться перед металографічними дослідженнями; на межі переходу утворюється сходи́нка, яка не дає змоги одночасно проводити травлення покриття та основи; роздільне травлення шліфа повітряної порожнини при вивченні мікроструктури виглядає як канавка. Друга причина полягає в тому, що, здебільшого, товщина шару, утвореного на межі розподілу в результаті взаємодії часток із матеріалом основи, дуже незначна, що не дає змоги провести ґрунтовне дослідження.

З'єднання напиленого покриття з основою здійснюється за рахунок механічного зчеплення часток, що напилюються з виступами та впадинами на поверхні основи, утвореними попередньою обробкою.

Механічне зчеплення посилюється в результаті сплавлення або хімічної взаємодії часток, що напилюються з основою. При вивченні контактної зони між покриттям і основою необхідно також звернути увагу

на ділянки, де з'єднання проходить по тонких плівках окислів, утворених на поверхнях напилених часток та основі.

На міцність зчеплення покриття з основою впливають і фізичні зв'язки, які проявляються у вигляді молекулярних зв'язків. Вони з'являються у випадку, коли матеріал, що напильюється, і матеріал основи мають решітку приблизно однакового розміру. На ділянках основи, поверхня яких має підвищену активність, характер з'єднання визначається дифузійними процесами [1]. Нині такий вид з'єднання для напилених покриттів достатньою мірою не вивчений.

Результати досліджень. На рис. 1 показано характер руйнування покриття з вуглецевої сталі завтовшки 0,5 мм, нанесеного на основу з низьковуглецевої сталі, на якій знаходиться різьба. При визначенні міцності зчеплення руйнування зразка відбулося як по межі між поверхнею основи і напиленими частками, так і по напиленому матеріалу. При напиленні на основу тонкого прошарку молібдену для такого самого покриття з вуглецевої сталі завтовшки 0,5 мм відшарування часток молібдену від основи, після випробувань зразка на міцність зчеплення, не відбувалося (рис. 2). Руйнування покриття проходить у місцях з'єднання зерен молібдену із зернами напильної вуглецевої сталі.



Рис. 1. Руйнування покриття, напильного на основу з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 60 \times 3/5$)

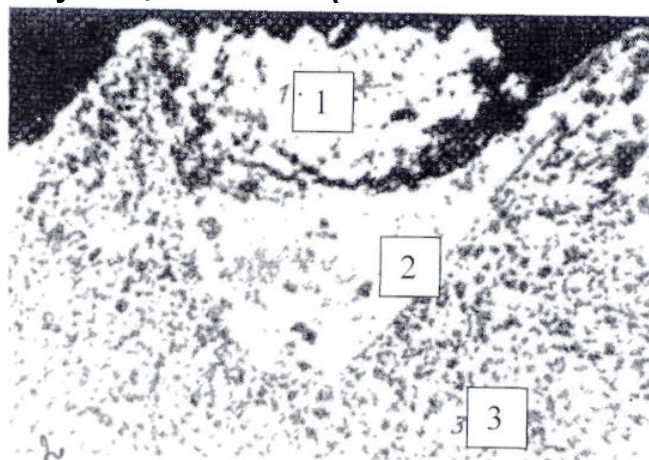


Рис. 2. Руйнування покриття зі сталі, напильного на основу з низьковуглецевої сталі з молібденовим підшаром (збільшення $\times 60 \times 3/5$):

1 – стальне покриття; 2 – підшар з молібдену; 3 – основа

Добре зчеплення молібдену з поверхнею сталевोї основи пояснюється великим тиском парів його окислів. При русі часток молібдену від зрізу сопла горілки до поверхні основи проходить їх окислення, яке супроводжується інтенсивним випаровуванням оксидів. У результаті розплавлені частки молібдену в момент зіткнення легко розриваються, і чистий молібден, маючи високу температуру, вступає в контакт із поверхнею основи. Відбувається плавлення частинок молібдену з матеріалом основи на деяких ділянках і утворення металевих зв'язків.

На рис. 3 приведено мікроструктуру перехідної зони, в якій відбулося з'єднання напиленого молібдену з металом основи. Молибден наносили дротяним газоплазмовим напиленням (умови напилення: діаметр дроту 2 мм, пальник Mark 33, тиск ацетилен 1,1 кгс/см², тиск кисню 1,6 кгс/см², тиск стисненого повітря 3,2 кгс/см², відстань напилення 150 мм) на основу з низьковуглецевої сталі, поверхня якої була піддана хімічному поліруванню. З рисунку видно, що в зоні покриття з основою утворився проміжний шар. Товщина проміжного шару становить 1 мкм. Згідно з дослідженнями, проміжний шар складається, перш за все, з Fe₃Mo₂ та Re₇Mo₆.

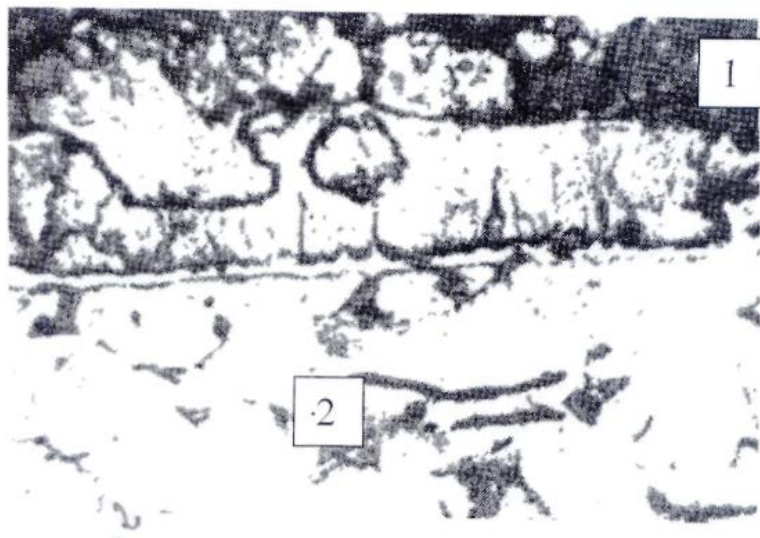


Рис. 3. Мікроструктура перехідної зони молибденового покриття, напиленого на поліровану поверхню основи з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 920 \times 35/5$):

1 – молибденове покриття; 2 – низьковуглецева сталь

На рис. 4 представлено електронну мікрофотографію молибденового покриття, нанесеного плазмовим напиленням на основу з низьковуглецевої сталі. Ділянки проплавлення показані стрілками.

Якщо проводити плазмове напилення вольфраму на попередньо нагріту до 1120–1480 °С вольфрамову пластину в середовищі особливо чистого азоту, можна отримати покриття, сплавлене з основою. За температури попереднього підігріву вище, ніж 1200 °С, між вольфрамовим покриттям та вольфрамовою основою утворюється зона твердого розчину. На рис. 5 показано структуру перехідної зони між вольфрамовою основою і покриттям.

Молибденове покриття має дуже добре з'єднання з основою, якою є алюміній. Однак з міддю та мідними сплавами міцність зчеплення його

низька. При напиленні молібдену на мідь через його високу теплопровідність відбувається швидке охолодження часток молібдену в момент зіткнення з основою і розплавлений перехідний шар не утворюється [2].

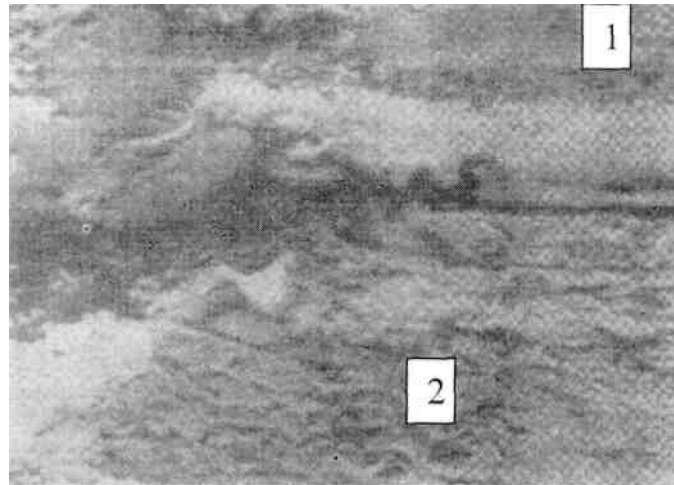


Рис. 4. Електронна мікрофотографія проміжного шару між молібденовим покриттям і основою з низьковуглецевої сталі (збільшення $\times 7500 \times 3/5$):
1 – молібденове покриття; 2 – низьковуглецеве покриття

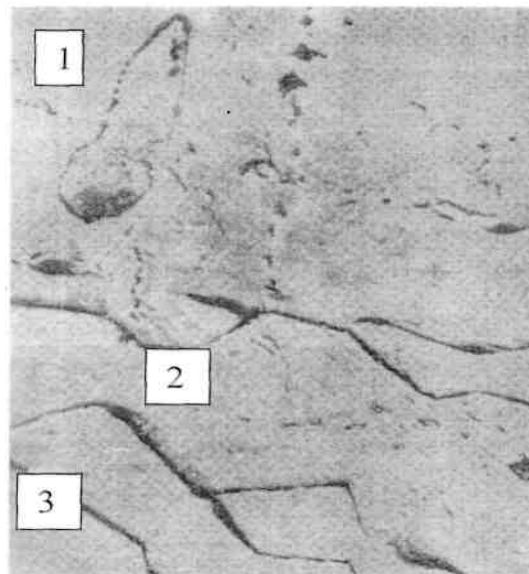


Рис. 5. Електронна мікрофотографія вольфрамового покриття, напиленого на попередньо підготовлену основу з вольфраму (збільшення $\times 10000 \times 3/5$):
1 – напилене покриття; 2 – поверхня основи; 3 – основа

Висновки

Дослідження перехідної зони між покриттям та основою дає змогу зробити висновок, що з'єднання напиленого покриття з основою здійснюється за рахунок механічного зчеплення порошку, що напилюється, з нерівностями на поверхні основи, утвореними попередньою. Воно посилюється в результаті сплавлення або хімічної взаємодії часток, що напилюються.

Список літератури

1. Витязь П. А. Теория и практика газоплазменного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко. – Минск : Наука, 1993. – 285 с.
2. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 196 с.
3. Радько І. П. Формування покриття композиційних контакт-деталей та дослідження на міцність зчеплення в процесі напылення / І. П. Радько // Праці ТДАУ. – 2013. – Вип. 13, т. 4. – С. 44–52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И. П. Радько

Аннотация. *Представлены результаты исследования переходной зоны напыленных контактных материалов в результате восстановления контактных узлов электрических аппаратов.*

Ключевые слова: *контакт, переходная зона, напыление, покрытие, микроструктура.*

STUDY OF TRANSITION ZONE METAL PLATING IN RECOVERY CONTACT ASSEMBLIES OF ELECTRICAL APPLIANCES

I. Radko

Annotation. *The research results of the transition zone of sprayed contact materials in the recovery of contact nodes of electrical apparatus are presented.*

Key words: *contact, transition zone, spraying, recovery, microstructure.*

УДК 631.362.3:631.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ НАСІННЯ У КВАЗІ-СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ПРИ ОПТИЧНІЙ СТИМУЛЯЦІЇ

О. І. Романенко, асистент

Л. С. Червінський, доктор технічних наук

e-mail: Ichervinsky@gmail.com

Анотація. *Обґрунтовано параметри повітряного каналу і режими роботи пневмозмішувача. Розроблено математичну модель процесу перемішування насіння під час його передпосівної обробки.*

Ключові слова: *аеродинамічні параметри, режим роботи, процес опромінювання, насіння.*

Список літератури

1. Витязь П. А. Теория и практика газоплазменного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко. – Минск : Наука, 1993. – 285 с.
2. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 196 с.
3. Радько І. П. Формування покриття композиційних контакт-деталей та дослідження на міцність зчеплення в процесі напылення / І. П. Радько // Праці ТДАУ. – 2013. – Вип. 13, т. 4. – С. 44–52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И. П. Радько

Аннотация. *Представлены результаты исследования переходной зоны напыленных контактных материалов в результате восстановления контактных узлов электрических аппаратов.*

Ключевые слова: *контакт, переходная зона, напыление, покрытие, микроструктура.*

STUDY OF TRANSITION ZONE METAL PLATING IN RECOVERY CONTACT ASSEMBLIES OF ELECTRICAL APPLIANCES

I. Radko

Annotation. *The research results of the transition zone of sprayed contact materials in the recovery of contact nodes of electrical apparatus are presented.*

Key words: *contact, transition zone, spraying, recovery, microstructure.*

УДК 631.362.3:631.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ НАСІННЯ У КВАЗІ-СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ПРИ ОПТИЧНІЙ СТИМУЛЯЦІЇ

***О. І. Романенко, асистент
Л. С. Червінський, доктор технічних наук
e-mail: lchervinsky@gmail.com***

Анотація. *Обґрунтовано параметри повітряного каналу і режими роботи пневмозмішувача. Розроблено математичну модель процесу перемішування насіння під час його передпосівної обробки.*

Ключові слова: *аеродинамічні параметри, режим роботи, процес опромінювання, насіння.*

Для обґрунтування параметрів повітряного каналу і режимів роботи пневмозмішувача, необхідно врахувати всі сили, які діють на насіння та епюри швидкостей повітряного потоку по перерізу каналу. Вони повинні відповідати турбулентному повітряному потоку достатньому для піднімання і обертання окремої насінини [2, 4, 6].

Мета досліджень – обґрунтування параметрів повітряного каналу та режиму перемішування насіння огірка в квазістаціонарному повітряному потоці в процесі оптичного опромінювання.

Матеріали та методика досліджень. У дослідженні використовуються закони та засоби дослідження аеродинамічних властивостей насіння при вільному падінні в повітряному середовищі.

Результати досліджень. У подібних задачах приймається ступеневий закон розподілення повітряного потоку по перерізу каналу. Тоді епюра швидкості повітряного потоку в каналі (рис.1) на відрізку $0 \leq x \leq b_0$ опишеться рівнянням

$$\vec{V} = V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \vec{i}, \quad (1)$$

де b_0 – відстань від осі каналу до стінки;

$\vec{i}$ – одиничний вектор по осі Y.

При такому законі розподілення швидкостей виникає градієнт $\text{grad}V$ повітряного потоку, який приводить до виникнення бічних сил, що діють на насінину та приводять до її обертання.

При викиданні насінини у вертикальний повітряний потік, діючі на частинку сили можна звести до узагальнюючого вектора сил $\vec{P}$ і головного моменту сил $\vec{M}$. Складовими силами узагальнюючого вектора, у нашому випадку, є сила тяжіння $\vec{G} = m\vec{g}$, сила опору повітряного потоку $\vec{R}$ та бічні сили, одна з яких $\vec{P}_1$ – виникає від градієнта $\text{grad}V$ повітряного потоку, який обтікає частинку, а інша $\vec{P}_2$ – виникає від обертання насінини, яка обтікається повітряним потоком (згідно з ефектом Магнуса). [1]

Для правильного вибору напрямку діючих сил і реалізації вищеведеного необхідно спільно розглядати графічний план швидкостей насінини і схему діючих сил.

План швидкостей та схема сил, що діють на насінину, подано на рис. 1.

Сила опору повітряного потоку $\vec{R}$ (сила реакції повітря) спрямована в бік, протилежний відносній швидкості насінини, а бокові сили спрямовані перпендикулярно відносній швидкості в напрямку, показаному на рис. 1.

Таким чином, відносну швидкість насінини в повітряному потоці на відрізку $0 \leq x \leq b_0$ знайдемо з прямокутного трикутника плану швидкостей (рис. 1)

$$u_{\text{от}} = \sqrt{(V \pm u_y)^2 + u_x^2}. \quad (2)$$

Причому, якщо швидкість витання насінини більша за швидкість повітряного потоку й насінина падає вниз – поперед u_y ставиться знак «+», у протилежному випадку ставиться знак «-».

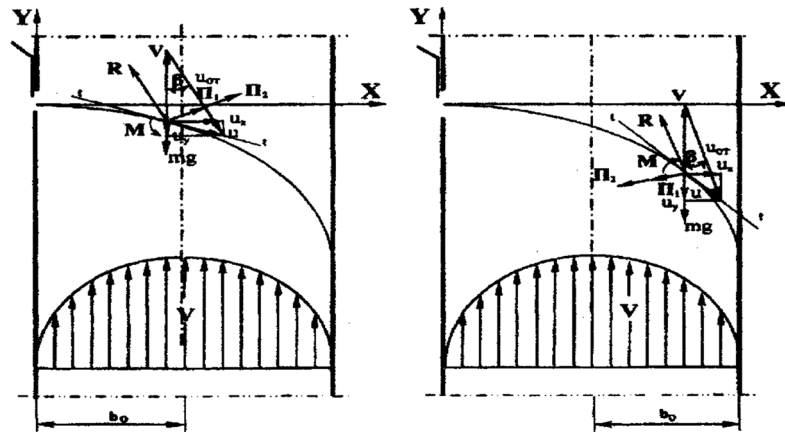


Рис. 1. План швидкостей та схема сил, що діють на насінину в повітряному потоці:

– швидкість повітряного потоку;
 – швидкість насінини та її проекції u_x , u_y на осі координат; v – відносна швидкість насінини в повітряному потоці; t – дотична до траєкторії польоту насінини в розглянутій точці

Рівняння руху насінини у квазістаціонарному повітряному потоці по проекціях на осі координат з урахуванням бокових сил і моменту сил, що діють на насінину, матиме вигляд:

$$\begin{aligned} & \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} (R \sin \beta - mg \sin \alpha) \\ & \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{m} (R \cos \beta - mg \cos \alpha) \end{aligned} \quad (3)$$

де m – маса насінини; t – час;

J – момент інерції насінини;

– кутова швидкість насінини;

– радіус-вектор від початку координат XOY , пов'язаний з насіниною, m ;

β – кут, який визначає напрямок відносної швидкості насінини до напрямку зовнішнього потоку.

Оскільки насінина огірка не має сферичної форми, то її частота обертання буде набагато вища, ніж частота обертання кулястої насінини. А отже, кінематика й динаміка руху насінини в повітряному потоці будуть іншими, ніж у кулькової чи циліндроподібної насінини. Тому при виведенні системи рівнянь руху розглядаємо конкретно насіння огірка з його геометричними та аеродинамічними характеристиками. На рис. 2 зображено форму будови насінини огірка з її «миделевим» перетином S_x , S_y , S_z по ортогональних площинах.

Унаслідок дії бічних сил у піднімаючому потоці повітря, насінина не може займати в ньому постійного та визначеного місця по відношенню до напрямку швидкості потоку. Орієнтація її в потоці буде постійно змінюватися. З цієї причини, буде змінюватися площа «миделевого» перерізу та коефіцієнт парусності. Основні розміри, «миделеві» перерізи та маса трьох типів насінин, з якими проводили дослідження, подані в табл. 1. При описуванні аеродинамічних властивостей насіння потрібно визначати коефіцієнт парусності перед коефіцієнтом аеродинамічного опору, тому що саме цей

показник є найбільш інформативним і фігурує в довідковій літературі по насінню. Тому силу опору визначаємо зі співвідношення [1, 3]

(4)

де k_n – коефіцієнт парусності, величина якого визначається експериментально для насіння всіх сільськогосподарських культур.

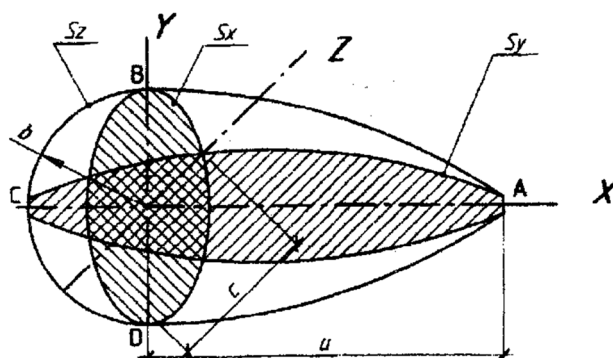


Рис. 2. Форма будови насінини огірка

Проекції сили опору R_x R_y на осі координат визначаються виразами

(5)

(6)

Геометричні розміри насіння огірка

Параметри	Одиниці вимірювання	Тип насінин		
		№ 1	№ 2	№ 3
a	мм	7,17	7,99	8,84
b	мм	2,39	2,66	2,93
c	мм	2,81	3,1	3,56
Sx	мм ²	10,55	12,95	16,38
Sy	мм ²	21,1	25,93	32,91
Sz	мм ²	35,81	44,5	54,17
T	г	0,047	0,058	0,070

Проекція відносно швидкості насінини на осі x та y визначається з плану швидкостей (рис. 1) із урахуванням значення швидкості потоку за виразом

;

(7)

—

(8)

Силу опору в розгорненому вигляді визначаємо з відношення (8), підставляючи значення відносної швидкості насінини в повітряному потоці з виразу (4).

Таким чином, у силу опору визначаємо зі співвідношення

—

(9)

Величина бічних сил, що діють на насінину, відповідно до теореми Н. Е. Жуковського, пропорційна відносній швидкості набігаючого потоку $\vec{u}_{от}$ та циркуляції Γ , тобто

$$\vec{\Pi} = \rho \vec{u}_{от} \Gamma. \quad (10)$$

де ρ – густина повітря.

Циркуляція швидкісного поля визначається криволінійним інтегралом

$$\Gamma_1 = \oint u_{0x} dx + u_{0y} = \int_0^{2\pi} \{u_{0x}[x(\alpha), y(\alpha)]\dot{x}(\alpha) + u_{0y}[x(\alpha), y(\alpha)]\dot{y}(\alpha)\} d\alpha. \quad (11)$$

де u_{0x} , u_{0y} – проекція відносної швидкості насінини;

α – кутова координата точки контуру обтікання (кут Ейлера, кут повороту насінини).

Циркуляцію швидкості Γ_1 , Γ_2 повітряного потоку по контуру насінини огірка визначаємо криволінійним інтегралом за методикою Ф. Г. Зуєва [1, 3] для випадку циркуляції швидкості:

$$\Gamma_1 = C \frac{\pi}{2} (a^2 + b^2) = \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) \quad (12)$$

$$\Gamma_2 = \pi (a^2 + b^2) \omega. \quad (13)$$

Тоді з рівняння (10), підставляючи значення проекції відносних швидкостей насінини (8), (9) та циркуляції швидкості Γ_1 , Γ_2 повітряного потоку (12), (13) отримуємо значення проекцій бокових сил відповідно на осі координат

$$\Pi_{1x} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_0^{1/7} x^{6/7}} \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (14)$$

$$\Pi_{1y} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_0^{1/7} x^{6/7}} u_x; \quad (15)$$

$$\Pi_{2x} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (16)$$

$$\Pi_{2y} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega u_x. \quad (17)$$

Оскільки напрямки дії сил проходять через центр маси насінини то величина моменту, що діє на насінину визначається силою аеродинамічного опору та плечем її прикладання відносно центра мас.

З урахуванням значення сили опору (9) сумарний момент сил, що діє на насінину дорівнює

$$M = l_c R = l_c m k_n \left\{ \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}, \quad (18)$$

де l_c – плече сили опору відносно центру мас насінини.

З векторної системи рівнянь (4) з урахуванням значень проекцій сил опору (5) і (6), проекцій відносних швидкостей насінини (7), (8), проекцій бічних сил на осі координат (14) – (17) та моменту сили опору (18) отримуємо систему рівнянь руху насінини в проекціях на осі координат для першої половини каналу, що буде записано нижче.

При потраплянні насінини у верхню частину потоку (зміна координати центра маси насінини $x > b_0$) деякі сили змінюють свій напрямок (рис. 2) тому в рівняннях (10) перед виразом цих сил знак повинен бути змінений на протилежний. Змінюється напрямок складових Π_{1x} та Π_{2x} бічних сил. Проекція сили $\vec{\Pi}_2$ на вісь Y змінює знак при зміні напрямку кутової швидкості

або знака проекції відносної швидкості на вісь X , а проекція $\vec{\Pi}_2$ на вісь X змінює знак при зміні знака ω . Напрямок моменту сил при $x > b_0$ змінюється на протилежний, напрямок сили опору, що діє впродовж осі X , визначається знаком u_x . на відрізку $b_0 < x < 2b_0$ необхідна швидкість повітряного потоку описується рівнянням

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du_x}{dt} = -k_n \sqrt{\left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} u_x + \\ + \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] + \\ + \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]; \\ \frac{du_y}{dt} = k_n \sqrt{\left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} + \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] + \\ + \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) u_x + \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega u_x - g; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{I_{cm}}{J} k_n \left\{ \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}. \end{array} \right. \quad (19)$$

$$\vec{V} = V_{\max} \left(1 - \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \vec{i} \quad (20)$$

Початкові умови рішення даного рівняння для забезпечення квазі-стаціонарного повітряного потоку для рівномірного перемішування насіння повинні бути такими

$$t=1, x=0, y=0, u_x=u_{xH}, u_y=u_{yH}, \omega_H=0.$$

Висновки

1. Обґрунтовано й досліджено математичну модель руху насінини огірка в повітряному потоці, на основі якої встановлені співвідношення геометричних та аеродинамічних параметрів окремо взятих насінин, що уможливило обґрунтування параметрів роботи вентиляційної установки для створення квазістаціонарного повітряного потоку в масі насіння для його рівномірного перемішування під час передпосівної оптичної стимуляції.

2. У результаті численних дослідів математичної моделі, оптимізовано такі параметри: довжину вентиляційного каналу та технологічні режими: кут і швидкість обертання насінини, швидкість повітряного потоку залежно від виду насіння.

Список літератури

1. Безручкин И. П. Исследование аэродинамических свойств семян методом свободного падения в воздушной среде / И. П. Безручкин // Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 1. – С. 22–31.
2. Бутаков С. Е. Воздуховоды и вентиляторы. Аэродинамика вентиляторных установок / С. Е. Бутаков // М.-Свердловск : Машгиз, 1958. – 350 с.

3. Гортинский В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1980. – 304 с.

4. Дзядзио А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзядзио, А. С. Кеммер. – М. : Колос, 1967. – 295 с.

5. Зуев Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф. Г. Зуев. – М. : Колос, 1976. – 344 с.

6. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – М.-Л. : Сельхозлит., 1955. – 764 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЕМЯН В КВАЗИ-СТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ

А. И. Романенко, Л. С. Червинский

Аннотация. *Обоснованы параметры воздушного канала и режимы работы пневматического смесителя. Разработана математическая модель процесса перемешивания семян при их предпосевной обработке.*

Ключевые слова: *аэродинамические параметры, режим работы, процесс облучения, семена.*

SIMULATION OF MIXING OF SEED IN THE QUASI-STEADY-STATE FLOW UPON OPTICAL STIMULATION

A. Romanenko, L. Chervinskiy

Annotation. *The parameters of the air channel and modes pnevmozmishuvacha. A mathematical model of the process of mixing the seeds with the preplant seed treatment.*

Key words: *aerodynamic parameters, operation mode, irradiation process, the seeds.*

УДК 681.513

АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ

***Ю. В. Шуруб, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. *Проведено дослідження та обґрунтування можливостей застосування аналітичних методів визначення параметрів налаштування регуляторів систем автоматичного керування технологічними процесами. Визначено області застосування різних типів регуляторів.*

© Ю. В. Шуруб, 2015

3. Гортинский В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1980. – 304 с.

4. Дзядзио А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзядзио, А. С. Кеммер. – М. : Колос, 1967. – 295 с.

5. Зуев Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф. Г. Зуев. – М. : Колос, 1976. – 344 с.

6. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – М.-Л. : Сельхозлит., 1955. – 764 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЕМЯН В КВАЗИ-СТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ

А. И. Романенко, Л. С. Червинский

Аннотация. *Обоснованы параметры воздушного канала и режимы работы пневматического смесителя. Разработана математическая модель процесса перемешивания семян при их предпосевной обработке.*

Ключевые слова: *аэродинамические параметры, режим работы, процесс облучения, семена.*

SIMULATION OF MIXING OF SEED IN THE QUASI-STEADY-STATE FLOW UPON OPTICAL STIMULATION

A. Romanenko, L. Chervinskiy

Annotation. *The parameters of the air channel and modes pnevmozmishuvacha. A mathematical model of the process of mixing the seeds with the preplant seed treatment.*

Key words: *aerodynamic parameters, operation mode, irradiation process, the seeds.*

УДК 681.513

АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ

***Ю. В. Шуруб, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. *Проведено дослідження та обґрунтування можливостей застосування аналітичних методів визначення параметрів налаштування регуляторів систем автоматичного керування технологічними процесами. Визначено області застосування різних типів регуляторів.*

© Ю. В. Шуруб, 2015

Ключові слова: *система автоматичного керування, синтез регулятора, параметри налаштування.*

У системах автоматичного керування технологічними процесами широко застосовуються лінійні пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Для визначення параметрів таких регуляторів найпоширенішими є частотні графо-аналітичні методи синтезу [1]. При цьому вони базуються на поданні автоматичної системи як комбінації двох елементів – об'єкта керування й регулятора, та часто не враховують особливості технічної реалізації окремих складових системи автоматичного керування, наприклад, виконавчого механізму.

Якщо виконавчий механізм або інші можливі елементи через велике значення постійної часу або через свої інтегруючі властивості мають значний вплив на частотні та динамічні характеристики системи, складність застосування графо-аналітичних методів синтезу регулятора значно зростає. Тоді можна рекомендувати застосування аналітичних методів [2, 3].

Мета досліджень – визначення можливості застосування аналітичних методик синтезу регуляторів у системах автоматичного керування технологічними процесами.

Матеріали та методика досліджень. Аналітична методика визначення параметрів регуляторів базується на поданні передатної функції розімкненої системи у вигляді

$$W_{роз}(s) = W_{рег}(s) \cdot W_{нч}(s), \quad (1)$$

де $W_{рег}(s)$ – передатна функція регулятора, що подається у вигляді $W_{рег}(s) = K_p$ – для П-регулятора, $W_{рег}(s) = K_i / s$ – для І-регулятора, $W_{рег}(s) = K_p + K_i / s$ – для ПІ-регулятора, $W_{рег}(s) = K_p + K_i / s + K_d s$ – для ПІД-регулятора;

$W_{нч}(s)$ – передатна функція незмінної частини системи, що може вміщувати у загальному вигляді об'єкт керування, первинний вимірюваний перетворювач та виконавчий механізм.

Якщо наперед задатися бажаною передатною функцією $W_{роз}(s)$, можна визначити потрібну передатну функцію регулятора та його параметри налаштування за формулою

$$W_{рег}(s) = \frac{W_{роз}(s)}{W_{нч}(s)}. \quad (2)$$

Запропонована методика налаштування параметрів полягає у введенні астатизму в систему та у компенсації l інерційних ланок за рахунок дії відповідних регуляторів [2, 3]. Бажана передатна функція розімкненої системи при цьому шукається у вигляді

$$W_{роз}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{T_o s \prod_{i=l+1}^m (T_i s + 1)}, \quad (3)$$

де T_o – постійна часу інтегруючої складової;

l – кількість компенсованих інерційних ланок з великими постійними часу;

$m-l$ – кількість некомпенсованих інерційних ланок з малими постійними часу.

Якщо вибрати T_o із умов $T_o > T_{l+1}$ та $T_o > \tau$, де T_{l+1} є найбільшою з некомпенсованих постійних часу T_i , то частота зрізу дорівнюватиме $\omega_z = 1/T_o$, а запас стійкості за фазою при такій частоті зрізу становитиме:

$$\Delta\varphi(\omega_z) = -\pi + \frac{\pi}{2} + \tau\omega_z + \sum_{i=l+1}^m \arctg T_i \omega_z. \quad (4)$$

Оскільки $T_o > T_{l+1}$, то $\arctg T_i \omega_z < \pi/4$ та відповідно $\arctg T_i \omega_z \approx T_i \omega_z$. Тоді (4) можна записати

$$\Delta\varphi(\omega_z) = -\frac{\pi}{2} + \tau\omega_z + \sum_{i=l+1}^m T_i \omega_z = -\frac{\pi}{2} + T_\mu \omega_z, \quad (5)$$

де $T_\mu = \tau + \sum_{i=l+1}^m T_i$ – сумарна некомпенсована постійна часу.

Враховуючи (5), вираз (3) можна подати у вигляді:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1}{T_o s (T_\mu s + 1)}. \quad (6)$$

При цьому передатна функція замкненої системи буде мати вигляд

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{1}{T_o T_\mu s^2 + T_o s + 1}. \quad (7)$$

Динамічні властивості системи з передатною функцією (7) залежать від співвідношення постійних часу $a = \frac{T_o}{T_\mu}$. При $a = 2$ ($T_o = 2T_\mu$) забезпечується

час регулювання $t_p = 4,7T_\mu$ при незначному перерегулюванні $\sigma = 4,3\%$, що задовольняє вимоги до великої частини об'єктів. Тому таке налаштування отримало назву налаштування на *технічний оптимум*. Тоді бажана передатна функція розімкненої системи матиме вигляд

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1}{a T_\mu s (T_\mu s + 1)} \quad (8)$$

та може бути застосована до систем із інтегруючими ланками та без них.

Результати досліджень. 1. *Незмінна частина системи не має інтегруючих ланок.* Наприклад, об'єкт керування апроксимується інерційною ланкою із запізненням, сприймаючий елемент – інерційною ланкою, виконавчий механізм – теж інерційною ланкою (електронагрівач, вентилятор, сервопривод, охоплений місцевим жорстким зворотним зв'язком за положенням регулюючого органу). За виконання цієї умови дана методика може бути застосована до І-, ПІ-, ПІД-алгоритмів регулювання.

При цьому передатна функція незмінної частини системи подається у вигляді

$$W_{\text{нч}}(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{\prod_{i=1}^m (T_i s + 1)} \quad (9)$$

Передатна функція регулятора при $a=2$, відповідно до (2), (7) та (9), визначиться таким чином:

$$W_{pez}(s) = \frac{W_{poz}(s)}{W_{нч}(s)} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K T_o s} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K 2 T_\mu s}. \quad (10)$$

Кількість можливих компенсованих інерційних ланок l залежить від виду регулятора.

а) при використанні І-регулятора $l=0$ (усі постійні часу вважаються малими). У цьому випадку вводиться астатизм та забезпечується час регулювання $t_p = 4,7 T_\mu$. Передатна функція регулятора:

$$W_{pez}(s) = \frac{1}{K 2 T_\mu s}. \quad (11)$$

Параметр налаштування $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$;

б) при використанні ПІ-регулятора $l=1$ (компенсується одна інерційна ланка з великою постійною часу T_1 , інші постійні часу вважаються малими). Передатна функція регулятора:

$$W_{pez}(s) = \frac{T_1 s + 1}{K 2 T_\mu s} = \frac{T_1}{K 2 T_\mu} + \frac{1}{K 2 T_\mu s}. \quad (12)$$

Параметри налаштування $K_p = \frac{T_1}{K 2 T_\mu}$, $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$;

в) при використанні ПІД-регулятора $l=2$ (компенсуються дві інерційні ланки з великими постійними часу T_1 та T_2). Тоді:

$$W_{pez}(s) = \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{K 2 T_\mu s} = \frac{T_1 + T_2}{K 2 T_\mu} + \frac{1}{K 2 T_\mu s} + \frac{T_1 T_2}{K 2 T_\mu} s. \quad (13)$$

Параметри налаштування $K_p = \frac{T_1 + T_2}{K 2 T_\mu}$, $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$, $K_d = \frac{T_1 T_2}{K 2 T_\mu}$.

2. Незмінна частина системи має інтегруючу ланку. Наприклад, інтегруючими ланками є серводвигун без місцевого зворотного зв'язку, об'єкт керування без самовирівнювання. Тоді передатна функція незмінної частини матиме вигляд

$$W_{нч}(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{s \prod_{i=1}^m (T_i s + 1)}. \quad (14)$$

У цьому випадку застосування І-, ПІ-, та ПІД- регуляторів приводить до астатизму другого порядку синтезованої системи, що при застосуванні даної методики значно зменшує запаси стійкості та погіршує показники якості перехідних процесів. Тому для систем із астатичною незмінною частиною ця методика може бути застосована до систем з ПІ-регулятором.

Тоді, виходячи з бажаної передатної функції розімкненої системи (8), застосовуючи вирази (2) та (14), отримаємо передаточну функцію регулятора

$$W_{peg}(s) = \frac{W_{poz}(s)}{W_{nc}(s)} = \frac{s \prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K T_o s} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K 2 T_\mu} . \quad (15)$$

У випадку $l=0$ (відсутні інерційні ланки, що компенсуються) матимемо передаточну функцію П-регулятора

$$W_{peg}(s) = \frac{1}{K 2 T_\mu} , \quad (16)$$

з параметром налаштування $K_p = \frac{1}{K 2 T_\mu}$, який приводить динамічні показники

якості до показників технічного оптимуму, тоді як статична похибка знищується за рахунок інтегруючих властивостей самої незмінної частини.

У випадку $l=1$ та більше виникають труднощі фізичної реалізації через більший порядок чисельника, ніж знаменника передатної функції регулятора.

Отже, у випадку астатичної незмінної частини системи при застосуванні даної методики можна рекомендувати:

- використання П-регуляторів;
- у випадках коли необхідно зменшити час регулювання $t_p = 4,7 T_\mu$

шляхом компенсації інерційних ланок слід позбутись інтегруючих ланок у незмінній частині шляхом охоплення їх місцевим зворотним зв'язком.

Висновки

Запропонована аналітична методика дає змогу визначити параметри регуляторів автоматичних систем, що мають декілька інерційних ланок та запізнення, враховуючи динамічні властивості виконавчих механізмів.

Список літератури

1. Мартыненко И. И. Проектирование систем автоматики / И. И. Мартыненко, В. Ф. Лысенко. – М. : Агропромиздат, 1990. – 224 с.
2. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
3. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Ю. В. Шуруб

Аннотация. Проведено исследование и обоснование возможностей использования аналитических методов определения параметров настройки регуляторов систем автоматического управления технологическими процессами. Определены области применения разных типов регуляторов.

Ключевые слова: система автоматического управления, синтез регулятора, параметры настройки.

ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF INDUSTRIAL PID REGULATOR

Y. Shurub

Annotation. *The study and justification of possibilities of using of analytical methods for the determination of the parameters of regulators in automatic control systems of technological processes are carried out. Areas of application of different types of regulators are identified.*

Key words: *automatic control system, synthesis of controller, settings parameters.*

УДК 621.314

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

*О. І. Щепотьев, кандидат технічних наук
А. В. Жильцов, доктор технічних наук
В. В. Васюк, асистент
e-mail: azhilt@gmail.com*

Анотація. *Розглянуто методи підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.*

Ключові слова: *надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.*

Зростання вимог до ефективності експлуатації складних систем призводить до необхідності вирішення задач забезпечення високої якості інформації, яка циркулює в системі управління.

Мета досліджень – обґрунтування методів підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.

Матеріали та методика досліджень. Ефективність експлуатації – це ступінь реалізації можливостей органу управління в інтересах забезпечення реалізації максимальних можливостей об'єкта управління. Вона залежить від ступеня інформованості, тобто ступеня забезпеченості органу управління достовірними відомостями для прийняття оптимального (доцільного) рішення.

У процесі здійснення експлуатаційного контролю допускається повна безвідмовність засобів контролю, а можливі результати контролю обумовлені лише їх точністними характеристиками і фактичним станом об'єкта контролю [3].

Показник інформованості повинен мати інтегрований характер і відображувати якість всієї інформації, необхідної для прийняття рішення.

ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF INDUSTRIAL PID REGULATOR

Y. Shurub

Annotation. *The study and justification of possibilities of using of analytical methods for the determination of the parameters of regulators in automatic control systems of technological processes are carried out. Areas of application of different types of regulators are identified.*

Key words: *automatic control system, synthesis of controller, settings parameters.*

УДК 621.314

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

*О. І. Щепотьев, кандидат технічних наук
А. В. Жильцов, доктор технічних наук
В. В. Васюк, асистент
e-mail: azhilt@gmail.com*

Анотація. *Розглянуто методи підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.*

Ключові слова: *надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.*

Зростання вимог до ефективності експлуатації складних систем призводить до необхідності вирішення задач забезпечення високої якості інформації, яка циркулює в системі управління.

Мета досліджень – обґрунтування методів підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.

Матеріали та методика досліджень. Ефективність експлуатації – це ступінь реалізації можливостей органу управління в інтересах забезпечення реалізації максимальних можливостей об'єкта управління. Вона залежить від ступеня інформованості, тобто ступеня забезпеченості органу управління достовірними відомостями для прийняття оптимального (доцільного) рішення.

У процесі здійснення експлуатаційного контролю допускається повна безвідмовність засобів контролю, а можливі результати контролю обумовлені лише їх точністними характеристиками і фактичним станом об'єкта контролю [3].

Показник інформованості повинен мати інтегрований характер і відображувати якість всієї інформації, необхідної для прийняття рішення.

Як такий показник може бути використана достовірність експлуатаційного контролю.

Достовірність експлуатаційного контролю – це показник ступеня об'єктивності відображення результатами контролю дійсного стану того чи іншого об'єкта. Вона може бути представлена у вигляді двох її складових: методичної достовірності та інструментальної достовірності.

Методична достовірність – це складова достовірності експлуатаційного контролю, яка визначається сукупністю ознак об'єкта контролю, методикою опрацювання інформації, прийнятими критеріями оцінки стану об'єкта та ін.

Величина методичної достовірності інформації (D_m) може бути визначена як відношення кількості інформації J_{n_k} , отриманої в результаті опрацювання n_k параметрів (ознак) об'єкта, до ентропії об'єкта $H_0(N)$:

$$D_m = \frac{J_{n_k}}{H_0(N)} = \frac{H_0(N) - \sum_{i \in n_H} \text{Pr}_i H_0(n_H)}{H_0(N)},$$

де $H_0(n_H) = \sum_{i \in n_H} \text{Pr}_i \cdot \log_2 \cdot \text{Pr}_i - (1 - \sum_{i \in n_H} \text{Pr}_i) \log_2 (1 - \sum_{i \in n_H} \text{Pr}_i)$ – ентропія множини n_H

ознак об'єкта, які не входять до складу n_k ознак;

Pr_i – ймовірність отримання достовірної інформації про об'єкт під час опрацювання інформації за i -ю ознакою;

n_H – множина ознак об'єкта, за якими опрацювання інформації не здійснюється (інформація невідома);

N – загальна кількість ознак.

Якщо $n_k = N$, то $D_m = 1,0$.

Методична достовірність результатів контролю залежить також від кількості джерел (кількості параметрів), з яких інформація надходить від об'єкта контролю до системи контролю.

Інформація за i -ю ознакою може бути достовірною або помилковою, інформація I_i^* є повна об'єктивна інформація за i -ю ознакою I_i , помножена на її перетворення при передачі до користувачів (авторитет), d_i , (рис.1), де d_i – достовірність інформації за i -ю ознакою об'єкта, тобто ймовірність того, що результати контролю за i -ю ознакою є правдивими.

Тому наявність декількох джерел інформації (параметрів) можна розглядати як систему постачальників інформації (зі своєю ймовірністю, що інформація правдива), які резервують один одного з метою підвищення достовірності інформації про стан об'єкта в цілому.

При багатопараметровому контролі інформація про стан об'єкта в цілому буде хибною, якщо вона буде хибною за кожною ознакою, тобто:

$$Q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_i \cdot \dots \cdot q_k = \prod_{i=1}^k q_i,$$

де Q – ймовірність того, що інформація про стан об'єкта в цілому буде помилковою;

q_i – ймовірність того, що інформація за i -ю ознакою об'єкта буде помилковою.

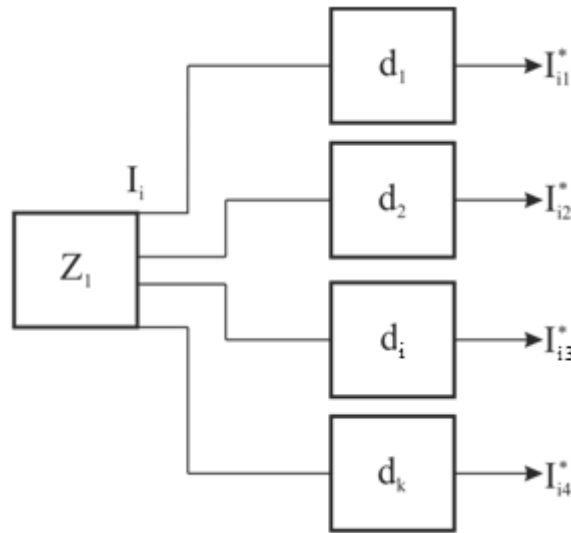


Рис. 1. Схема передачі інформації до користувачів

При цьому, ймовірність того, що інформація про стан об'єкта контролю в цілому буде достовірною, D визначається таким виразом:

$$D_m = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^K q_i = 1 - (1 - d_1) \cdot (1 - d_1) \dots$$

$$\dots (1 - d_i) \dots (1 - d_k) = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - d_i)$$

Наприклад, якщо достовірність інформації за кожною з чотирьох ознак становить 0,9, то достовірність інформації про об'єкт в цілому дорівнює:

$$D_m = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - d_i) = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - 0,9) = 1 - 0,1^4 = 0,9999.$$

Це означає, що ймовірність отримання неправдивої інформації від системи з чотирьох ознак (параметрів) зменшена відносно однієї ознаки в 10^4 разів. При цьому, достовірність контролю буде збільшуватися зі збільшенням кількості контрольованих параметрів (ознак) і значень достовірності контролю по кожному з них.

Результати досліджень. Характер зміни D залежно від кількості джерел n при значеннях $d_i = 0,8$ і $d_i = 0,9$ проілюстровано на рис. 2.

Таким чином, при збільшенні достовірності інформації за кожної з ознак і кількості ознак методична достовірність контролю суттєво зростає. При цьому, з'являється можливість забезпечити необхідну величину достовірності контролю об'єкта в цілому.

Інструментальна достовірність – це складова достовірності контролю, яка визначається ймовірнісними властивостями ознак об'єкта контролю, видом алгоритму опрацювання результатів контролю, точнісними характеристиками засобів вимірювання та ін.

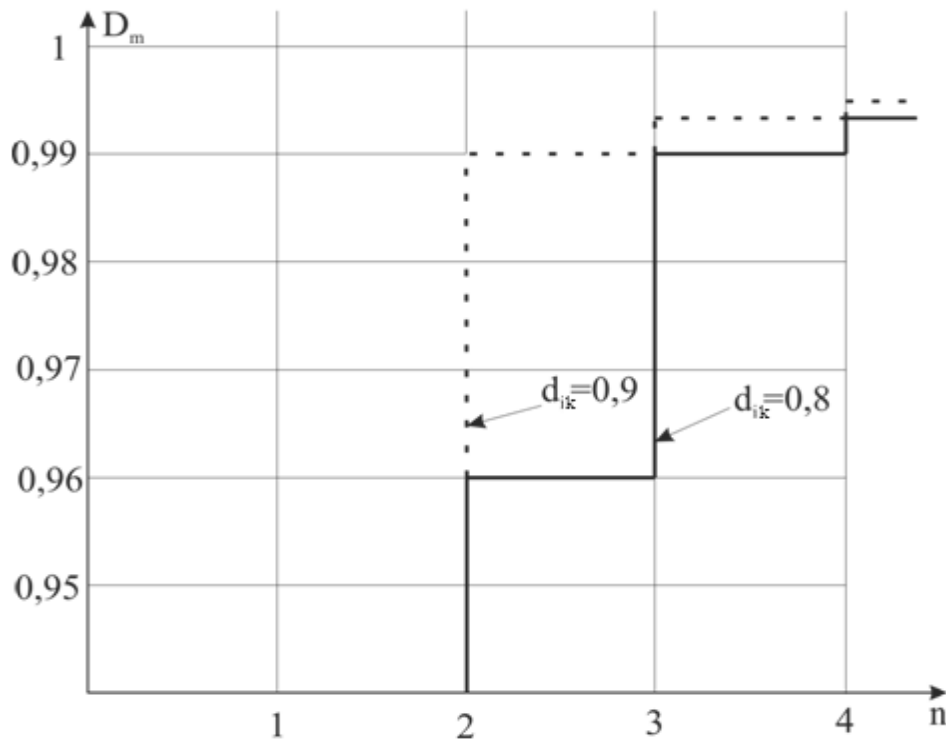


Рис. 2. Характер зміни достовірності інформації залежно від кількості джерел

При зменшенні відношення похибки вимірювача до величини допуску параметра величина інструментальної достовірності збільшується.

Наприклад. При величині допуску на значення параметра $\Delta_{\pi} = 10\%$, і похибки вимірювача $\Delta_i = 0,3\%$ величина $\frac{\sigma_i}{\sigma_{\pi}} = 0,033$. З графіка залежності достовірності D_i, D_j значень цього співвідношення визначаємо величину $D_i = 0,9$.

Величина інструментальної достовірності інформації в цілому по об'єкту може бути визначена так:

$$D_i = \prod_{j=1}^N D_{ij}$$

де D_j – інструментальна достовірність інформації за j -ю ознакою об'єкта;

N – загальна кількість ознак (параметрів).

Одним із методів підвищення інструментальної достовірності результатів контролю є застосування принципу мажоритарної логіки. При цьому проводять багаторазове вимірювання значень параметрів і як ймовірне вважають усереднене значення. Сутність підвищення точності вимірювань полягає в тому, що при багаторазовому вимірюванні середня квадратична помилка середнього арифметичного результату з m вимірювань становитиме

$$\sigma = \frac{\sigma_i}{\sqrt{m}},$$

де σ_i – середньоквадратична помилка одного виміру;

m – кількість вимірювань.

Це справедливо, якщо вимірювання вільні від систематичних похибок.

При багаторазових вимірюваннях можна практично повністю звільнитися від впливу збоїв на кінцевий результат. Для цього необхідно до усереднення опрацьовувати приватні результати вимірювань за принципом мажоритарної логіки. Цей принцип дозволяє оцінювати результати декількох вимірів за системою евритичного голосування.

Так, робота мажоритарного елемента на три входи описується перемикаючою функцією $M(xyz)$, яка визначається такою таблицею.

Робота мажоритарного елемента на три входи

Номер набору	0	1	2	3	4	5	6	7
x	0	0	0	1	0	1	1	1
y	0	0	1	0	1	0	1	1
z	0	1	0	0	1	1	0	1
$M(xyz)$	0	0	0	0	1	1	1	1

Функція $M(xyz)$ дорівнює "1" на тих наборах, на яких більшість аргументів дорівнює "1" і "0" – на решті наборів. Методика застосування мажоритарної логіки передбачає необхідність вирішення наступних задач:

- визначення кількості вимірювань m для підвищення точності вимірювань;
- визначення кількості повторних операцій n , при якому можна очікувати не менш m вірних результатів з імовірністю $R_{m,n}$, де $m < n$.

Загальна достовірність експлуатаційного контролю може бути визначена як множення величин її складових, тобто множення величин методичної достовірності D_m та інструментальної достовірності D_i контролю

$$D = D_m \cdot D_i$$

Отже, якість інформації залежить від множини чинників, які визначаються як характеристиками самого об'єкта контролю, так і характеристиками засобів і заходів, які використовуються при одержанні та опрацюванні інформації. При цьому, похибки технічних засобів вимірювань повинні бути відносно розмірів допуску на відхилення значень контрольованого параметра від його номінального значення менше, ніж у три рази.

З іншого боку, вимірювання всіх параметрів дає змогу отримувати надмірну інформацію, тобто більшу, ніж величина ентропії. При цьому, вибір необхідної кількості надмірної інформації I повинен бути пов'язаний з кількістю припустимих витрат на отримання інформації S . Це може бути отримано після вирішення визначених задач із застосуванням визначених показників ефективності. Наприклад, можлива постановка двох задач:

1. Необхідно забезпечити максимальну кількість інформації I при заданих витратах $S_{\text{зад}}$:

$$I = \max; S \leq S_{\text{зад}};$$

2. Необхідно забезпечити мінімальну кількість витрат S при заданому рівні кількості інформації $I_{\text{зад}}$:

$$S = \min; I \geq I_{\text{зад}}.$$

Цю задачу можна вирішити й іншими шляхами, наприклад, із застосуванням показника «інформація-витрати» I/S .

Висновки

Таким чином, для досягнення необхідної якості експлуатаційного контролю необхідно планувати й проводити цілу низку методичних заходів щодо побудови найбільш раціональної структури процесу отримання необхідної кількості інформації та її всебічного аналізу і синтезу задля забезпечення високої якості експлуатаційного контролю.

При цьому, надійність системи контролю повинна бути на порядок вище за надійність об'єкта контролю, а похибки технічних засобів вимірювань – менші за розміри допуску на контрольований параметр (не менше, ніж у три рази).

Список літератури

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 364 с.
2. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Мир, 1990. – 206 с.
3. Щепотьев А. И. Инструментальная достоверность результатов контроля и её зависимость от характеристик контролируемых параметров и средств контроля / А. И. Щепотьев, А. Ю. Смаковенко // Средства индикации и управления систем автоматизированного контроля авиационной техники; инв. 3041. – М. : ВВС, 1972.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

А. И. Щепотьев, А. В. Жильцов, В. В. Васюк

Аннотация. Рассмотрены методы повышения качества эксплуатационного контроля сложных систем.

Ключевые слова: надежность, допусковый контроль, инструментальная достоверность, объект контроля.

METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF OPERATIONAL CONTROL OF COMPLEX SYSTEMS

A. Schepotyev, A. Zhiltsov, V. Vasyuk

Annotation. Methods for improving the quality of operational control of complex systems.

Key words: reliability, tolerance control, the accuracy of the tool, the object of control.

ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

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

Анотація. Проведено дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики змішувачів кормів. Встановлено залежності нерівномірності змішування змішувача та питомої витрати електроенергії від частоти струму.

Ключові слова: *електропривод, кутова швидкість, частота струму, змішувач кормів, нерівномірність змішування, питома витрата електроенергії.*

Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень в асинхронних електроприводах спричинює порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції та скорочення строку служби електродвигунів [1].

При відхиленні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка, у свою чергу, зумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин.

Мета досліджень – встановлення впливу відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики змішувачів кормів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості асинхронних електроприводів при відхиленні частоти струму проведено з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосування математичного моделювання.

Під час експериментальних досліджень частоту струму змінювали за допомогою перетворювача частоти фірми «Mitsubishi» і вимірювали тахометром кутову швидкість змішувача кормів С-12. При цьому визначали нерівномірність змішування та питому витрату електроенергії.

Результати досліджень. При зміні частоти струму механічна характеристика асинхронного електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [2]:

$$M_{\phi} = \beta_{\phi} \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (1)$$

де M_{ϕ} – момент двигуна, Н·м;

β_{ϕ} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;

f – частота струму, Гц;

p – число пар полюсів;

ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

Механічна характеристика змішувача кормів С-12 описується рівнянням [3]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right), \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м;

M_0 – початковий момент, Н·м;

$M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м;

ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_o \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right), \quad (3)$$

або

$$\beta_o \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_0 + \frac{M_{сн} - M_0}{\omega_*}. \quad (4)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті струму f_n :

$$\omega_{0н} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (5)$$

Тоді рівняння (4) запишеться у вигляді:

$$\beta_o (\omega_{0н} f_* - \omega_n \omega_*) = M_0 + \frac{M_{сн} - M_0}{\omega_*}, \quad (6)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) / \omega_* + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}}. \quad (7)$$

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, отримаємо:

$$f_* = \frac{M_{сн} / \omega_* + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}}. \quad (8)$$

Оскільки

$$M_{сн} = K_z M_{\partialн}, \quad (9)$$

де K_z – коефіцієнт завантаження двигуна,

$$\beta_o = \frac{M_{\partialн}}{\omega_0 - \omega_n} = \frac{M_{\partialн}}{\omega_0 s_n}, \quad (10)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна, то

$$f_* = \frac{K_z s_n}{\omega_*} + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}} \omega_*. \quad (11)$$

Для двигунів із жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання невелике і $\omega_n \approx \omega_{0н}$, тому першим доданком у виразі (11) можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$f_* \approx \omega_*. \quad (12)$$

Було проведено експериментальні дослідження зміни нерівномірності змішування кормів при зміні частоти струму двигуна (рис. 1). Вони показали, що ця залежність є нелінійною. Найменша нерівномірність змішування забезпечується при номінальній частоті струму двигуна. При більшій або меншій частоті струму нерівномірність змішування зростає.

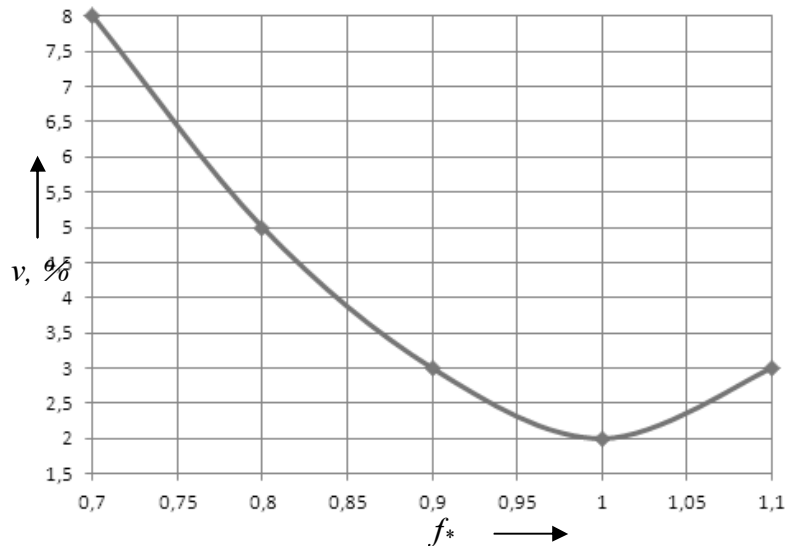


Рис. 1. Залежність нерівномірності змішування змішувачем кормів С-12 від частоти струму

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах впливає на втрати потужності.

Якщо знехтувати механічними втратами і втратами потужності в роторі, то постійні втрати асинхронного двигуна при зміні частоти струму визначатимуться за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (13)$$

де ΔP_{cm1n} – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення, Вт.

Тоді втрати в сталі двигуна при номінальній напрузі

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f_*^{1,3}. \quad (14)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \right), \quad (15)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R'_2 – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом.

Оскільки у разі зміни частоти струму ковзання практично не змінюється, то перепад швидкості буде:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{ном}. \quad (16)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f_* f_n}{p} s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (17)$$

Для змішувачів кормів

$$M_c \approx \frac{M_{сн}}{f_*}. \quad (18)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{vh}. \quad (19)$$

Питома витрата електроенергії змішувача кормів у відносних одиницях, кВт·год/кг, визначається так:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{vh}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh} (\alpha f_*^{1.3} + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{P_{2н} + \Delta P_{vh} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (20)$$

де $P_{2н}$ и P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт;

$\Delta P_{сн}$ і ΔP_c – постійні втрати, Вт;

ΔP_{vh} і ΔP_v – змінні втрати, Вт;

α – коефіцієнт втрат.

Оскільки $P_2 / P_{2н} = 1$, а

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vh} (\alpha + 1), \quad (21)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній частоті струму, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} (\alpha f_*^{1.3} + f_*^3)}{\left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{1.3} + 1). \quad (22)$$

Таким чином, зниження частоти струму від номінального значення спричинює зменшення питомої витрати електроенергії у змішувачів кормів, а її підвищення – збільшення (рис. 2).

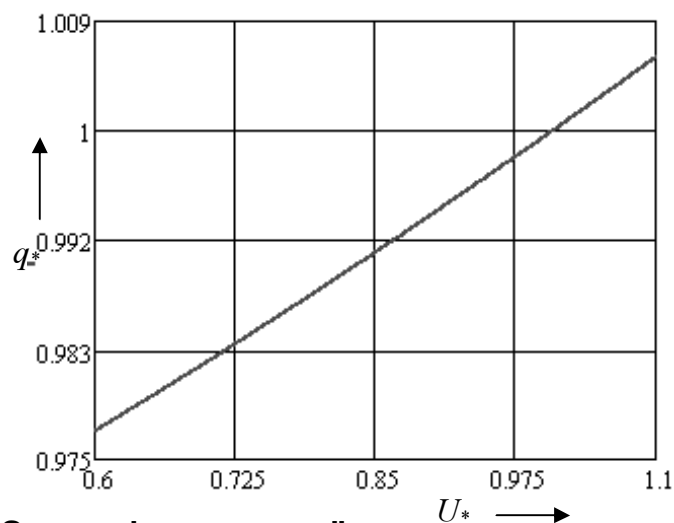


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії змішувача кормів С-12 від частоти струму

Висновки

При відхиленні частоти струму нерівномірність змішування кормів зростає. У цьому разі, зміна питомої витрати електроенергії не перевищує 4 %.

Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко, І. І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 1 (6). – С. 3–12.
2. Електропривод / [Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. та ін.] ; за ред. Ю. М. Лавріненка. – К. : Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній / [Жулай Є. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М. та ін.] ; за ред. Є. Л. Жулая. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ТОКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСИТЕЛЕЙ КОРМОВ

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко

Аннотация. Проведено исследование влияния частоты тока на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики смесителей кормов. Установлены зависимости неравномерности смешивания смесителя и удельного расхода электроэнергии от частоты тока.

Ключевые слова: электропривод, угловая скорость, частота тока, смеситель кормов, неравномерность смешивания, удельный расход электроэнергии.

INFLUENCE OF FREQUENCIES ON TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF FEED MILL

A. Sinyavsky, V. Savchenko

Annotation. The effect of current frequency on angular speed, technological and energy characteristics of the feed mixer are conducted. The dependences of the uneven mixing of the mixer and the specific energy consumption from the current frequency are established .

Key words: electric drive, angular speed, current frequency, feed mixer, mixing uneven, specific energy consumption.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДІВ ПРИ ЇХ РОЗМИКАННІ

А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук
email: amrachkovskyi@mail.ru

Анотація. Проаналізовано процеси розмикання електродів та розраховано параметри площі контактування залежно від геометрії контактів.

Ключові слова: деформація, провідність, розряд, площа контактування, об'єм металу, електроди, контактний натиск, питомий опір.

Характер зміни фактичної контактної площі дотику електродів при їх розмиканні суттєво залежить від ряду параметрів, що не завжди піддаються точному визначенню (геометрія, стан і властивості поверхні електродів, фактична швидкість розходження окремих точок, розподіл тиску між зонами контактування та інші).

Мета досліджень – аналіз та характеристика факторів у процесі розмикання контактів та розрахунок параметрів електродів.

Матеріали та методика досліджень. Під час проведення розрахунків, пов'язаних із процесами розмикання електродів, приймаємо, що контактні площі мають правильну і найпростішу геометричну форму, а деформації – пружні та пластичні. Рух електродів відносно один одного зазвичай вважається поступальним у напрямі, перпендикулярному площині контактної поверхні, матеріал електродів вважається твердим або пластичним, а поверхня чистою.

Але навіть за таких умов, коли можливий миттєвий розрив контакту, електричний опір між ними не буде змінюватися так само миттєво, оскільки при цьому відбувається зміна механізму протікання струму – замість металевої виникає тунельна провідність, а надалі, якщо є відповідні умови, між електродами виникає розряд.

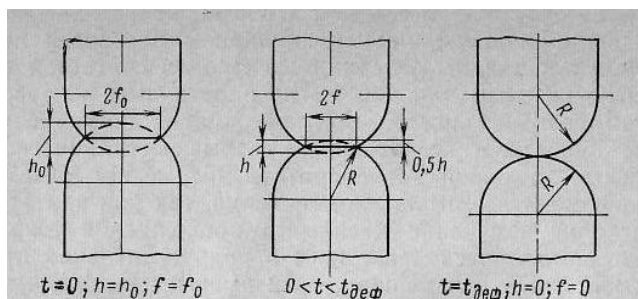


Рис. 1. Схема процесу розмикання контактів у початковій стадії

Миттєвий розрив контактів ще не означає відповідного розриву провідності між електродами. Цей перехідний процес залежить від швидкості розми-

кання електродів і параметрів кола. Відповідно, відбувається і збільшення опору між електродами, що призводить до порушення, встановлююного в замкненому стані, теплого режиму, до перегріву всієї контактної поверхні та її ділянок, на яких відбувається дійсний контакт між електродами. У результаті нагріву контактних зон і всієї поверхні, змінюються пружні властивості матеріалу.

У найпростішому випадку, коли поверхні електродів мають ідеальну сферичну форму й розмикання відбувається без струму, радіус f контактної площі визначаємо за формулою:

$$f = \sqrt[3]{\frac{3PR}{4E}}; (1) f = \sqrt[3]{\frac{4PR}{3E}}; (2) h = \sqrt[3]{\frac{9P^2}{16E^2R}}, \quad (1)$$

де P – контактний натиск;

R – радіус поверхні електродів;

E – модуль пружності електродів.

З рис. 1 видно, що зближення електродів h залежить від радіуса кривизни контактної поверхні R та радіуса контактної площі $f(t)$ і визначається за формулою:

$$h = 2(R - \sqrt{R^2 - f^2}) \quad (2)$$

За умови, що $f \ll R$, можна записати:

$$f = \sqrt{Rh}; \quad (3)$$

$$f_0 = \sqrt{Rh_0}. \quad (4)$$

Відносна зміна розмірів контактної площі спочатку відбувається повільно, а наприкінці процесу зняття деформації стає більш різкою. Унаслідок збільшення опору через зменшення контактної площі під дією струму, в цих зонах температура буде підвищуватися, причому особливо різке підвищення температури аж до температури плавлення, теплового вибуху та випаровування буде спостерігатися наприкінці процесу розмикання (рис. 2).

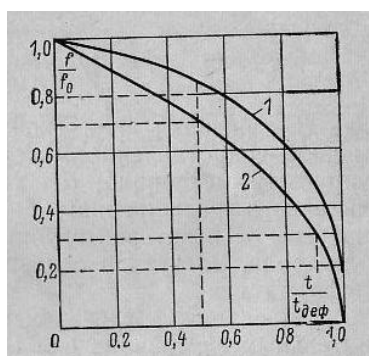


Рис. 2. Зміна розмірів контактної площі при розмиканні контактів

Такі співвідношення справедливі тільки тоді, коли можна не враховувати теплову дію струму. Якщо нею неможливо знехтувати, то мають місце такі крайні випадки:

- коли електроди не змінюють свого положення відносно один одного (тобто залишаються нерухомими за весь період процесу нагрівання під дією струму).

- коли електроди один відносно одного можуть переміщуватися перпендикулярно площі контакту під дією внутрішніх сил, які виникають за рахунок теплового розширення.

У цих випадках характер зміни фактичної площі дотику залежатиме від об'єму зони нагрівання на електроді й температури нагріву. За критичної температури, коли відбувається плавлення контакту, умови контактування набувають якісно нового характеру.

Якщо електроди нерухомі, то нагрівання деякого його об'єму ще до плавлення викличе теплове розширення, у результаті чого, між електродами виникне додаткова сила. Площа контакту буде визначатися сумарною дією зовнішньої сили тиску і додатковою внутрішньою силою розмикання електродів.

Тоді радіус ефективної контактної площі визначатиметься відношенням:

$$f = \sqrt{\frac{lP}{\pi(\sigma l - E\alpha l_0 T)}}, \quad (5)$$

де σ – опір матеріалу;

E – модуль пружності матеріалу;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення;

T – середня температура нагріву, l_0 ;

l – висота частини деформації електрода.

У випадку, коли електроди під дією додаткових внутрішніх сил можуть вільно переміщуватися, контактна площа під час нагрівання може змінюватися за рахунок зміни характеристик матеріалу і приріст радіуса контактної площі буде практично незначним.

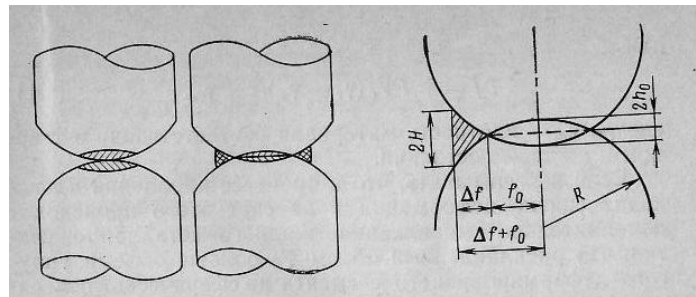


Рис. 3. Схема витіснення розплавленого металу

Якщо ж нагрів супроводжується плавленням деякого об'єму, то розплавлений матеріал видавлюватиметься і ним буде заповнюватися зазор, який прилягає до контактної зони поверхні (рис. 3). Якщо електроди були попередньо стиснуті дією зовнішньої сили P , то розплавлений матеріал видавлюватиметься не тільки за рахунок зміни об'єму матеріалу при плавленні, але й за рахунок деформації електродів.

Зміна радіуса контактної площі, спричинена матеріалом, витісненим у зазор між поверхнями електродів і безпосередньо прилеглими до контактної площі, за рахунок тільки об'ємного розширення, визначатиметься, згідно з рис. 3, вирішенням наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta V_0 = 2\pi H(f_0 + \Delta f)^2 - \frac{1}{3}\pi H[3(f_0 + \Delta f)^2 + 3f_0^2 + H^2] \\ R^2 = (f_0 + \Delta f)^2 + [R - (H + h_0)]^2. \end{cases} \quad (6)$$

З урахуванням, що $\frac{(f_0 + \Delta f)}{R} \ll 1$, розрахунок системи відносно Δf можна записати у вигляді:

$$\Delta f = \frac{\Delta V_0}{8\pi R f_0} \quad (7)$$

або

$$\Delta f = \sqrt{RV_0(\gamma_T - \gamma_{\text{ж}})/2\pi f^2 \gamma_{\text{ж}}}, \quad (8)$$

де γ_T, γ_p – щільність матеріалу відповідно у твердому та рідкому станах.

Якщо ж враховувати, що в процесі плавлення відбувається зняття деформації і за рахунок цього відбувається додаткове видавлення рідкого металу, то, вважаючи, що розплавлений об'єм V_0 більше від об'єму деформованого сегмента на сферичній поверхні електрода, отримуємо рівняння для визначення зближення електродів у вигляді:

$$h = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}V_0}{2\pi R} + f_0^4/4R^2}. \quad (9)$$

Особливості формування контактної площі за участі, з одного боку, процесу плавлення і, з іншого – зближення поверхонь електродів за рахунок зняття деформації, можуть призвести до деяких несподіваних наслідків: якщо можливе розширення контактної площі за рахунок витіснення рідкого металу із зони початкового контакту між електродами, то це спричинить природне зменшення щільності струму і, як наслідок, потужності, що виділяється в контактній зоні.

Якщо витіснений рідкий метал розтікається по твердій поверхні електроду, він має температуру, тим меншу, чим далі вона знаходиться від зони початкового контакту, і буде тверднути, починаючи з периферії. Потім, оскільки потужність, що виділяється на одиницю контактної площі, зменшиться, почнеться затвердіння й решти частини електроду.

Об'єм витіснення рідкого металу буде визначатися за формулою:

$$V'_0 = \frac{V_0}{2} - \pi f^4/4R. \quad (10)$$

При цьому збільшення радіуса контактної площі буде дорівнювати:

$$\Delta f = f'_0 - f_0 + \Delta f' + \Delta f'', \quad (11)$$

де $\Delta f'$ – збільшення за рахунок витіснення металу при знятті пружної деформації;

$\Delta f''$ – збільшення радіуса за рахунок теплового розширення металу й фазового переходу.

Значення $\Delta f'$, f'' визначаються, відповідно, за формулами:

$$\Delta f' = \sqrt{\frac{R}{2\pi f_0^2 \left(\frac{V_0}{2} - \frac{\pi f^4}{4R} \right)}}; \quad (12)$$

$$\Delta f'' = \sqrt{\frac{RV_0}{2\pi f_0^2} \frac{\gamma_T - \gamma_p}{\gamma_p}}. \quad (13)$$

Замінивши f_0 на f'_0 , отримаємо:

$$\Delta f'' = \sqrt{\frac{RV_0}{2\pi f'^2} \frac{\gamma_T - \gamma_p}{\gamma_p}}. \quad (14)$$

Висновки

При розмиканні електродів можуть створюватись умови для форсованого нагріву контактних площ, оскільки їх характер залежить від багатьох факторів і математичне вираження таких процесів може мати деякі похибки.

Оцінка величин, що визначають протікання таких процесів, завжди потребує деяких допущень і визначає можливість їх практичного застосування.

Список літератури

1. Намитоків К. К. Електроерозійні явища / К. К. Намитоків. – М. : Енергія, 1978. – 456 с.
2. Намитоків К. К. Розрахунок електричного опору багатоточкового контакту / К. К. Намитоків, В. Б. Красовицький // Науково-технічний реферативний збірник «Електрофізичні та електрохімічні методи обробки». – 1973. – Вип. 8. – С. 4–7.
3. Омельченко В. Т. Теплова теорія мостикової ерозії контактів : автореф. дис. на соискання учен. ступені д-ра техн. наук / В. Т. Омельченко. – Х. : ХПИ, 1966.
4. Хольм Р. Електричні контакти / Р. Хольм. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
5. Unger G. Verharrungszeit der Fusspunkte von Gleichstromschaltlichtbogen und Abbrand bei verschiedenen Kontaktwerkstoffen / G. Unger. – “ETZ-A”, 1967, Bd. 99, № 12. – S. 33–39.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ИХ РАЗМЫКАНИИ

А. Н. Мрачковский

Аннотация. Проанализированы процессы размыкания электродов и рассчитаны параметры площади контактирования в зависимости от геометрии контактов.

Ключевые слова: деформация, проводимость, разряд, площадь контактирования, объем металла, электроды, контактный нажим, удельное сопротивление.

DESCRIPTION OF PROCESSES AND CALCULATION OF PARAMETERS OF THE ELECTRODES WHEN THEY ARE OPENING

A. Mrachkovsky

Annotation. The processes of disconnection of electrodes have analyzed and the parameters of the area of engagement depending on the geometry of the contacts have calculated.

Key words: deformation, conductivity, discharge, area of contact, the volume of metal, electrodes, the contact pressure, the resistivity.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ У ПТАХІВНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ

В. І. Троханяк, аспірант*

***В. Г. Горобець, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

***Ю. О. Богдан, старший викладач
Київська державна академія водного транспорту*
ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
e-mail: v1kt0r_t@ukr.net***

Анотація. Розроблено та виготовлено експериментальну установку для охолодження припливного повітря у птахівничих приміщеннях, що базується на застосуванні теплообмінників-рекуператорів нової конструкції, у яких як охолоджуючий теплоносіє використовується вода з підземних свердловин. Проведено порівняння результатів чисельного розрахунку математичного моделювання та експериментальних даних щодо тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу.

Ключові слова: *система вентиляції, експериментальне дослідження, охолодження повітря, чисельне моделювання, птахівниче приміщення.*

Пошуки ефективних систем вентиляцій з метою економії енергоресурсів в галузі аграрно-промислового комплексу, та зокрема у птахівництві, становлять найбільший інтерес для науковців та практиків. На особливу увагу заслуговують питання наукового обґрунтування й удосконалення охолодження повітря птахівничих приміщень у процесі їх реконструкції та впровадження комплексу інноваційних методів, інженерних розробок, які вагомо забезпечують енергоощадність експлуатації таких систем і зростання ефективності їх роботи.

Сукупність теплових і вологісних режимів пташника які встановлюються в результаті тепло- і масообмінних процесів, протікають як у середині приміщення, так і через його зовнішнє огородження. Цей режим формується під впливом системи опалення та вентиляції залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря й теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій. У проведенні теоретичних досліджень, пов'язаних із регулюванням теплообмінних процесів у пташниках, приходимо до отримання даних розрахунків, які дають змогу правильно вибрати систему вентиляції пташників.

У теплий період року за температури понад +26 °С, здебільшого використовується тунельна вентиляція птахівничих приміщень, що уможливає видалення надлишкового тепла, яке виділяє птиця. Слід зауважити,

*Науковий керівник – доктор технічних наук В. Г. Горобець

що за високих температур навколишнього середовища й високої вологості повітря, необхідна спеціальна система пристроїв для його охолодження та створення оптимального мікроклімату в пташнику. У вентиляційних системах для зниження температури припливного повітря в літній період часу часто використовують охолоджуючі системи різного типу, переважно розпилення води: форсунковий [1], дисковий [2] методи та випарні – через касети примусового охолодження [3]. Усі системи охолодження знайшли своє місце у птахівництві, та, поряд з тим, у чомусь вони виправдовують себе, а в чомусь – ні, оскільки мають різний принцип роботи.

Мета досліджень – проведення експериментальних досліджень охолодження припливного повітря для підтримання оптимального мікроклімату птахівничих приміщень у літній період року.

Матеріали та методика досліджень. Тунельна вентиляція працює в літній період року. На цьому етапі важливо забезпечити видалення надлишкового тепла, яке створює птиця. У комплекті з тунельною вентиляцією часто використовують охолоджувальні системи. У цьому випадку, охолоджувальною системою буде рекуперативний теплообмінник. За допомогою чисельного моделювання тепло- і масо переносу, розрахунку локальних гідродинамічних і теплових характеристик припливного повітря в птахівничих приміщеннях в літній період часу за допомогою пакету САПР ANSYS Fluent 14 та розробки нового способу охолодження пташників за допомогою теплообмінника-рекуператора, який використовується як охолоджувач води підземних свердловин, обрані оптимальні режими вентиляції в пташниках [4].

Модернізовано та вдосконалено систему тунельної вентиляції з використанням нових теплообмінних апаратів та вивчено всі аспекти технологічного процесу, розширено науковий простір досліджень з метою створення ефективних систем охолодження повітря пташників у літній період часу. Проведені розрахунки та загальна концепція комп'ютерно-математичного моделювання дали можливість розробити нову установку кожухотрубного рекуперативного теплообмінного апарату зі змінно-дотичним методом розміщення пучка труб, розташованим у системі тунельної вентиляції. Загальний вигляд установки та її схема подано на рис. 1. На цій установці проводились експерименти. Як робоче середовище використовувалося повітря.

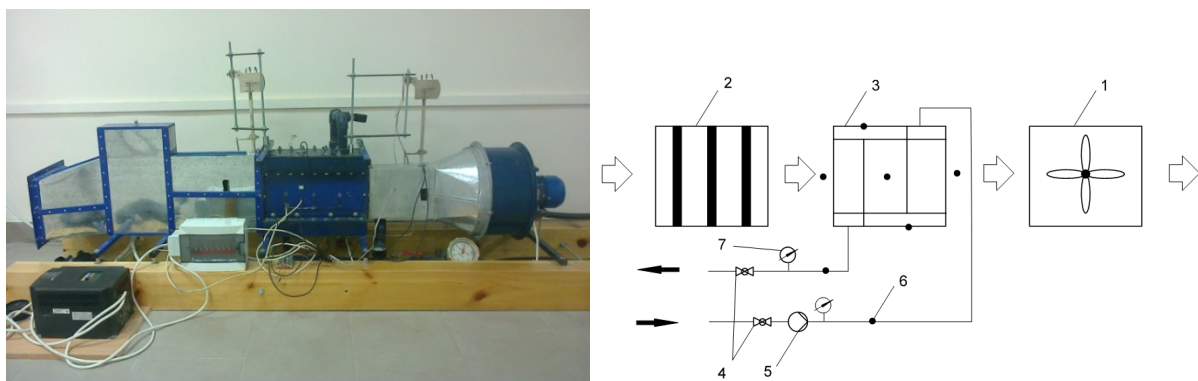


Рис. 1. Загальний вигляд і теплогідравлічна схема експериментальної установки: 1 – вентилятор, 2 – ТЕНи, 3 – теплообмінник-рекуператор, 4 – вентиль, 5 – циркуляційний насос, 6 – накладні датчики температури, 7 – манометр, 8 – трубка Піто, 9 – витратомір

Результати досліджень. Експериментальне дослідження охолодження повітря в птахівничому приміщенні, з використанням теплообмінника-рекуператора, встановленого у системі тунельної вентиляції, спрямоване на одержання ефективного підтримання мікроклімату для птиці. Для ототожнення математичного моделювання теплообмінного апарата [5] було проведено експериментальне дослідження. Їх порівняння показано на рис. 2–5.

Під час проведення експериментального дослідження повітря, яке надходило в установку й підігрівалося за допомогою ТЕНів до температур +27, +32 та +41 °С, із вхідною швидкістю 9,25, 11,1 та 12,85 м/с. Одночасно, в теплообмінний апарат, для охолодження припливного повітря, надходила вода з температурою у +12...+13 °С із витратою 40, 45 та 50 л/хв.

Витрачання води та швидкість повітря на вході в теплообмінник і їх температури є сталими. При зміні частоти струму електродвигуна вентилятора від 50 до 40 Гц змінюється швидкість повітря на вході в теплообмінник від 9 до 13 м/с. Дані температури повітря занесені в порівняльні графіки з температурою повітря на вході близько +41 °С, витрачання води 53 л/хв, температура води +12 °С та змінна швидкість повітря на вході 9,25, 11,1 та 12, 85 м/с.

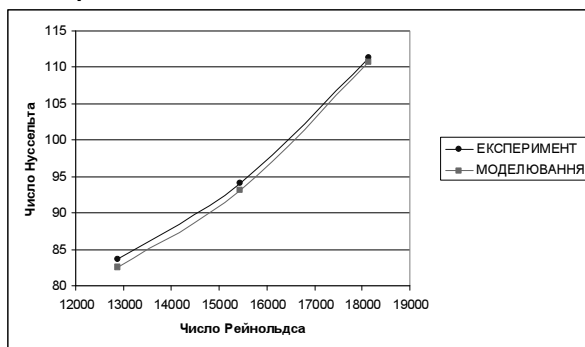


Рис. 2. Залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса

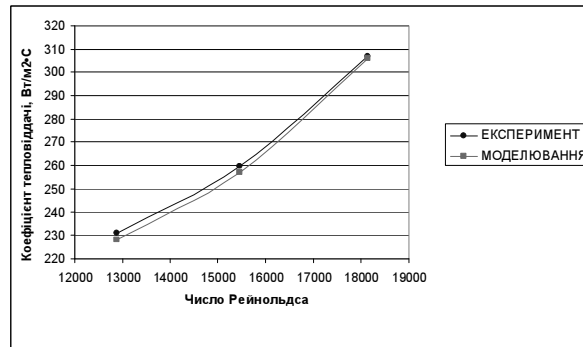


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса

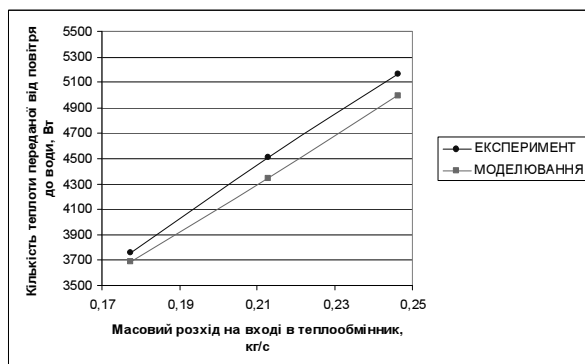


Рис. 4. Залежність кількості теплоти від масової витрати на вході в теплообмінник

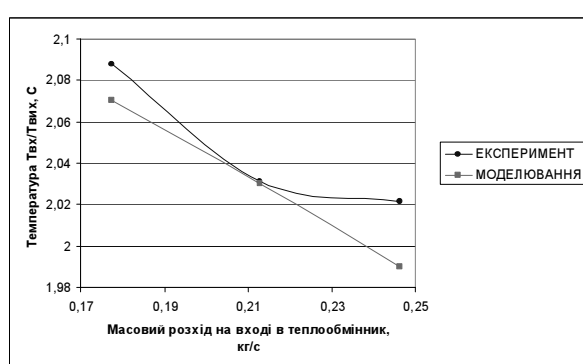


Рис. 5. Залежність безрозмірної температури від масової витрати на вході в теплообмінник

На рис. 2 показано залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса. Як видно з рис. 2, значення числа Нуссельта зростає при збільшенні числа Рейнольдса, таким чином, у досліджуваних каналах

досягається збільшення коефіцієнта тепловіддачі (рис. 3) на поверхні пучка труб до 33 %.

На рис. 4 наведено графіки, які показують зміну кількості теплоти, переданої від повітря до води. Сумарна теплота, яка передається від гарячого теплоносія до холодного, залежно від масового розходу повітря на вході в теплообмінник.

Безрозмірні значення температури на вході та виході з каналу з різною масовою витратою повітря наведені на рис. 5. Тут ми бачимо, що при комп'ютерному математичному моделюванні графік показує рівну пряму, що й очікувалось отримати, але під час експерименту крива безрозмірної температури показує неоднорідний характер.

Висновки

Розроблено та виготовлено експериментальну установку для охолодження припливного повітря в птахівничих приміщеннях, що базується на застосуванні теплообмінників-рекуператорів нової конструкції, у яких як охолоджуючий теплоносіє використовується вода з підземних свердловин.

Проведено порівняння результатів чисельного розрахунку математичного моделювання та експериментальних даних щодо тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу. Отримана похибка результатів чисельного моделювання не перевищує 5 %.

Список літератури

1. Вишневыи Е. П. Компания CAREL, поставщик оборудования для систем увлажнения воздуха / Е. П. Вишневыи // Журнал по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной физике. – М. : АВОК-ПРЕСС, 1998. – № 4. – С. 40–41.
2. Jan Hulzebosch. How to keep your birds cool. WP. – Vol. 21, No 6. – 2005 / [Elektronic resourse] / Jan Hulzebosch // Abode Acrobat Reader DC – Mode of access: <http://www.webpticeprom.ru/download/articles>
3. Jess Campbell et al. Keeping birds cool costs down in summertime heat. Auburn University in association with the US poultry and egg association. – Iss. No 48, 2007 / [Elektronic resourse] / documents/Nwsltr-48 – http://www.aces.edu/poultryventilation/documents/Nwsltr-48_KeepBirdsCoolCostsDown.pdf
4. Горобець В. Г. Комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масо переносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк. – Мелітополь : ТДАТУ, 2015. – Вип. 5. – Т. 1. – С. 168–176. – Електронне наукове фахове видання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf5t1/24.pdf>
5. Горобець В. Г. Чисельне моделювання процесів переносу при поперечному обтіканні компактних пучків труб у кожухотрубних теплообмінниках / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – № 209, ч.1. – С. 42–49.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В. И. Троханяк, В. Г. Горобец, Ю. А. Богдан

Аннотация. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для охлаждения приточного воздуха в птицеводческих помещениях, основанная на применении теплообменников-рекуператоров новой конструкции, в которых в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода из подземных скважин. Проведено сравнение результатов численного расчета математического моделирования и экспериментальных данных по теплоотдаче трубного пучка с помощью статистического анализа.

Ключевые слова: система вентиляции, экспериментальное исследование, охлаждение воздуха, численное моделирование, птицеводческое помещение.

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING AIR SUPPLY POULTRY PREMISES

V. Trokhanyak, V. Gorobets, Y. Bogdan

Annotation. Designed and built an experimental setup for cooling supply air in the poultry houses, based on the use of heat exchangers, heat exchangers of a new design in which the coolant is used as cooling water from underground wells. A comparison of the results of a numerical calculation of mathematical modeling and experimental data on heat transfer tube bundle by statistical analysis.

Key words: ventilation system, experimental research, air cooling, numerical simulation, a poultry premises.

УДК536.24

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ В НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ ПРИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ АКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ

Є. О. Антипов, асистент
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Розроблено конструкцію та проведено чисельне моделювання теплопереносу в акумуляторі теплоти. Моделювання виконано з використанням програмного комплексу COMSOL Multiphysics 3.5a. Вивчено та проаналізовано отримані значення динаміки накопичення теплової енергії в досліджуваному об'єкті.

Ключові слова: акумулятор теплоти, теплоакumuлюючий матеріал, теплообмінні процеси, фазовий перехід.

Аннотация. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для охлаждения приточного воздуха в птицеводческих помещениях, основанная на применении теплообменников-рекуператоров новой конструкции, в которых в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода из подземных скважин. Проведено сравнение результатов численного расчета математического моделирования и экспериментальных данных по теплоотдаче трубного пучка с помощью статистического анализа.

Ключевые слова: система вентиляции, экспериментальное исследование, охлаждение воздуха, численное моделирование, птицеводческое помещение.

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING AIR SUPPLY POULTRY PREMISES

V. Trokhanyak, V. Gorobets, Y. Bogdan

Annotation. Designed and built an experimental setup for cooling supply air in the poultry houses, based on the use of heat exchangers, heat exchangers of a new design in which the coolant is used as cooling water from underground wells. A comparison of the results of a numerical calculation of mathematical modeling and experimental data on heat transfer tube bundle by statistical analysis.

Key words: ventilation system, experimental research, air cooling, numerical simulation, a poultry premises.

УДК536.24

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ В НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ ПРИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ АКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ

Є. О. Антипов, асистент
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Розроблено конструкцію та проведено чисельне моделювання теплопереносу в акумуляторі теплоти. Моделювання виконано з використанням програмного комплексу COMSOL Multiphysics 3.5a. Вивчено та проаналізовано отримані значення динаміки накопичення теплової енергії в досліджуваному об'єкті.

Ключові слова: акумулятор теплоти, теплоакumuлюючий матеріал, теплообмінні процеси, фазовий перехід.

Проведений аналіз різноманітних джерел [1–3] виявив недостатність інформації щодо використання нових способів чисельного моделювання перехідних фізичних процесів, які відбуваються при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу. Здебільшого, для їх опису використовують інженерні методики, які базуються на напівемпіричних рівняннях подібності та інтегральних методах, але вони неспроможні повною мірою описати характер протікання того чи іншого фізичного процесу в умовах, наближених до реальних. У багатьох випадках це призводить до неправильних результатів.

Зазначене дає право розглядати використання обчислювальних технологій, що реалізуються в спеціалізованих обчислювальних пакетах програмного забезпечення, напрямком експериментальних і модельних досліджень задля розуміння фізичного механізму процесів фазового переходу в акумулюючих матеріалах при використанні їх як робочого середовища в акумуляційних апаратах. Запропоноване рішення дає змогу розраховувати з прийнятною для практики точністю тепло- та масообмінні й гідродинамічні процеси у стаціонарних та перехідних режимах роботи обладнання в умовах, наближених до реальних.

Мета досліджень – використання комп'ютерних програм для чисельного дослідження процесів фазового переходу в теплоаккумулюючих матеріалах органічного походження.

Матеріали та методика досліджень. При моделюванні процесів переносу в елементі теплового акумулятора використовувалося середовище програмного комплексу COMSOL Multiphysics 3.5a. Описання досліджуваних процесів тепло- і масообміну в апараті, виконувалося на основі: рівняння Нав'є – Стокса, закону Фур'є та рівняння теплопровідності, за умови фазового переходу. Переміщення межі поділу фаз описується відповідними рівняннями нерозривності, збереження імпульсу, енергії, маси та доповнене рівняннями теплообміну, теплопровідності, тепловіддачі, а також граничними та початковими умовами.

Для довільного моменту часу τ без урахування неоднакового розподілу температур в об'ємі акумулюючого матеріалу, рівняння балансу енергії акумулятора теплоти фазового переходу, має вигляд:

$$\frac{V_{\phi} \cdot \rho \cdot (C_p \cdot dT_{\phi}(\tau) + h_{\phi})}{d\tau} = Q_{ax}(\tau) - Q_{vix}(\tau) - Q_{iz}(\tau), \quad (1)$$

де V_{ϕ} – об'єм акумулюючого матеріалу, який зазнає фазових перетворень, м³;

ρ – густина середовища, кг/м³;

C_p – питома ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К);

$T_{\phi}(\tau)$ – температура фазового перетворення матеріалу, К;

h_{ϕ} – прихована теплота фазового перетворення матеріалу, Дж/кг;

$Q_{vix}(\tau)$ і $Q_{vix}(\tau)$ – теплова потужність на вході та на виході з акумулятора теплоти, Вт;

$Q_{iz}(\tau)$ – теплові втрати в навколишнє середовище через шар теплоізоляції, Вт.

Для дослідження нестационарного процесу теплопереносу в об'ємі акумулюючого матеріалу, який виникає за умови, що теплоносії (вода) надходить в акумулятор з малою швидкістю і рухається вздовж нагрівальних труб (теплообмінної поверхні), віддаючи при цьому теплову енергію, яка згодом накопичується в акумулюючому матеріалі такого апарата, COMSOL Multiphysics використовує рівняння:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \nabla \cdot (-k \nabla T + \rho C_p u \cdot \nabla T) = Q, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;

T – абсолютна температура, К;

u – вектор швидкості, м/с;

Q – потужність джерела теплоти, Вт.

Вираз $(-k \nabla T + \rho C_p u \cdot \nabla T)$ являє собою щільність потоку теплової потужності в рідкій фазі теплоносія та акумулюючого матеріалу, яка підводиться/відводиться від нагрівальних труб під час плавлення останнього та складається з двох компонент: кондуктивної і конвективної. Коли активний конвективний теплообмін, швидкість u в COMSOL Multiphysics можна визначити використовуючи гідродинамічні моделі: Incompressible Navier-Stokes (нестискуваного Нав'є – Стокса) або Non-Isothermal Flow (неізотермічного потоку). Тоді, теплопередача опишеться рівнянням:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho C_p \vec{u} \nabla T = k \nabla^2 T. \quad (3)$$

При кристалізації акумулюючого матеріалу швидкість поширення конвективних потоків в ньому дорівнює нулю, тобто передача теплоти в твердому матеріалі відбувається лише кондуктивним способом, тоді в решті-решт ми отримаємо основне рівняння чистої теплопровідності в тілі:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q. \quad (4)$$

При цьому, для матеріалів, які в процесі теплообміну зазнають фазових перетворень в інтервалі температур $T_{\min} - T_{\max}$, COMSOL Multiphysics, використовуючи логічну функцію, питому ефективну теплоємність визначає:

$$C_p = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } T \approx T_{\min} < T_{\phi}; \\ \Delta h_{\phi}, \text{ якщо } T_{\phi} \leq T < T_{\max}; \\ C_2, \text{ якщо } T \approx T_{\max}, \end{cases} \quad (5)$$

де C_1 та C_2 – теплоємність матеріалу у твердій та рідкій фазі, Дж/кг·К.

Як початкові умови було задано:

$$T(r, 0) = T_0, 0 < r < R, \quad (6)$$

де r – радіус поширення теплоти в об'ємі матеріалу, м;

R – кінцеве (граничне) значення поширення теплоти, м;

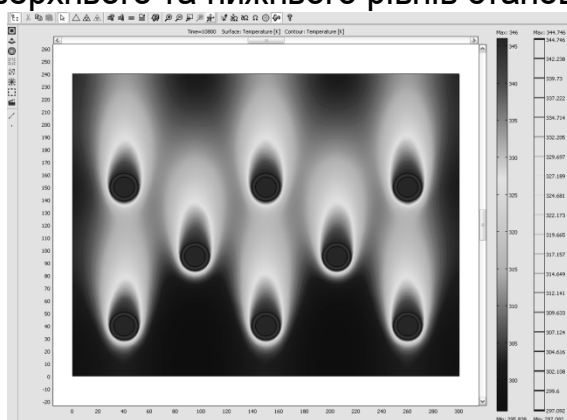
T_0 – початкова температура матеріалу, К,

та граничних (умови теплової ізоляції):

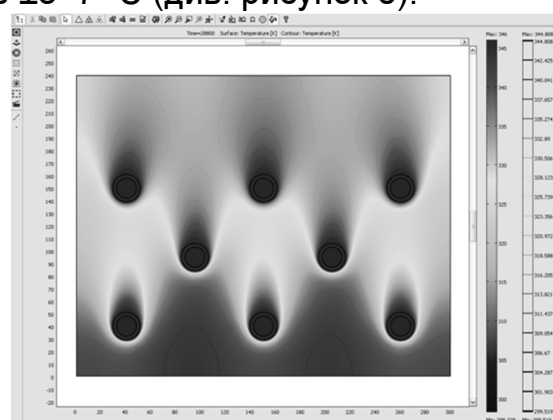
$$\begin{cases} \nabla \cdot (-k \nabla T) = 0; \\ T = T_{is}(\tau), \end{cases} \quad (7)$$

де T_{is} – температура поверхні теплоізоляції, К.

Результати досліджень. У результаті проведеного чисельного моделювання процесів тепломасообміну в об'ємі акумулюючого матеріалу було досліджено вплив вільної конвекції на інтенсивність процесів перенесення теплоти при фазовому переході речовини з твердого в рідкий стан. Зокрема встановлено, що внесок конвективного потоку в загальну картину плавлення акумулюючого матеріалу, навколо циліндричного джерела теплоти з гладкою поверхнею, призводить до підвищення ефективності процесу та швидкості плавлення матеріалу, розміщеного над джерелом теплоти. Разом з тим, у локальних розподілах температур від границі розділу фаз всередину твердого масиву, спостерігається різка зміна температур, що свідчить про наявність зон низької швидкості плавлення в нижній пристінній області та біля дна корпусу акумулятора теплоти. У цьому разі, відмінність між значеннями температур в об'ємах матеріалу верхнього та нижнього рівнів становить $\pm 5\div 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. рисунок б).



а



б

Динаміка поширення температурних полів у поперечному перерізі об'єму акумулюючого матеріалу досліджуваної конструкції акумулятора теплоти:

а – через 10800 с; б – 28800 с

Аналіз роботи [4] та результатів проведеного чисельного дослідження ефективності конструкції акумулятора теплоти фазового переходу дає змогу зробити таке припущення: *зادля кращого прогріву акумулюючого матеріалу нижніх рівнів, розміщення першого ряду нагрівальних труб, від дна та стінок корпусу акумулятора, слід виконувати на відстані, яка не перевищує значення граничного радіусу R , поширення теплоти в об'ємі акумулюючого матеріалу, попередні значення якого наведені в таблиці.*

Попередні значення граничного радіусу поширення теплоти в об'ємі акумулюючого матеріалу фазового переходу

Параметр	Номинальний діаметр (дюйми)					
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Умовний прохід, мм	13	19	25	32	38	50
Зовнішній діаметр теплообмінних труб, мм	21,25	26,75	33,50	42,25	48,00	60,00
Граничний радіус радіального поширення теплоти, мм	30,00	35,00	45,00	57,00	70,00	85,00

Висновки

У результаті проведеного чисельного моделювання та аналізу досліджуваних процесів тепло- та масопереносу в об'ємі акумулюючого матеріалу, який змінює свій агрегатний стан, отримано розподіли температурних полів і напрямки поширення теплових потоків в об'ємі акумулюючого матеріалу та встановлено, що:

- наявність конвективних теплових потоків підвищує ефективність процесу теплопереносу та швидкість плавлення матеріалу, розміщеного над джерелом теплоти;

- існування застійних зон у кутових областях нижньої частини об'єму акумулюючого матеріалу, дало змогу досягти оптимального розміщення елементів теплообмінної поверхні в корпусі акумулятора;

- з метою кращого прогріву акумулюючого матеріалу нижніх рівнів, розміщення першого ряду нагрівальних труб в акумуляторі теплоти доцільно виконувати від дна та стінок корпусу на відстані, яка не перевищує R .

Список літератури

1. Спэрроу Е. М. Экспериментальное исследование роли естественной конвекции при расплавлении твердых веществ / Е. М. Спэрроу, Р. Р. Шмидт, Ж. М. Рэмси // Теплопередача. – 1978. – № 1. – С. 10–16.

2. Соуза-Мендес. Теплообмен при плавлении в окрестности изотермического вертикального цилиндра / Соуза-Мендес, Пиньо-Бразил мл. // Теплопередача. – 1988. – № 3.

3. Хо. Теплопередача при плавлении от изотермической вертикальной стенки / Хо, Висканта // Теплопередача. 1984. – № 1. – С. 9–18.

4. Горобец В. Г. Компьютерное моделирование процессов тепломассопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты / В. Г. Горобец, Е. А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 1 (14). – С. 15–19.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ АККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Е. А. Антипов

Аннотация. Разработана конструкция и проведено численное моделирование теплопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты. Моделирование выполнено с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics 3.5a. Изучены и проанализированы полученные значения динамики накопления тепловой энергии в исследуемом объекте.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, аккумулирующий материал, теплообменные процессы, фазовый переход.

NUMERICAL STUDY OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN LOW-TEMPERATURE HEAT ACCUMULATOR IN PHASE TRANSFORMATIONS ACCUMULATE MATERIAL

E. Antipov

Annotation. *Modeling the process of heat and mass transfer is executed with the use of program complex the COMSOL Multiphysics 3.5a. As a result of numerical calculation the temperature fields are got in the system a pipe bunch and heat-accumulating material. The dynamics of accumulation process of thermal energy in the investigated object is studied.*

Key words: *heat accumulator, accumulating material, heat exchange processes, phase transition.*

УДК 663.18; 621.311.26.031

МЕТОДИКА ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ У ФОТОРЕАКТОРІ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ГАЗІВ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Н. В. Бурега, аспірант*

Тернопільський національний педагогічний університет

імені В. Гнатюка

e-mail: rutmik@ukr.net

Анотація. *Розроблено методику вирощування водоростей, запропоновано конструкцію плоского, вертикального фотореактора промислового типу.*

Ключові слова: *фотореактор, живильне середовище, вуглекислий газ, мікроводорості, *Chlorella vulgaris*.*

Дедалі більше наукових відкриттів, що здійснюються в нашій країні, зумовлюються необхідністю постійного економічного зростання, яке неминуче призводить до збільшення споживання енергоносіїв та негативного глобального антропогенного впливу парникових газів на Земну екосистему. Тому в останніх дослідженнях зосереджено увагу на пошуку нових, дешевих відновлюваних джерел енергії або способів зменшення викидів вуглекислоти.

Одним із найбільш перспективних напрямів енергетики у комплексах генерації теплової та електричної енергії є використання мікробіотехнологій. Оскільки життєвий цикл одноклітинних мікроводоростей супроводжується швидким метаболізмом та фотосинтезом, вони можуть бути використані як фільтр вуглекислоти, так і генератора біопалива.

Мета досліджень – аналіз методів лабораторного культивування мікроводоростей та розробка методики їх вирощування з подачею повітря з підвищеним вмістом CO₂ у плоскому фотореакторі.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження процесу утворення екологічно чистої, високоенергетичної біосировини базується на законах збереження маси, електротехніки, електрохімії та біологічних процесах фотосинтезу.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. С. Федорейко

Annotation. *Modeling the process of heat and mass transfer is executed with the use of program complex the COMSOL Multiphysics 3.5a. As a result of numerical calculation the temperature fields are got in the system a pipe bunch and heat-accumulating material. The dynamics of accumulation process of thermal energy in the investigated object is studied.*

Key words: *heat accumulator, accumulating material, heat exchange processes, phase transition.*

УДК 663.18; 621.311.26.031

МЕТОДИКА ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ У ФОТОРЕАКТОРІ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ГАЗІВ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Н. В. Бурега, аспірант*

Тернопільський національний педагогічний університет

імені В. Гнатюка

e-mail: rutmik@ukr.net

Анотація. *Розроблено методику вирощування водоростей, запропоновано конструкцію плоского, вертикального фотореактора промислового типу.*

Ключові слова: *фотореактор, живильне середовище, вуглекислий газ, мікроводорості, *Chlorella vulgaris*.*

Дедалі більше наукових відкриттів, що здійснюються в нашій країні, зумовлюються необхідністю постійного економічного зростання, яке неминує призводить до збільшення споживання енергоносіїв та негативного глобального антропогенного впливу парникових газів на Земну екосистему. Тому в останніх дослідженнях зосереджено увагу на пошуку нових, дешевих відновлюваних джерел енергії або способів зменшення викидів вуглекислоти.

Одним із найбільш перспективних напрямів енергетики у комплексах генерації теплової та електричної енергії є використання мікробіотехнологій. Оскільки життєвий цикл одноклітинних мікроводоростей супроводжується швидким метаболізмом та фотосинтезом, вони можуть бути використані як фільтр вуглекислоти, так і генератора біопалива.

Мета досліджень – аналіз методів лабораторного культивування мікроводоростей та розробка методики їх вирощування з подачею повітря з підвищеним вмістом CO₂ у плоскому фотореакторі.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження процесу утворення екологічно чистої, високоенергетичної біосировини базується на законах збереження маси, електротехніки, електрохімії та біологічних процесах фотосинтезу.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. С. Федорейко

Результати досліджень. Відомі фізико-хімічні методи утилізації діоксиду вуглецю є дорогими та енергозатратними. Саме тому, використання мікроорганізмів нині є одним із найперспективніших і відносно недорогих методів переробки CO₂, а їх здатність накопичувати у клітинах велику кількість ліпідів (до 80% у перерахунку на суху масу) та можливість деяких штамів подвоювати біомасу кожні 3–4 години, робить мікрководорості перспективними для застосування в енергетиці [1].

Проаналізувавши одноклітинні мікрководорості [3], для проведення досліджень було обрано *Chlorella vulgaris* Beijer – що характеризується відносно простою технологією отримання великих (промислових) кількостей біомаси та стійкістю до високих концентрацій вуглекислоти.

Культивування *Chlorella vulgaris* Beijer проводиться у середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема із освітленням протягом 16 годин на добу в умовах накопичувальної культури в люменостаті у скляних колбах (250 мл) за температури +22...+25 °C та освітленні лампами денного світла (інтенсивність 2500 лк).

Вміст діоксиду вуглецю в атмосферному повітрі є невисоким (0,03–0,06 %), що, у свою чергу, обмежує і сповільнює нарощування біомаси водоростей, тому більш перспективним для їх культивування є використання промислових викидів газів, які містять від 3 до 20 % CO₂ від загальної суміші повітря. Деякі види водорості *Chlorella* можуть рости у відносно високих температурних середовищах (до +42 °C) при подачі повітря з концентрацією CO₂ вище за 40 % [2].

На основі отриманих результатів про зміни приросту біомаси від режиму подачі CO₂ авторів Н. Б. Голуб та Д. В. Воєводи можна зробити висновки про те, що подача вуглекислого газу у культиватор із концентрацією 10–15 % дає змогу збільшити кількість та швидкість росту культури в 5–6 раз на добу [1].

Для проведення успішного культивування мікрководоростей в лабораторних дослідках необхідно вирішити ряд проблем, а саме: проблему стерильності приміщення, посуду, поживних середовищ. У лабораторних умовах стерилізація проводиться в автоклавах або сушильних шафах. Розлив живильного середовища, пересівання культур здійснюють у спеціальних боксах, які перед роботою стерилізують 20–30 хв бактерицидними лампами БУВ-40. Посів проводять над полум'ям газового пальника або спиртівки по типу звичайних мікробіологічних посівів. Перед проведенням масового культивування проводиться підготовка інокуляту для засіву середовища, що має велике значення для однорідності посівного матеріалу. Організми вирощують у відносно невеликих за об'ємом колбах (до 5 л) протягом 5–20 днів, залежно від темпу зростання та отримання бажаної концентрації водоростей.

Також існує проблема забруднення посівів іншими мікрководоростями та бактеріями під час культивування. Не менш важливою проблемою є підтримка раціональних умов у реакторах росту, які обладнуються джерелами освітлення – лампами денного світла у спеціальних термостатах-

люміностатах, що дає можливість встановлювати певний режим температури та освітлення [4].

Специфіка вирощування мікроорганізмів для енергетичних комплексів також накладає на технологію ряд вимог: ціна реакційного середовища, мінімізація енергії, необхідної для підтримки раціональних робочих параметрів, неможливість стерилізації реакторів у автоклавах та робота в різноманітних погодних умовах із урахуванням режимів роботи хімічного джерела живлення та палива, яке воно використовує.

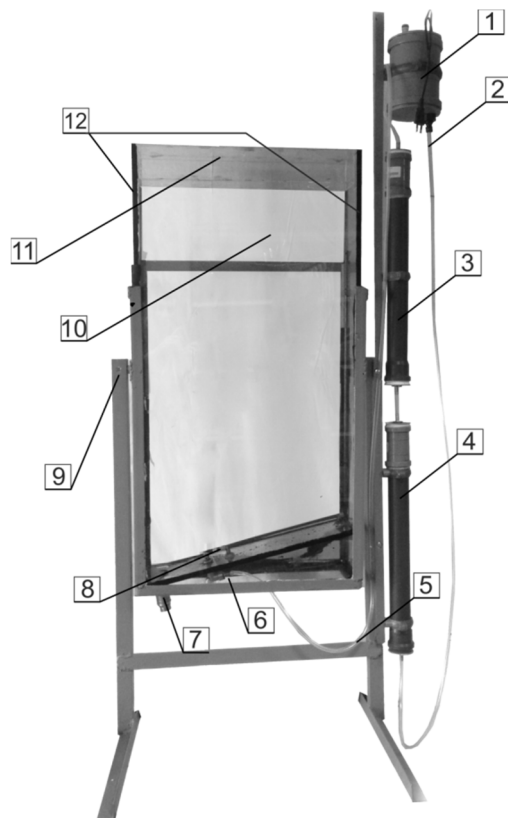
Проаналізувавши ряд промислових варіантів культивування мікроводоростей, відкритих та закритих систем, у лабораторії енергетичного менеджменту було розроблено плоский вертикальний фотореактор (див. рисунок), загальним об'ємом 75 літрів (1000 мм висота, 500 мм ширина та 150 мм глибини), а робочим – 50 літрів. Будова даного культиватора має ряд переваг над іншими системами закритого типу: простота конструкції; велика світлосприймальна частина природного освітлення з можливістю штучної досвідки; можливість терморегуляції та регуляції подачі газів; особливість основи, яка виконана у похилій формі, що сприяє простому збору культури для подальших досліджень, а також відносно великі об'єми середовища культивування у співвідношенні собівартості виготовлення (див. таблицю).

Еквівалентне співвідношення матеріалів і ціни для одиниці об'єму

Назва	ККД проп. здат. сонячного світла, %	Діаметр, мм	Довжина, мм	Об'єм, л	Ціна (грн)	1л/грн
Скляна трубка	85	92 мм	3000 мм	80 л	540	6,75
Акрилова	90–92%	200 мм	4000 мм	125 л	4500	36
Акваріум	90%			1л	5	5

Оскільки передбачається, у першу чергу, забезпечувати утилізацію вуглекислоти в перспективних хімічних джерелах струму типу SOFC паливних елементів, немає потреби у фільтруванні вихлопних газів. Проте, існує необхідність фільтрації повітря, для унеможливлення зараження культури бактеріями, іншими водоростями та грибами. Тому, методика проведення культивування у великих масштабах має певні відмінності, а саме: стерилізація робочого об'єму реактора відбувається за допомогою концентрованого розчину NaOH, який розпилюється в робочій області, а згодом змивається великою кількістю дистильованої води.

Цю операцію повторюють тричі, після чого робочу область та відповідні датчики стерилізують за рахунок бактерицидної лампи БУВ-40 протягом двох годин і знову промивають дистильованою водою. У реактор заливають попередньо підготовлене та стерилізоване поживне середовище і накривають зовнішньою кришкою та вмикають аерацію і контроль внутрішньої температури. Завдяки підвищеному тиску унеможливується потрапляння мікроорганізмів у реактор. У момент, коли температура робочої області досягає необхідного параметра, у реактор вводиться інокулят, а установка підключається до хімічного джерела струму.



Плоский, вертикальный фотореактор:

- 1 – повітряний насос; 2 – трубка подачі суміші до фільтрів; 3 – повітряний фільтр; 4 – водяний фільтр; 5 – трубка подачі очищеної газової суміші до ФТБР; 6 – кран; 7 – отвір для зливу (кран); 8 – аераційна трубка; 9 – залізний корпус із можливістю регулювання кута прийому природного світла; 10 – скляний плоский акваріум; 11 – акрилова кришка; 12 – світлодіодні стрічки

Перед запуском фотореактора, підготовленого за вищерозглянутою методикою, кран 9 ставимо у закрите положення, для того, щоб харчове середовище з водоростями не потрапило у патрубки із газовою сумішшю. Заливши підготовлене заздалегідь середовище з водоростями у скляний акваріум 10, закриваємо його герметично кришкою 11, яка виготовлена з акрилового скла і служить як підставка для рН-метра, термометра, терморегулятора, і в якій передбачено отвір для введення додаткового поживного середовища та системи отворів відведення газів. Суміш необхідних газів подається через отвір у резервуар 1 із насосами, які, у свою чергу, нагнітають повітря через патрубок 2 у водяний фільтр з метою грубою очистки, після чого гази потрапляють у повітряний фільтр 3. Після 5 хвилин роботи насосів плавно повертаємо кран 9 і подаємо суміш газів у середовище культивування через закріплену на дні аераційну трубку, яка подрібнює бульбашки газу, що, у свою чергу, покращує газомасообмін і не пошкоджує культуру.

На основі даних рівня рН (5,5–7) регулюємо подачу вуглекислого газу у середовище культивування, підтримуємо температуру середовища за рахунок терморегулятора та здійснюємо досвітку LED стрічками необхідного спектра.

Кріплення та корпус фотореактора виконано з передбаченням можливості зміни кута нахилу світосприймальної частини до сонця, що дасть можливість захоплювати більше світлової та теплової енергії.

На даному етапі проводяться роботи над автоматизацією процесів подачі та регулювання суміші газів, підбору спектра освітлення на базі світлодіодних стрічок та можливості їх використання разом із природним освітленням.

Висновки

1. Проаналізовано методику стерилізації обладнання перед початком закладання культури у середовище фотореактора, методику вирощування водоростей та відношення CO₂ до суміші аераційних газів під час культивування водоростей.

2. Обґрунтовано вибір мікрowodорості *Chlorella vulgaris* Beijer, для проведення подальших досліджень, і розглянуто середовище Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема №11 як подальшого культивування.

3. З метою проведення досліджень утилізації CO₂ розроблено плоский, вертикальний фотореактор із робочим об'ємом у 50 літрів та запропоновано власну методику стерилізації біореактора для генерації біосировини.

Список літератури

1. Голуб Н. Б. Використання водоростей для одержання енергоносіїв (утилізація CO₂) / Н. Б. Голуб, Д. В. Воевода // ITE. – 2012. – № 4. – С. 18–21.

2. Senthil Chinnasamy. Biomass production potential of a wastewater algal *Chlorella vulgaris* ARC 1 under elevated levels of CO₂ and temperature S. Chinnasamy, B. Ramakrishnan, A. Bhatnagar, K. C. Das // International journal of molecular sciences. – 2009. – № 10. – P. 518–532. – ISBN 1422-0067.

3. Пальчик А. О. Утилізація діоксиду вуглецю шляхом промислового вирощування мікрowodоростей в енергосистемі на базі паливного елемента [Електронний журнал] / А. О. Пальчик, О. М. Фендьо, Н. В. Бурега // Енергетика і автоматика, 2014. – № 4 (22). – Стаття № 9. – 80 с.

4. Сиренко Л. А. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов. [и др.]. – К. : Наук. думка, 1975. – 247 с.

МЕТОДИКА ВИРАЩИВАННЯ МІКРОВОДОРΟΣЛЕЙ В ФОТОРЕАКТОРЕ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ГАЗОВ ТВЕРДООКСИДНИХ ТОПЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТОВ

Н. В. Бурега

Аннотація. *Розроблена методика вирощування водоростей, предложена конструкция плоского, вертикального фотореактора промышленного типа.*

Ключевые слова: *фотореактор, питательная среда, углекислый газ, микроводоросль, Chlorella vulgaris.*

METHOD OF GROWING MICROALGAE IN EDITOR UTILIZATION OF GASES OF SOLID OXIDE FUEL CELLS

N. Burega

Abstract. *The analysis of the training environment and the cultivation of algae cultivation methods proposed design of a flat, vertical fotobioreaktor of industrial type.*

Key words: *fotoreaktor, culture medium, carbon dioxide, microalgae, Chlorella vulgaris.*

УДК 535.3

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТРИЧНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ ІЗ ДВОШАРОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ В НАБЛИЖЕННІ МАКСВЕЛЛ-ГАРНЕТТА

С. В. Шостак, кандидат фізико-математичних наук

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Розраховано діелектричні втрати в матричних дисперсних системах із двошаровими кульовими включеннями. У наближенні Максвелл-Гарнетта проведено детальний аналіз залежностей ефективної діелектричної проникності як від частоти зовнішнього поля, так і від параметрів системи.*

Ключові слова: *діелектричні втрати, матричні дисперсні системи, ефективна діелектрична проникність.*

Дослідженню діелектричних втрат (ДВ) у матричних дисперсних системах (МДС) присвячена значна кількість робіт [1–8]. У деяких із цих робіт досліджено частотні залежності дійсної та уявної частини ефективної діелектричної проникності таких систем залежно від їх фізико-хімічних параметрів, причому в основному вивчалися (МДС) із діелектричною матрицею з включеннями різної форми та природи.

Основною задачею щодо знаходження ДВ у МДС є розрахунок частотної залежності уявної частини ефективної діелектричної проникності $\text{Im}\tilde{\varepsilon}(\omega)$ у таких системах з урахуванням їх складу і структури та подальше обчислення величини ДВ за формулою:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega \left[\tilde{\varepsilon}''(\omega) |\mathbf{E}_{\omega}|^2 + \tilde{\mu}''(\omega) |\mathbf{H}_{\omega}|^2 \right] d\omega, \quad (1)$$

де $\mathbf{E}_{\omega}$ і $\mathbf{H}_{\omega}$ – Фур'є компоненти зовнішніх полів $\mathbf{E}(r,t)$ і $\mathbf{H}(r,t)$; $\tilde{\varepsilon}''$ і $\tilde{\mu}''$ – відповідно, уявні частини ефективних діелектричної та магнітної проникності МДС.

METHOD OF GROWING MICROALGAE IN EDITOR UTILIZATION OF GASES OF SOLID OXIDE FUEL CELLS

N. Burega

Abstract. *The analysis of the training environment and the cultivation of algae cultivation methods proposed design of a flat, vertical fotobioreaktor of industrial type.*

Key words: *fotoreaktor, culture medium, carbon dioxide, microalgae, Chlorella vulgaris.*

УДК 535.3

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТРИЧНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ ІЗ ДВОШАРОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ В НАБЛИЖЕННІ МАКСВЕЛЛ-ГАРНЕТТА

С. В. Шостак, кандидат фізико-математичних наук

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Розраховано діелектричні втрати в матричних дисперсних системах із двошаровими кульовими включеннями. У наближенні Максвелл-Гарнетта проведено детальний аналіз залежностей ефективної діелектричної проникності як від частоти зовнішнього поля, так і від параметрів системи.*

Ключові слова: *діелектричні втрати, матричні дисперсні системи, ефективна діелектрична проникність.*

Дослідженню діелектричних втрат (ДВ) у матричних дисперсних системах (МДС) присвячена значна кількість робіт [1–8]. У деяких із цих робіт досліджено частотні залежності дійсної та уявної частини ефективної діелектричної проникності таких систем залежно від їх фізико-хімічних параметрів, причому в основному вивчалися (МДС) із діелектричною матрицею з включеннями різної форми та природи.

Основною задачею щодо знаходження ДВ у МДС є розрахунок частотної залежності уявної частини ефективної діелектричної проникності $\text{Im}\tilde{\varepsilon}(\omega)$ у таких системах з урахуванням їх складу і структури та подальше обчислення величини ДВ за формулою:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega \left[\tilde{\varepsilon}''(\omega) |\mathbf{E}_{\omega}|^2 + \tilde{\mu}''(\omega) |\mathbf{H}_{\omega}|^2 \right] d\omega, \quad (1)$$

де $\mathbf{E}_{\omega}$ і $\mathbf{H}_{\omega}$ – Фур'є компоненти зовнішніх полів $\mathbf{E}(r,t)$ і $\mathbf{H}(r,t)$; $\tilde{\varepsilon}''$ і $\tilde{\mu}''$ – відповідно, уявні частини ефективних діелектричної та магнітної проникності МДС.

Мета досліджень – розрахунок частотних залежностей ефективної діелектричної проникності для МДС із двошаровими кульовими включеннями із провідною анізотропною плівкою.

Матеріали та методика досліджень. У роботі було використано механізми й закономірності поглинання та розсіяння електромагнітного випромінювання з двошаровими кульовими включеннями.

Результати досліджень. Методи розрахунку поглинання електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у матричних дисперсних системах (МДС) із багатошаровими включеннями (у нашому випадку двошарові) ми продемонструємо на такій модельній системі [9]: двошарові сферичні частинки SiO_2 (радіусу r) з плівкою адсорбованої води завтовшки $h = R - r$, розміщені в матриці з діелектричною проникністю ε_1 (рис.1).

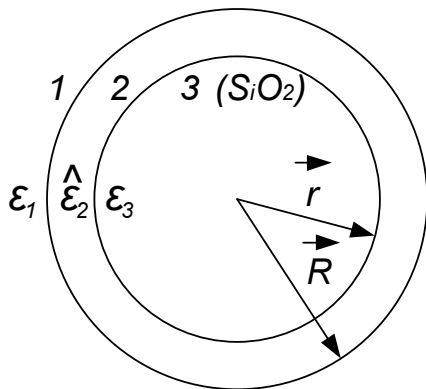


Рис. 1. Модель неоднорідної кулі, покритої адсорбованою плівкою з тензором діелектричної проникності

$$\hat{\varepsilon}_2 = \begin{pmatrix} \varepsilon_n, 0, 0 \\ 0, \varepsilon_t, 0 \\ 0, 0, \varepsilon_t \end{pmatrix}$$

Діелектрична проникність $SiO_2 - \varepsilon_3$ (надалі ε_3 вибиралася рівною 1,5), концентрація включень N , а діелектрична проникність плівки має вигляд тензора:

$$\hat{\varepsilon}_2 = \begin{pmatrix} \varepsilon_n, 0, 0 \\ 0, \varepsilon_t, 0 \\ 0, 0, \varepsilon_t \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де ε_n і ε_t – відповідно, нормальна і тангенціальна складові компоненти тензора діелектричної проникності адсорбованої води. Такий вид тензора було взято з роботи [10]. Позначимо всі комплексні діелектричні проникності через $\tilde{\varepsilon}$.

Відомо, що поглинання ЕМВ у системах подібного типу добре визначається уявною частиною ефективної діелектричної проникності системи. Оскільки ми розглядаємо низькочастотну область поглинання ЕМВ (де $\lambda \gg R$, λ – довжина хвилі випромінювання), то в даному випадку для розрахунку $\tilde{\varepsilon}(\omega)$ з великою точністю може бути використано наближення Максвелл-Гарнетта, яке для даної моделі запишеться в наступному вигляді:

$$\frac{\tilde{\varepsilon}(\omega) - \varepsilon_1}{\tilde{\varepsilon}(\omega) + 2\varepsilon_1} = \frac{4}{3} \pi N \alpha(\omega), \quad (3)$$

де $\alpha(\omega)$ – поляризованість неоднорідної двошарової кулі радіусу R у зовнішньому полі. При виконанні умови $\lambda \gg R$, вираз для $\alpha(\omega)$ має вигляд [9]:

$$\alpha = R^3 \frac{[(s+1)\varepsilon_n + \varepsilon_3][s\varepsilon_n - \varepsilon_1]q^{2s+1} + [\varepsilon_3 - s\varepsilon_n][\varepsilon_1 + (s+1)\varepsilon_n]}{[\varepsilon_3 + (s+1)\varepsilon_n][2\varepsilon_1 + s\varepsilon_n]q^{2s+1} + [2\varepsilon_1] - (s+1)\varepsilon[s\varepsilon_n - \varepsilon_3]}, \quad (4)$$

де $s = \left(2\varepsilon_t / \varepsilon_n + \frac{1}{4}\right)^{1/2} - \frac{1}{2}$, $q = R/r$.

У випадку $\varepsilon_t = \varepsilon_n = \varepsilon_2(\omega)$ вираз (4) переходить у відомий вираз для поляризованості двошарової неоднорідної кулі

$$\alpha = R^3 \frac{(2\varepsilon_2 + \varepsilon_3)(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)q^3 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2)}{(\varepsilon_3 + 2\varepsilon_2)(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)q^3 + 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}. \quad (5)$$

З (5) впливає ряд практично важливих висновків, які реалізуються при великих частотах. Так, при виконанні умови

$$q^3 = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2)}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(\varepsilon_3 + 2\varepsilon_2)} \quad (6)$$

поляризованість кулі прямує до нуля.

При виконанні умов (5) та (6) ефективна діелектрична проникність окремої кулі

$$\varepsilon = \varepsilon_2 \frac{2\varepsilon_2(q^3 - 1) + \varepsilon_3(q^3 + 2)}{\varepsilon_2(2q^3 + 1) + \varepsilon_3(q^3 - 1)} \quad (7)$$

точно дорівнює діелектричній проникності оточення (область 3). Фізично це означає, що електромагнітна хвиля, проходячи через таке дисперсне середовище, практично не розсіюється (“просвітлення” дисперсних систем [11]).

Перейдемо тепер до розрахунку й аналізу ефективної діелектричної проникності системи в цілому. У випадку $\varepsilon_t = \varepsilon_n$ з формул (3) і (5) знаходимо:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_1 \frac{1 + 2f\tilde{\varepsilon}_1}{1 - f\tilde{\varepsilon}_1}; \quad \tilde{\varepsilon}_1 = \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon + 2\varepsilon_1}, \quad (8)$$

де $f = \frac{4}{3}\pi R^3 N$ – об’ємна концентрація включень (ступень заповнення);

ε – ефективна діелектрична проникність окремої двошарової кулі, яка знаходиться за формулою (7).

Розкладаючи вираз (8) на елементарні множники, знаходимо:

$$\tilde{\varepsilon} = \tilde{\varepsilon}_\infty + \frac{C_1(\tilde{\varepsilon}_- - \tilde{\varepsilon}_\infty)}{1 + i\omega\tau_3} + \frac{C_2(\tilde{\varepsilon}_- - \tilde{\varepsilon}_\infty)}{1 + i\omega\tau_4}, \quad (9)$$

де

$$\tilde{\varepsilon}_\infty = \varepsilon_1 \frac{(1 + 2f)\varepsilon_{2\infty} + 2\varepsilon_1(1 - f)}{(1 - f)\varepsilon_{2\infty} + \varepsilon_1(2 + f)}, \quad (10)$$

$$\tilde{\varepsilon}_0 - \tilde{\varepsilon}_\infty = \frac{9f\varepsilon_1}{(1-f)[(1-f)\varepsilon_{2\infty} + \varepsilon_1(2+f)]}; \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{\tau_4}{\tau_1} \cdot \frac{(\tau_3 - \tau_1)}{(\tau_3 - \tau_4)}; \quad C_2 = \frac{\tau_3}{\tau_1} \cdot \frac{(\tau_1 - \tau_4)}{(\tau_3 - \tau_4)}. \quad (12)$$

Відзначимо, що

$$C_1 + C_2 = 1, \quad (13)$$

а τ_3 і τ_4 знаходяться з наступних двох рівнянь:

$$\tau_3 + \tau_4 = \tau_1 + \tau_2 \frac{(\varepsilon_{20} - \varepsilon_{2\infty})}{\varepsilon_{20}} + \tau_2 \frac{[\varepsilon_{2\infty}(1-f) + \varepsilon_1(2+f)]}{\varepsilon_{20}(1-f)}, \quad (14)$$

$$\tau_3 \tau_4 = \frac{\varepsilon_{2\infty}(1-f) + \varepsilon_1(2+f)}{\varepsilon_{20}(1-f)}. \quad (15)$$

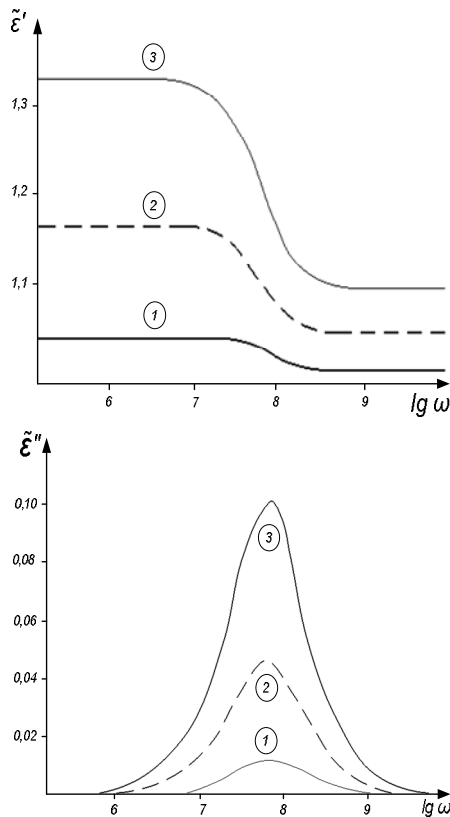


Рис. 2. Залежності $\tilde{\varepsilon}'$ та $\tilde{\varepsilon}''$ для $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, $\chi = 0.01$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_n = \varepsilon_2 = \varepsilon_B \left(1 + \frac{1}{i\omega\tau_0}\right)$$

$$1 - f_0 = 0.01, \quad \tau_0 = \frac{\varepsilon_B \varepsilon_0}{\sigma};$$

$$2 - f_0 = 0.05, \quad \sigma = \frac{\sigma_s}{h};$$

$$3 - f_0 = 0.1.$$

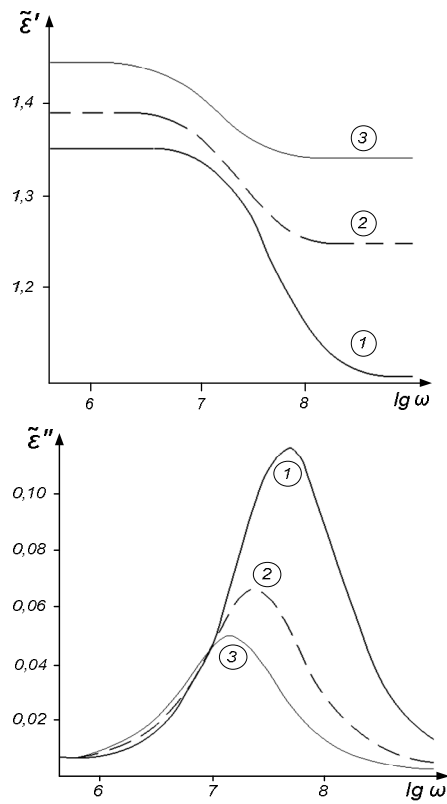


Рис. 3. Залежності $\tilde{\varepsilon}'$ та $\tilde{\varepsilon}''$ для $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, $f_0 = 0.1$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$:

$$1 - \chi = 0.01,$$

$$2 - \chi = 0.1,$$

$$3 - \chi = 0.2.$$

Отримані аналітичні залежності ефективної діелектричної проникності системи від параметрів: $x_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{R^3 - r^3}{R^3} \right)$ (відносний вклад

об'єму води в окремій частинці аеросилу) і f (ступінь заповнення) повністю розв'язують задачу про діелектричні втрати в таких дисперсних системах.

Нижче на рисунках наведено частотні залежності дійсної та уявної частин ефективної діелектричної проникності $\tilde{\varepsilon}$ дисперсного діоксиду кремнію для різних значень параметрів: степені заповнення $f_0 = 4/3\pi r^3 \cdot N$ (рис. 2), поверхневої провідності σ_s (рис. 3) та об'ємного вмісту води

$$x = \frac{R^3 - r^3}{R^3} \quad (\text{рис. 4}).$$

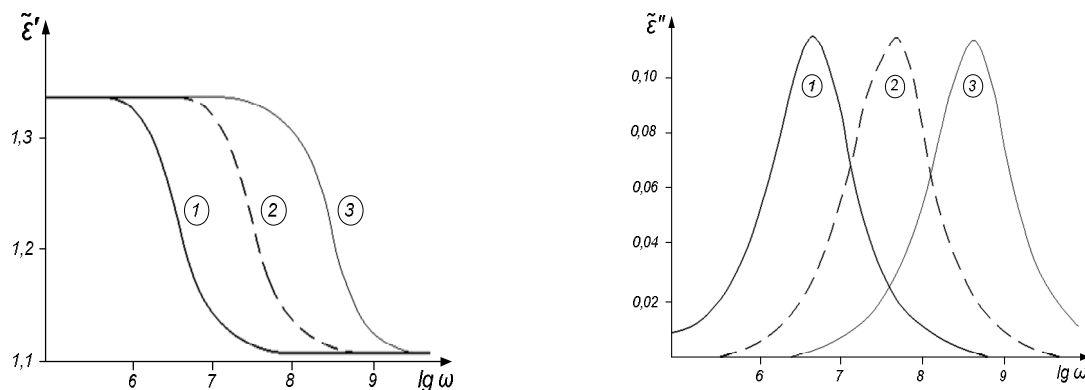


**Рис. 4. Залежності $\tilde{\varepsilon}'$ та $\tilde{\varepsilon}''$ для $f_0 = 0.1$, $x = 0.01$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$,
1 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, 2 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, 3 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$**

Тут і надалі частота ω приведена в Гц. При розрахунках діелектрична проникність SiO_2 вибиралася рівною $\varepsilon_3 = 1.5$, а діелектрична проникність середовища – $\varepsilon_1 = 1$; вважалося, що діелектрична проникність плівки визначалася формулою $\varepsilon_2 = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{1}{i\omega\tau_0} \right)$, причому $\varepsilon_n = \varepsilon_t$.

Висновки

У наближенні Максвелл-Гарнетта проведено детальний аналіз залежностей ефективної діелектричної проникності як від частоти зовнішнього поля, так і від параметрів системи. Розраховано діелектричні втрати в матричних дисперсних системах із двошаровими кульовими включеннями. З одержаних результатів випливає, що при провідностях $\sigma_s \sim (10^{-10} - 10^{-11}) \text{ Ом}^{-1}$, (експериментальне значення [10]), величині ступеня заповнення $f \sim (0.05 - 0.1)$ та об'ємному вмісту води $x \sim 1\%$ в області частот $\omega \sim (10^7 - 10^8) \text{ Гц}$ спостерігаються діелектричні втрати на рівні $\tilde{\varepsilon}'' \sim (0.1 - 0.2)$.

Список літератури

1. Челидзе Т. Л. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем / Челидзе Т. Л., Деревянко А. И., Куриленко О. Д. – К. : Наук. думка, 1977. – 232 с.
2. Felderhof B. U., Ford G. W., Cohen E. G. D. Cluster expansion for the dielectric constant of a polarizable suspension // J. Stat. Phys. – 1982. – 28, № 1. – P. 135–164.
3. Lamb W., Wood D. M., Ashcroft N. W. Long-wavelength electromagnetic propagation in heterogeneous media // Phys. Rev. B. – 1980. – 21, № 6. – P. 2248–2266.
4. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. // Теоретическая физика. – Т. 8. – М. : Наука, 1982. – 624 с.
5. Maxwell J. C. A treatise on electricity and magnetism. – Oxford : Clarendon, 1891. – 3rd ed. – Vol. 2.
6. Maxwell Garnett J. C. Colours in metal glasses and in metallic films // Philos. Trans. Roy. Soc. – 1904. – A203. – Pl. 385–420.
7. Grechko L. G. Influence of particle multipole interaction on the absorption spectra of radiation in the metallic composites / Grechko L. G., Pustovit V. N., Shostak S. V. // Pros. SPIE. – 1999. – V. 3890. – P. 391–397.
8. Диелектрические потери в многослойных дисперсных системах / Гречко Л. Г., Зарко Г. М., Козуб Г. М. и др. // ИТФ-91-26Р. – К., 1991. – 33 с. (препринт).
9. Шостак С. В. Діелектричні втрати в матричних дисперсних системах / С. В. Шостак, Д. Л. Водоп'янов, Л. Г. Гречко // Вісник Київського Університету. Серія «Фізико-математичні науки». – 2002. – Вип. 1. – С. 412–420.
10. Гречко Л. Г. Диелектрическая проницаемость дисперсных систем / Л. Г. Гречко, В. В. Мотрич, В. М. Огенко // Химия, физика и технология поверхности. – 1993. – Вип. 1. – С. 17–36.
11. Пришивалко А. П. Рассеяния и поглощение света неоднородными и анизотропными сферическими частицами / Пришивалко А. П., Бабенко А. П., Кузьмин В. Н. – Мн. : Наука и техника, 1984. – 263 с.

ДИЕЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТРИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С ДВУХСЛОЙНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ В ПРИБЛИЖЕНИИ МАКСВЕЛЛ-ГАРНЕТТА

С. В. Шостак

Аннотация. *Рассчитано диелектрические потери в матричных дисперсных системах с двухслойными сферическими включениями. В приближении Максвелл-Гарнетта проведен детальный анализ зависимостей эффективной диелектрической проницаемости как от частоты внешнего поля, так и от параметров системы.*

Ключевые слова: *диелектрические потери, матричные дисперсные системы, эффективная диелектрическая проницаемость.*

DIELECTRIC PROPERTIES OF THE MATRIX DISPERSED SYSTEMS WITH TWO-LAYERED INCLUSIONS IN THE MAXWELL-GARNETT APPROXIMATION

S. Shostak

Annotation. *Calculated dielectric losses in the matrix dispersed systems with two-layer spherical inclusions. In the approximation of Maxwell-Garnett made a detailed analysis of the dependence of the effective permittivity as the frequency of the external field and the parameters of the system.*

Key words: *dielectric loss, matrix dispersion systems, the effective dielectric constant.*

УДК 620.92

ПИТОМА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ

М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук

О. Ю. Осипчук, інженер

e-mail: Maxim_Pavlenko@i.ua

Анотація. *Наведено питому енергоємність при виробництві дизельного біопалива залежно від конструктивних параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива при використанні гідромеханічного перемішування рослинної олії.*

Ключові слова: *дизельне біопаливо, гідростанція, питома енергоємність, частота обертання двигуна, діаметр форсунок, кут нахилу лопаток.*

На сьогодні достатньо серйозно стоїть питання заміни палив отриманих із нафти, а саме: дизельного палива, ціна якого помітно зростає, на паливо отримане з біомаси. Адже запаси нафти з кожним роком зменшуються, а кількість техніки, яка працює на дизельних двигунах, – збільшується. Найбільш реальним замінником традиційного дизельного палива може бути дизельне біопаливо, отримане як рослинної олії, так і з тваринних жирів. Тому виникає потреба вдосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням нових конструкційно-технологічних рішень для спрощення процесу виробництва та зменшення питомих енерговитрат при дотриманні якісних показників дизельного біопалива.

Одним із перспективних напрямів удосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива є використання гідромеханічного перемішування в процесі естерифікації на противагу використанню механічних мішалок.

Над удосконаленням обладнання та технологічних ліній для виробництва дизельного біопалива працював В. О. Дубровін та інші [ошибка! Неизвестный аргумент ключа.], які у своїх працях узагальнили досвід виробництва та використання біопалив. Було також розроблено обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням

Annotation. *Calculated dielectric losses in the matrix dispersed systems with two-layer spherical inclusions. In the approximation of Maxwell-Garnett made a detailed analysis of the dependence of the effective permittivity as the frequency of the external field and the parameters of the system.*

Key words: *dielectric loss, matrix dispersion systems, the effective dielectric constant.*

УДК 620.92

ПИТОМА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ

М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук

О. Ю. Осипчук, інженер

e-mail: Maxim_Pavlenko@i.ua

Анотація. *Наведено питому енергоємність при виробництві дизельного біопалива залежно від конструктивних параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива при використанні гідромеханічного перемішування рослинної олії.*

Ключові слова: *дизельне біопаливо, гідростанція, питома енергоємність, частота обертання двигуна, діаметр форсунок, кут нахилу лопаток.*

На сьогодні достатньо серйозно стоїть питання заміни палив отриманих із нафти, а саме: дизельного палива, ціна якого помітно зростає, на паливо отримане з біомаси. Адже запаси нафти з кожним роком зменшуються, а кількість техніки, яка працює на дизельних двигунах, – збільшується. Найбільш реальним замінником традиційного дизельного палива може бути дизельне біопаливо, отримане як рослинної олії, так і з тваринних жирів. Тому виникає потреба вдосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням нових конструкційно-технологічних рішень для спрощення процесу виробництва та зменшення питомих енерговитрат при дотриманні якісних показників дизельного біопалива.

Одним із перспективних напрямів удосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива є використання гідромеханічного перемішування в процесі естерифікації на противагу використанню механічних мішалок.

Над удосконаленням обладнання та технологічних ліній для виробництва дизельного біопалива працював В. О. Дубровін та інші [ошибка! Неизвестный аргумент ключа.], які у своїх працях узагальнили досвід виробництва та використання біопалив. Було також розроблено обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням

трубчастого естерифікатора та досліджено використання дизельного біопалива в умовах сільського господарства [2, 3, 5]. Драгнєв С. В. експериментально дослідив вплив конструктивних параметрів механічного перемішування на якісний вихід дизельного біопалива [4, 6].

Однак, питання визначення параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива на основі гідромеханічного перемішування залишається недослідженим.

Мета досліджень – експериментально дослідити вплив конструктивних параметрів на питому енергоємність гідромеханічного перемішування при виробництві дизельного біопалива.

Матеріали та методика досліджень. Для проведення експериментальних досліджень було використано матрицю Бокса-Бенкіна, керованими параметрами якої були – частота обертання насоса, діаметр форсунок та час перемішування. Дослідження проводилися в лабораторних умовах із використанням рослинної олії, метилату калію, експериментальної установки з гідромеханічною мішалкою, гідростанції та аналізатора параметрів мережі DMK-32.

Результати досліджень. За результатами експерименту отримали математичну модель – рівняння регресії у вигляді поліному першого порядку, яке має вигляд:

$$E_{\text{ГМ}} = 0,9121 - 0,7601d + 0,0011n_H + 0,018 \tau.$$

Аналіз впливу діаметра форсунок та частоти обертання насоса на питому енергоємність гідромеханічної мішалки свідчить (рис. 1), що зі зменшенням діаметра форсунок та збільшенням частоти обертання насоса питома енергоємність гідромеханічної мішалки зростає за рахунок зростання споживаної потужності електродвигуна через збільшення напору насоса та збільшення витрат енергії двигуном для забезпечення високої частоти обертання насоса.

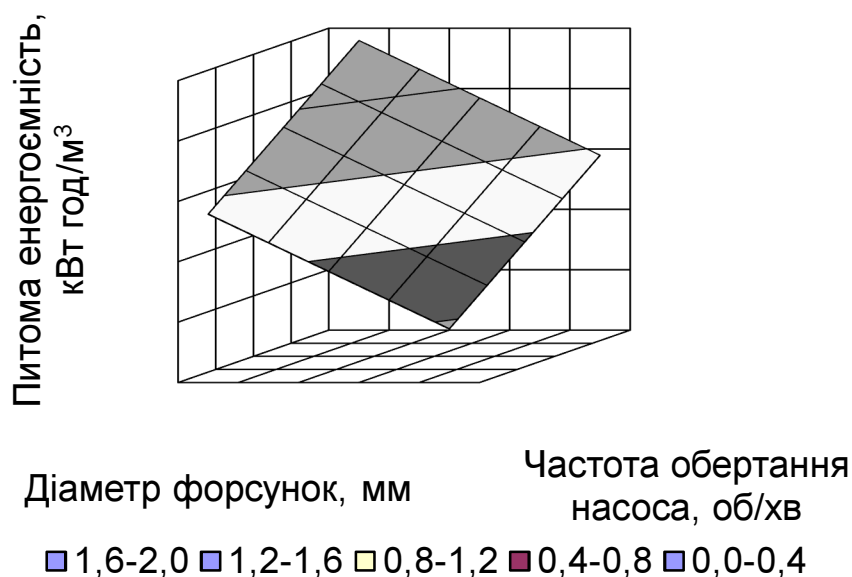


Рис. 1. Залежність питомої енергоємності гідромеханічної мішалки від діаметра форсунок та частоти обертання насоса

Аналіз взаємного впливу часу перемішування та діаметра форсунок на питому енергоємність гідромеханічної мішалки показав (рис. 2), що зі зменшенням діаметра форсунок та збільшенням часу перемішування питома енергоємність гідромеханічної мішалки зростає за рахунок збільшення витрат енергії на перемішування та зростання споживаної потужності електродвигуна через збільшення напору насоса.

Зі збільшенням часу перемішування та частоти обертання насоса (рис. 3) питома енергоємність гідромеханічної мішалки збільшується за рахунок збільшення витрат енергії на перемішування та за рахунок збільшення продуктивності насоса. Мінімальна питома енергоємність гідромеханічної мішалки становить $0,4 \text{ кВт год/м}^3$ при частоті обертання насоса 700 об/хв, часі перемішування 10 хв та діаметрі форсунок 2,5 мм.

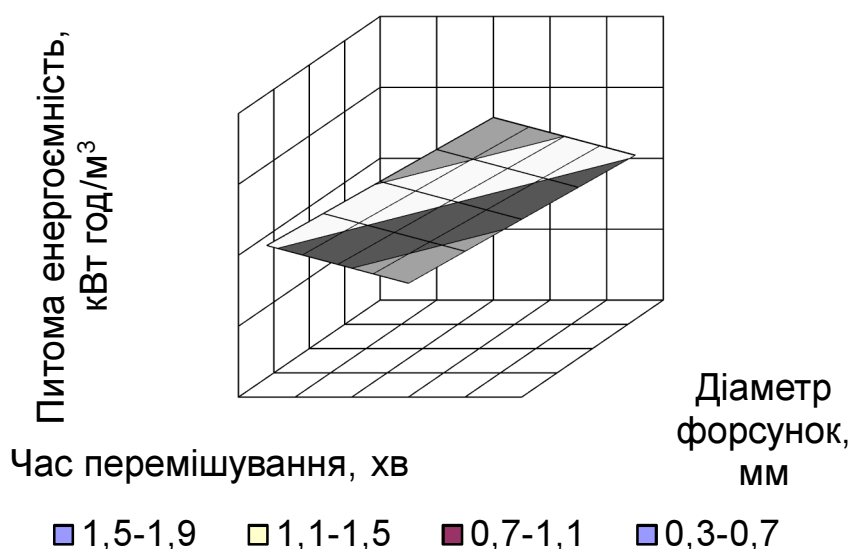


Рис. 2. Залежність питомої енергоємності гідромеханічної мішалки від часу перемішування та діаметра форсунок

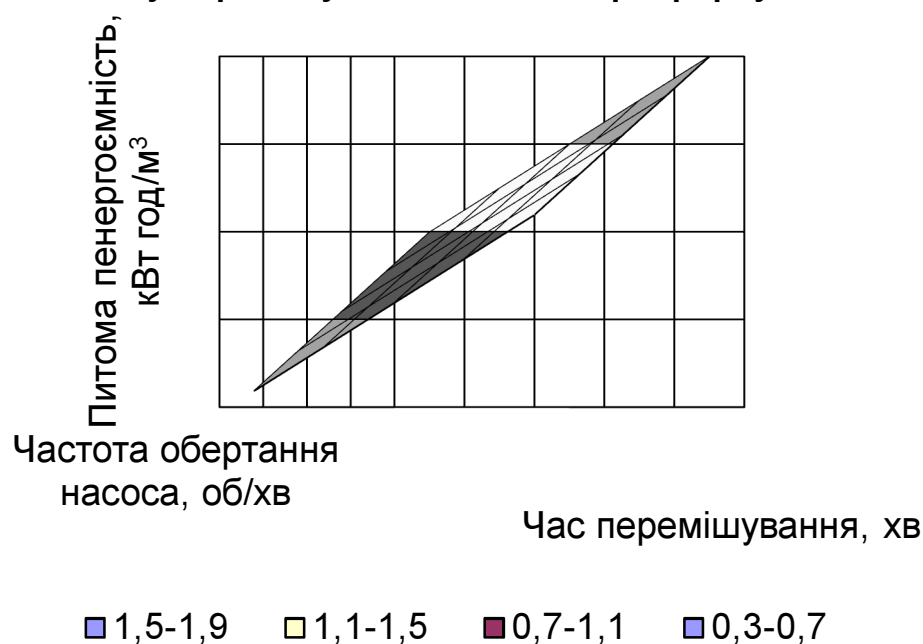


Рис. 3. Залежність питомої енергоємності гідромеханічної мішалки від частоти обертання насоса та часу перемішування

Таким чином, експериментально встановлено, що мінімальна питома енергоємність гідромеханічного перемішування при виробництві дизельного біопалива становить $0,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ при частоті обертання насоса 700 об/хв, часі перемішування 10 хв та діаметрі форсунок 2,5 мм. Удосконалення процесу гідромеханічного перемішування повинно здійснюватися в напрямі створення конструкцій мішалок з мінімальним гідравлічним опором.

Результати вимірювань наведено в таблиці.

Значення заданих та вимірюваних величин під час досліджень

№ досліджу	Діаметр форсунок, мм (d)	Частота обертання двигуна, об/хв (n_H)	Час перемішування, хв (τ)	Питома енергоємність, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$, ($E_{ГМ}$)
1	2,5	1400	30	0,934
2	1,5	700	30	1,219
3	2,5	700	30	1,012
4	1,5	1400	30	2,422
5	2,5	1050	50	1,390
6	1,5	1050	50	1,616
7	2,5	1050	10	1,440
8	1,5	1050	50	2,561
9	2,0	1400	50	2,872
10	2,0	700	10	0,834
11	2,0	1400	10	1,125
12	2,0	700	50	1,080
13	2,0	1050	30	1,204
14	2,0	1050	30	1,226
15	2,0	1050	30	1,046

Список літератури

1. Біопалива (технології, машини та обладнання). [Дубровін В. О., Корчемний М. О., Масло І. П., Шептицький О. та ін.] – К. : ЦТІ : Енергетика і електрифікація, 2004. – С. 76–87.
2. Голуб Г. А. Особливості установок для виробництва дизельного біопалива / Г. А. Голуб, В. В. Чуба, М. І. Вірьовка // Промислова гідравліка і пневматика (Всеукраїнський науково-технічний журнал). – 2011. – № 2 (32). – С. 91–95.
3. 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. – 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 124–131.
4. Драгнєв С. В. Експериментальні дослідження технологічних показників процесу естерифікації рослинних олій / С. В. Драгнєв // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 163–172.
5. Масло І. П. Виробництво та використання біопалива на основі рослинних олій / І. П. Масло, В. П. Заборський, М. І. Вірьовка // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку аграрної механіки». – Дніпропетровськ, 2004. – С. 49–51.

6. Обґрунтування адаптивного процесу і параметрів реактора для одержання метилових ефірів рослинних олій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / С. В. Драгнєв ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – 20 с.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

М. Ю. Павленко, О. Ю. Осипчук

Аннотация. Приведена удельная энергоемкость при производстве дизельного биотоплива в зависимости от конструктивных параметров оборудования для производства дизельного биотоплива при использовании гидромеханического перемешивания растительного масла.

Ключевые слова: дизельное биотопливо, гидростанция, удельная энергоемкость, частота вращения двигателя, диаметр форсунок, угол наклона лопаток.

THE SPECIFIC POWER CONSUMPTION OF BIODIESEL PRODUCTION HYDROMECHANICAL USING STIRRING

M. Pavlenko, O. Osypchuk

Annotation. The results of specific energy in the production of biodiesel, depending on the design parameters of equipment for biodiesel production using hydromixing vegetable oil.

Key words: diesel biofuel stations, specific energy, engine speed, diameter nozzles, the angle of the blades.

УДК 620.97; 621.362

ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Р. І. Загородній, аспірант*

Тернопільський національний педагогічний університет

ім. В. Гнатюка

e-mail: rutmik@ukr.net

Анотація. Описано роботу когенераційної установки на базі твердопаливного біотеплогенератора. Наведено структуру імітаційної та фізичної моделі, на базі яких було проведено дослідження когенераційної

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. С. Федорейко

6. Обґрунтування адаптивного процесу і параметрів реактора для одержання метилових ефірів рослинних олій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / С. В. Драгнєв ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – 20 с.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

М. Ю. Павленко, О. Ю. Осипчук

Аннотация. Приведена удельная энергоемкость при производстве дизельного биотоплива в зависимости от конструктивных параметров оборудования для производства дизельного биотоплива при использовании гидромеханического перемешивания растительного масла.

Ключевые слова: дизельное биотопливо, гидростанция, удельная энергоемкость, частота вращения двигателя, диаметр форсунок, угол наклона лопаток.

THE SPECIFIC POWER CONSUMPTION OF BIODIESEL PRODUCTION HYDROMECHANICAL USING STIRRING

M. Pavlenko, O. Osypchuk

Annotation. The results of specific energy in the production of biodiesel, depending on the design parameters of equipment for biodiesel production using hydromixing vegetable oil.

Key words: diesel biofuel stations, specific energy, engine speed, diameter nozzles, the angle of the blades.

УДК 620.97; 621.362

ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Р. І. Загородній, аспірант*

Тернопільський національний педагогічний університет

ім. В. Гнатюка

e-mail: rutmik@ukr.net

Анотація. Описано роботу когенераційної установки на базі твердопаливного біотеплогенератора. Наведено структуру імітаційної та фізичної моделі, на базі яких було проведено дослідження когенераційної

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. С. Федорейко

установки з імплементованими термоелектричними модулями. Наведено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: *когенераційна установка, імітаційне моделювання, термоелектричні модулі, тверде біопаливо.*

Основними шляхами вирішення проблеми енергетичної незалежності України є використання принципів когенерації на основі альтернативних, відновлюваних видів палива, зокрема – перетворення твердих відходів у енергетичні ресурси.

Вагомим недоліком твердопаливних теплогенераторів є те, що під час своєї роботи вони розсіюють велику кількість теплової енергії, яка, крім того, є ще й джерелом термального забруднення навколишнього середовища. Тому є доцільним використання систем рекуперації теплових викидів як джерела генерації електричної енергії для забезпечення резервного енергоживлення теплогенератора. Реалізувати дане завдання можна використавши термоелектричні перетворювачі енергії [4].

Для створення енергоефективної системи термоелектричного генерування енергії шляхом використання тепла, що виводиться з димовими газами, необхідно провести дослідження щодо визначення реальних енергетичних параметрів за різних режимів навантаження. Тому актуальним завданням є визначення доцільності застосування термоелектричних модулів як складової когенераційної системи в якості джерела акумуляції електроенергії з теплових викидів теплогенераторів.

Мета досліджень – моделювання когенераційної установки на базі твердопаливного біотеплогенератора та імплементованими термоелектричними елементами в систему резервного джерела електроживлення.

Матеріали та методика досліджень. В основу процесу моделювання покладено математичні описи термоелектричного перетворення енергії, що найбільш повно представлені в роботах професора Л.І. Анатичука [1]. Дослідження енергетичних параметрів термоелектричних модулів у когенераційній системі для оцінки ефективності використання їх на твердопаливних котлах ґрунтується на методах імітаційного та фізичного моделювання.

Результати досліджень. Зазвичай термоелектричне обладнання, яке використовується для рекуперації відпрацьованого тепла, змінює температурний режим теплогенератора (термоелектричний генератор перебуває в контакті з нагрітою поверхнею, яка віддає тепло) [1]. У такому випадку, є доцільним розміщення термоелектричних модулів на димовідводах, що дасть змогу не тільки акумулювати електроенергію, а й зменшити теплові викиди в атмосферу.

Для підтвердження доцільності імплементування термоелектричних модулів на димовивідну трубу теплогенератора когенераційної установки розроблена її фізична модель, схема якої наведена на рис. 1.

Автономна теплогенеруюча когенераційна установка працює таким чином. Процес горіння технологічної біомаси в камері 1 відбувається з одночасним нагнітанням повітря в теплообміннику 2 за допомогою вентилятора 4, що живиться від акумуляторної батареї 11.

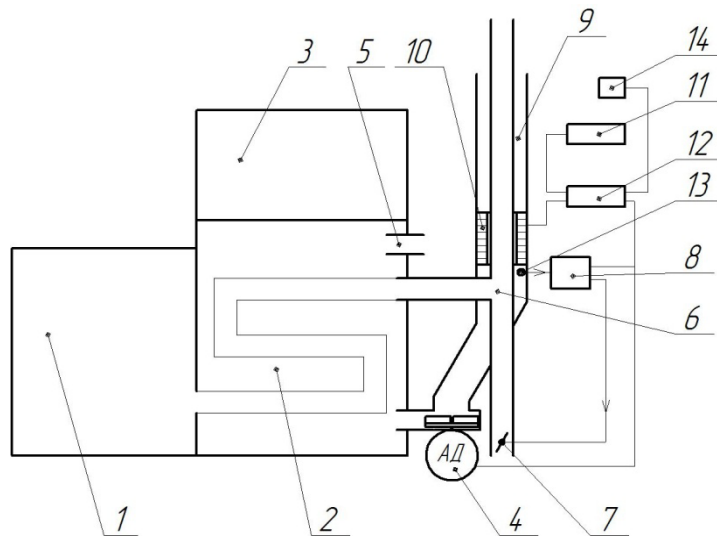


Рис. 1. Схема когенераційної системи на основі твердопаливного біотеплогенератора

У момент виходу котла на номінальну потужність, електрогенеруючий блок 10 генерує енергію, що використовується на заряджання акумулятора 11 та подається на інвертор 12, який видає напругу для живлення вентилятора 4 і на вихід для споживача 14. На стінці димара у зоні встановлення електрогенеруючого блоку 10 закріплений термодавач 13, який разом із АСК 11 контролює температуру гарячої сторони термоелементів і не допускає її перевищення більше, ніж $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ шляхом зміни положення дросельної заслінки 7, якою управляє АСК 11.

Експериментальні дослідження на базі фізичної моделі проводилися таким чином. За допомогою нагрівача нагрівалася сторона до температури $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відповідно, фіксувалося значення підведеної потужності. У цей час холодна сторона охолоджувалася для забезпечення $\Delta T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Фіксувалися показники генерованої напруги (сила струму й напруга, щоб визначити потужність). Таким чином, маючи потужність, підведену і згенеровану, визначали ккд модуля.

Також у всіх зазначених випадках змінювали розмір навантаження та фіксували отримані параметри.

За результатами проведених експериментів побудовані криві (рис. 2), які відтворюють залежності коефіцієнта корисної дії ТЕГ від опору навантаження (R_n) та температури на гарячій стороні (T_g) при сталій $\Delta T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наведені результати показали, що вищий коефіцієнт корисної дії модуля при забезпеченні нижчої температури на гарячій стороні при дотриманні сталої $\Delta T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З метою оптимізації когенераційної системи ми розробили її імітаційну модель, що відтворює функціонування системи за різних режимів роботи та параметрів навколишнього середовища. Вибір способу моделювання зумовлений тим, що імітаційне моделювання, на відміну від аналітичного способу, не потребує однозначності обчислювальної процедури. Це дає змогу відтворити алгоритм функціонування досліджуваного об'єкта в часі при різноманітних поєднаннях значень параметрів системи й зовнішнього середовища [4].

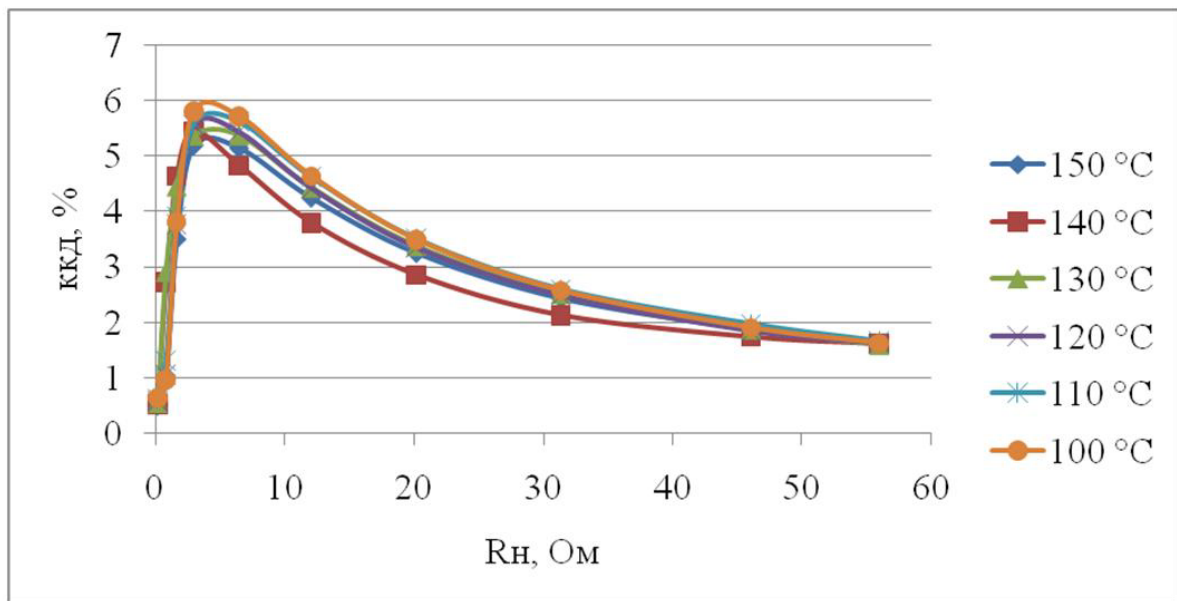


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень залежностей коефіцієнта корисної дії ТЕГ від опору навантаження (R_n) та температури на гарячій стороні (T_g) при сталій $\Delta T = 100$ °C

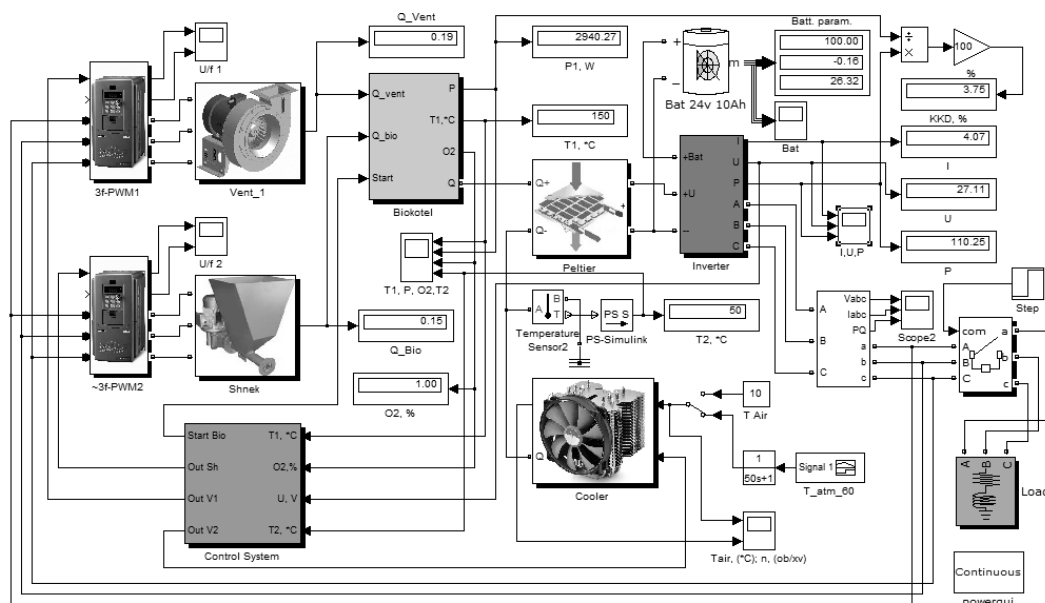


Рис. 3. Структура імітаційної моделі когенераційної установки

Таким чином, використовуючи розроблені нами імітаційні моделі теплогенератора [3] та термоелектричного модуля [4], у середовищі Simulink, у вигляді окремих блоків, а також деякі стандартні блоки із загальної бібліотеки Simulink та Simscape, підкатегорій Electrical, PhysicalSignals, Thermal, ми розробили імітаційну модель когенераційної установки на основі біотеплогенератора (рис. 3). В її структуру входять: імітаційна модель підсистеми елемента Пельтьє (Peltier); імітаційна модель біокотла (Biokotel); підсистема охолодження з вентилятором (Vent_2); підсистема шнека та вентилятора для забезпечення процесу горіння (Shnek, Vent_1); підсистеми перетворювачів (3f-PWM1, 3f-PWM2, 3f-PWM3); підсистема контролю

(ControlSystem); підсистема інвертора (Inverter); батарея живлення (Bat); пристрої вимірювання входних та вихідних параметрів (Scope, Display); навантаження з комутаційним пристроєм (Load) [3].

Результати імітаційного моделювання, подані на рисунку 4, відтворюють процеси, що відбуваються за динамічних режимів роботи когенераційної установки під впливом зовнішніх збурень.

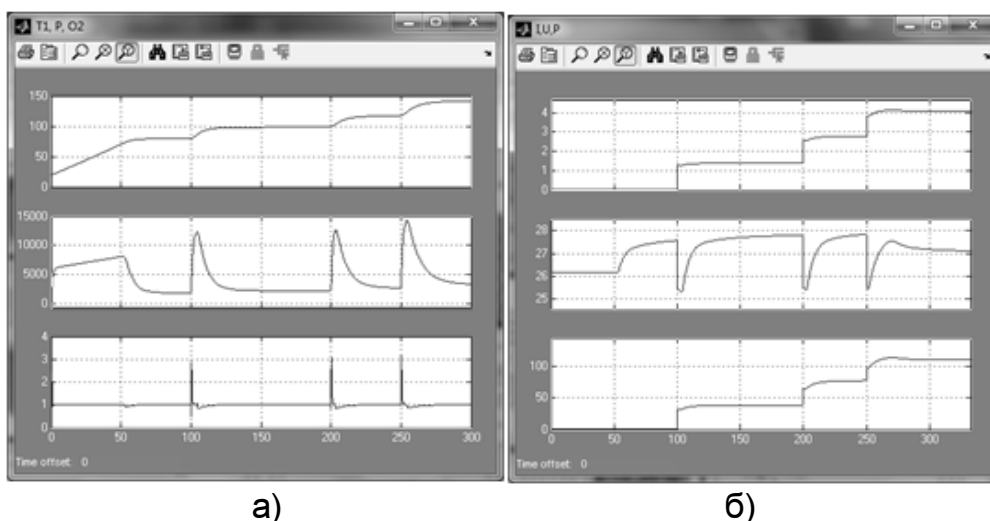


Рис. 4. Графіки перехідних процесів температури гарячої сторони, теплової потужності, концентрації кисню (а), струму навантаження, результуючої напруги термоелемента та акумуляторної батареї, споживаної потужності (б)

Використання імітаційної та фізичної моделі дає змогу проаналізувати ефективність застосування термоелектричних елементів як джерела автономного живлення системи керування когенераційної установки на базі твердопаливного біотеплогенератора.

Висновки

Запропонований метод використання термоелектричних модулів у когенераційних установках на базі твердопаливних теплогенераторів дає змогу генерувати електроенергію із теплових викидів у кількості, достатній для реалізації автономного резервного живлення системи керування технологічним процесом.

Створено комплексну імітаційну модель когенераційної установки на базі теплогенератора та термоелектричного модуля з інтегрованою системою керування режимами роботи, що дає змогу перевірити адекватність функціонування системи в нормальних та критичних умовах.

Список літератури

1. Анатичук Л. І., Термоелектричні рекуператори тепла для цементних печей / Л. І. Анатичук., Джен-Донг-Хван, В. В. Лисько, А. В. Прибила // Термоелектрика. – 2013. – № 5. – С. 39–46.
2. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.

3. Загородній Р. І. Дослідження процесу горіння твердого біопалива засобами моделювання / Р. І. Загородній // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2013. – Вип. 184, ч. 2. – С. 261–264.

4. Федорейко В. С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / В. С. Федорейко, М. І. Рутило, І. Б. Луцик [та ін.] // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – Дніпропетровськ : НГУ. – № 6. – С. 111–116.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ БИОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р. И. Загородний

Аннотация. *Описано работу когенерационной установки на базе твердотопливного биотеплогенератора. Приведена структура имитационной и физической модели, на базе которых проводились исследования когенерационной установки с имплементированными термоэлектрическими модулями. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

Ключевые слова: *когенерационная установка, имитационное моделирование, термоэлектрические модули, твердое биотопливо.*

RESEARCH OF COGENERATION UNITS BIOTEPOLOGENERATOR BY SIMULATION TOOLS

R. Zagorodniy

Annotation. *The article describes the operation of cogeneration units on the basis of solid bioteplogenerator. The structure of the simulation and physical models based on who conducted the study with co-generation plant to implement thermoelectric modules. The results of experimental studies.*

Key words: *cogeneration power plant, simulation, thermoelectric modules, solid biofuel.*

ПРО УМОВУ ЛІПШИЦЯ ДЛЯ ГАРМОНІЧНОЇ ФУНКЦІЇ

В. М. Сафонов, О. П. Зінкевич,
кандидати фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
О. М. Нецадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто функцію гармонічну в жордановій області і неперервну в її замиканні. Якщо зазначена функція задовольняє умову Ліпшиця на межі області, то вона задовольняє цю умову в усій замкненій області.

Ключові слова: гармонічна функція, субгармонічна функція, умова Ліпшиця, жорданова область.

Поняття комплексної диференційованості та голоморфної функції лежать в основі комплексного аналізу. З голоморфними (аналітичними) функціями тісно пов'язаний такий клас дійсних функцій, як гармонічні функції. Відіграючи значну роль в аналізі, гармонічні функції мають важливі застосування в різних технічних питаннях. Особливо важливими в багатьох випадках виявляються дослідження, пов'язані з ліпшіцевими гармонічними функціями.

Мета досліджень – встановлення ліпшиєвості гармонічної функції у замкненій жордановій області.

Матеріали та методика досліджень. Використано методи теорії функцій комплексної змінної.

Результати досліджень. Нехай S – комплексна площина. Введемо такі поняття [1], [2], [3]. Відкрита зв'язна множина точок $D \subset S$ називається областю. Множина всіх точок площини S , які не належать області D , але є граничними для її точок, називається межею цієї області і позначається через ∂D . Об'єднання області D та її межі ∂D збігається із замиканням області $\bar{D}$.

Гомеоморфний образ (образ при взаємно однозначному і взаємно неперервному відображенні) кола на комплексній площині називається жордановою (простою замкнутою) кривою. Область D називається жордановою, якщо її межа ∂D складена із жорданових (замкнених) кривих.

Надалі для спрощення викладок будемо розглядати дійсну функцію u змінних x та y на площині S як функцію комплексної змінної $z = x + iy$ і позначатимемо $u = u(x, y) = u(z)$.

Означення 1. Гармонічною функцією в області $D \subset \mathbb{C}$ називається однозначна і неперервна разом зі своїми частинними похідними перших двох порядків функція u , що задовольняє скрізь у цій області рівняння Лапласа

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0.$$

Відомо, логарифм модуля голоморфної функції є гармонічною функцією лише в околах точок, де функція відмінна від нуля, а в нулях цей логарифм перетворюється у $-\infty$, тобто втрачає гармонічність. Субгармонічні функції утворюють більш загальний клас, який містить і логарифм модуля голоморфної функції. При цьому вони не зобов'язані бути скрізь неперервними і тому можна обмежитися лише вимогою півнеперервності. Дійсна функція u , $-\infty \leq u < \infty$, яка визначена в деякому околі точки z_0 , називається півнеперервною зверху в цій точці, якщо

$$\overline{\lim}_{z \rightarrow z_0} u(z) \leq u(z_0).$$

Функція $u: D \rightarrow [-\infty, \infty)$, що півнеперервна зверху в кожній точці області D , називається півнеперервною зверху в цій області.

Означення 2. Функція $u: D \rightarrow [-\infty, \infty)$ називається субгармонічною в області D , якщо вона півнеперервна зверху в D і для будь-якого достатньо малого круга K та довільної гармонічної в K і неперервної в замиканні круга $\bar{K}$ функції h із того, що $h \geq u$ на ∂K випливає $h \geq u$ в K . При цьому функцію h називають гармонічною мажорантою функції u для круга K .

Для довільної гармонічної в області D функції u локально в околі кожної точки області можна побудувати голоморфну в цьому околі функцію, для якої u є дійсною або уявною частиною. Цей зв'язок дає змогу поширити на гармонічні функції деякі властивості голоморфних функцій, зокрема, принцип максимуму модуля, який буде використаний в подальшому в цій роботі. Якщо гармонічна в області D функція u досягає (локального) максимуму в якій-небудь точці, то вона є сталою в цій області. Розглядаючи субгармонічну функцію, приходимо до узагальненого принципу максимуму модуля. У разі, коли функція u субгармонічна в D і область $G \subset D$, то для будь-якої функції h , яка гармонічна в G і неперервна в $\bar{G}$, із того, що $h \geq u$ на ∂G випливає $h \geq u$ в G . При цьому, якщо функція u в деякій точці області G збігається зі своєю гармонічною мажорантою h , то $u \equiv h$ у G .

Означення 3. Функція $u(z)$, що визначена на множині $E \subset \mathbb{C}$, задовольняє умову Ліпшиця порядку α ($0 < \alpha \leq 1$) і записують $u(z) \in Lip \alpha$, якщо існує така стала L , що виконується

$$|u(z_2) - u(z_1)| \leq L |z_2 - z_1|^\alpha$$

для будь-яких точок $z_1, z_2 \in E$.

Тепер маємо важливе для встановлення головного результату і цікаве саме по собі таке твердження.

Теорема 1. Якщо $u(z)$ – гармонічна функція в деякій області $D \subset C$, то $\ln|u(z)|$ – субгармонічна функція в цій області.

Доведення. У тих точках $z \in D \subset C$, де гармонічна функція $u(z)$ дорівнює нулю, функція $U = U(z) = \ln|u(z)|$ перетворюється, відповідно, у $-\infty$ і є неперервною (у загальному розумінні). Якщо $u(z) \neq 0$, то зрозуміло, що для диференціального оператора Лапласа (лапласіана) достатньо показати виконання нерівності $\Delta U \leq 0$.

Отже, маємо таке:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{1}{u} \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = -\frac{1}{u^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{u} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{1}{u} \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = -\frac{1}{u^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{u} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}.$$

Звідси випливає нерівність

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = -\frac{1}{u^2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] \leq 0,$$

що й потрібно довести.

Нарешті, сформулюємо основну теорему і на підставі попередньої теореми дамо її доведення.

Теорема 2. Нехай функція $u(z)$ є гармонічною всередині жорданової області $D \subset C$ і неперервною в її замиканні $\bar{D}$. Якщо вона задовольняє умову Ліпшиця на межі області $\partial D = \bar{D} \setminus D$:

$$|u(z) - u(z_0)| \leq |z - z_0|^\alpha, \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad z, z_0 \in \partial D,$$

то вона задовольняє цю умову і на всьому замиканні $\bar{D}$.

Доведення. Припускаючи спочатку, що $z_0 \in \partial D$ і довільна точка $z \in \bar{D}$, покажемо виконання умови Ліпшиця. При цьому достатньо вважати, що для точки z_0 існує замкнений круг K_0 такий, що $\bar{K}_0 \cap D = \emptyset$ і $\partial K_0 \cap \partial D = \{z_0\}$. Оскільки такі точки утворюють щільну множину на межі ∂D жорданової області D , то з неперервності функції $u(z)$ у замиканні області $\bar{D}$ зазначена умова Ліпшиця буде впливати для всіх точок $z_0 \in \partial D$.

Нехай z_0 – довільна досяжна кругом K_0 зовні межева точка області D і z_1 – центр круга K_0 , причому $\delta = |z_1 - z_0|$. На радіусі з кінцями z_0 і z_1 візьмемо точку

$$z_2 = z_0 + \delta^2 \cdot \frac{z_1 - z_0}{|z_1 - z_0|}.$$

Тоді для всіх точок $z \in \bar{D}$ маємо нерівність

$$|z - z_0| \leq |z - z_2| \cdot \frac{2\delta}{2\delta - \delta^2} = |z - z_2| \cdot \frac{2}{2 - \delta}.$$

Позначивши $\nu = \delta^{2\alpha} \left[(1 + \delta)^\alpha - \left(\frac{2}{2 - \delta} \right)^\alpha \right]$, знаходимо з останньої нерів-

ності для всіх точок $z \in \bar{D}$:

$$|z - z_0|^\alpha + \nu \leq |z - z_2|^\alpha \left(\frac{2}{2-\delta} \right)^\alpha + |z - z_2|^\alpha \left[(1+\delta)^\alpha - \left(\frac{2}{2-\delta} \right)^\alpha \right] = |z - z_2|^\alpha (1+\delta)^\alpha. \quad (1)$$

Покладемо $G_\nu = \left\{ \zeta : |u(\zeta) - u(z_0)| > |\zeta - z_0|^\alpha + \nu, \zeta \in \bar{D} \right\}$. Припустимо, всупереч твердженню теореми, що $G_\nu \neq \emptyset$.

Оскільки при $z \in \partial G_\nu$ маємо рівність $|u(z) - u(z_0)| = |z - z_0|^\alpha + \nu$, то з (1) для всіх $z \in \partial G_\nu$ випливає нерівність $|u(z) - u(z_0)| \leq |z - z_0|^\alpha (1+\delta)^\alpha$ або, що те саме,

$$\ln |u(z) - u(z_0)| \leq \alpha \ln |z - z_0| + \ln(1+\delta)^\alpha. \quad (2)$$

Враховуючи, що на межі області ∂D умова Ліпшиця справджується, дістанемо включення $G_\nu \subset \text{Int} D$. Тому функція $\ln |u(z)|$ субгармонічна в G_ν згідно з теоремою 1 та неперервна на $\overline{G_\nu}$. При цьому функція $\alpha \ln |z - z_0| + \ln(1+\delta)^\alpha$ є гармонічною на $\overline{G_\nu}$. Унаслідок принципу максимуму модуля, нерівність (2) має місце для всіх $z \in G_\nu$. Приймаючи до уваги означення G_ν , а також нерівність (1), здобудемо вже для всіх $z \in D$ співвідношення

$$|u(z) - u(z_0)| \leq \max \left\{ |z - z_2|^\alpha (1+\delta)^\alpha, |z - z_0|^\alpha + \nu \right\} = |z - z_2|^\alpha (1+\delta)^\alpha.$$

Спрямуємо тут δ до нуля. Тоді для довільних точок $z \in \bar{D}$ має бути

$$|u(z) - u(z_0)| \leq |z - z_0|^\alpha.$$

Зокрема, ця нерівність є справедливою і для точок $z \in G_\nu$, що суперечить означенню множини G_ν . Тому $G_\nu = \emptyset$. Звідси знову випливає ця сама нерівність для будь-якої точки $z \in \bar{D}$ і $z_0 \in \partial D$.

Візьмемо далі довільні точки $z, z' \in \text{Int} D$ і розглянемо допоміжну функцію

$$\varphi(\zeta) = u(\zeta + z') - u(\zeta + z).$$

Ця функція гармонічна в околі початку координат $\zeta = 0$. Максимальна область G її гармонічності, яка містить цю точку, має ту властивість, що для кожної її межевої точки ζ_0 або точка $\zeta_0 + z'$, або $\zeta_0 + z$ буде межевою для D .

Через неперервність функції $u(z)$ у замкненій області $\bar{D}$ функція $\varphi(\zeta)$ є неперервною в G . Отже, за принципом максимуму знайдеться точка $\zeta_0 \in \partial G$ така, що для всіх точок $\zeta \in \bar{G}$ виконується нерівність

$$|\varphi(\zeta)| \leq |\varphi(\zeta_0)|. \quad (3)$$

Оскільки для такої точки ζ_0 одна з точок $\zeta_0 + z', \zeta_0 + z$ неодмінно є межевою для області D , то $|\varphi(\zeta_0)| \leq |z' - z|^\alpha$.

Нарешті, поклавши $\zeta = 0$ в нерівності (3), дістанемо умову Ліпшиця:

$$|u(z') - u(z)| \leq |z' - z|^\alpha.$$

Із довільності вибраної пари точок $z, z' \in \text{Int} D$ і випливає твердження основної теореми.

Висновки

Якщо деяка функція гармонічна в жордановій області комплексної площини і неперервна в її замиканні, причому на межі цієї області вона ліпшицева, то ця функція ліпшицева (з тією самою константою) і на всій замкненій області. Аналог цього результату для голоморфної функції у багатовимірному випадку отриманий раніше у [4].

Гармонічні й голоморфні функції тісно пов'язані між собою. Цей зв'язок дає змогу поширити на гармонічні функції чимало властивостей голоморфних функцій. Встановлений у цій роботі результат доповнює низку таких властивостей.

Список літератури

1. Маркушевич А. И. Теория аналитических функций. Т. 2 / А. И. Маркушевич. – М. : Наука, 1968. – 624 с.
2. Стоилов С. Теория функций комплексного переменного. Т. 2 / С. Стоилов. – М. : ИЛ, 1962. – 416 с.
3. Шабат Б. В. Введение в комплексный анализ. Ч. 1 / Б. В. Шабат. – М. : Наука, 1985. – 336 с.
4. Трохимчук Ю. Ю. Дифференцирование, внутренние отображения и критерии аналитичности / Ю. Ю. Трохимчук. – К. : Ин-т математики НАН Украины, 2008. – 539 с.

ОБ УСЛОВИИ ЛИПШИЦА ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

В. М. Сафонов, А. П. Зинькевич, А. М. Нещадим

Аннотация. *Рассмотрена функция гармоническая в жордановой области и непрерывная в ее замыкании. Если указанная функция удовлетворяет условию Липшица на границе области, то она удовлетворяет этому условию во всей замкнутой области.*

Ключевые слова: *гармоническая функция, субгармоническая функция, условие Липшица, жорданова область.*

ABOUT LIPSHIT'S CONDITION FOR THE HARMONIC FUNCTION

V. Safonov, A. Zinkevych, A. Neshchadym

Annotation. *Function harmonic in Jordan domain and continuous in its closure had been considered. If this function satisfies Lipshit's condition on the border area, then it satisfies this condition in all closed areas.*

Key words: *harmonic function, subharmonic function, Lipshit's condition, Jordan domain.*

НЕДИФЕРЕНЦІЙОВНІ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЧУТЛИВОСТІ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Л. А. Панталієнко, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: wnyrk001@mail.ru

Анотація. Наведено алгоритми мінімізації чутливості динамічних систем до зміни параметрів. Розглянуто постановки мінімакських задач для фіксованих початкових умов і заданого компакту. На підставі принципу максимуму Понтрягіна та ітераційного методу градієнтного спуску здійснено чисельне розв'язання оптимізаційних задач чутливості.

Ключові слова: параметри, оптимізація, чутливість, функції чутливості.

Проблеми проектування та керування різних складних систем часто вирішуються шляхом розв'язання задач оптимізації із застосуванням методів параметризації [1]. За суттю даний підхід полягає у побудові параметричної моделі, що достатньо точно відображує властивості реальної системи. При цьому вихідна задача керування трансформується у скінченновимірну задачу нелінійного програмування відносно параметрів, що характеризують перехідний процес, функції та об'єкт керування.

На практиці, через різноманітні фізичні й технологічні причини, значення реальних параметрів завжди відрізняються від розрахункових (оптимальних), що змінює характеристики та якість функціонування системи. При значних відхиленнях характеристик об'єкта оптимізована система стає взагалі непрацездатною. У зв'язку з цим, набувають актуальності задачі проектування малочутливих до зміни параметрів систем [2]. На відміну від постановок задач з обмеженою та гарантованою чутливістю [3], вихідну задачу формалізовано до вигляду задачі оптимізації функцій чутливості. При такому підході приходимо до задачі недиференційовної оптимізації [3], розв'язання якої ґрунтується на методах теорії керування.

Мета досліджень — розробка чисельних методів розв'язання задач мінімізації чутливості на підставі принципу максимуму Понтрягіна та алгоритмів недиференційовної оптимізації.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються математичні методи теорії керування, чутливості та недиференційовної оптимізації.

Розглянемо нелінійну систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha), \quad f(0, t, 0) \equiv 0, \quad t \in [t_0, T] \quad (1)$$

з початковими умовами із заданої компактної множини M_0 . Тут $\alpha \in G_\alpha$ — m -вимірний вектор параметрів; $x = x(t, \alpha)$ — вектор фазових координат вимірності n .

Припустимо, що область допустимих значень параметрів G_α – опукла й компактна, а $f(x, t, \alpha)$ – достатньо гладка вектор-функція своїх аргументів. За такими умовами однозначно визначається розв’язок системи (1): $x(t) = x(t, x_0, \alpha)$.

Розв’язок задачі траєкторної оптимізації [1], наприклад,

$$\min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{x_0 \in M_0} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(x(t, x_0, \alpha))$$

гарантує оптимальність системи (1) лише при виконанні рівності $\alpha = \alpha^{(0)}$. Тому, для урахування відхилень параметрів від їх розрахункових значень на реальних режимах, доцільно мінімізувати максимальну чутливість системи до зміни параметрів:

$$\min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{t, k; x_0 \in M_0} \Phi(u^{(k)}(t, \alpha)), \quad (2)$$

де $\Phi(\cdot)$ – опукла функція.

Дослідимо недиференційовну задачу оптимізації чутливості (2) на траєкторіях системи диференціальних рівнянь чутливості [2, 3]

$$\frac{du^{(i)}(t, \alpha)}{dt} = \frac{\partial f(\bar{x}, t, \bar{\alpha})}{\partial x} u^{(i)}(t, \alpha) + \frac{\partial f(\bar{x}, t, \bar{\alpha})}{\partial \alpha_i}, \quad (3)$$

що одержуються шляхом прямого диференціювання вихідної системи (1) по α_i . Тут $\bar{\alpha}$, $\bar{x} = x(t, \bar{\alpha})$ – розрахункові вектори параметрів та траєкторії системи (1), відповідно;

$u^{(i)}(t, \alpha) = \frac{\partial x(t, \alpha)}{\partial \alpha_i}$, $i = 1, 2, \dots, m$ – n -вимірні вектори функцій чутливості першого порядку.

Функція $I(\alpha) = \min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{t, k; x_0 \in M_0} \Phi(u^{(k)}(t, \alpha))$ є диференційованою в кожній точці α по будь-якому напрямку $\Delta \alpha$. При цьому, якщо $\alpha^{(0)}$ – розв’язок задачі (2), (3), то похідна функціоналу $I(\alpha)$ в точці $\alpha^{(0)}$ по довільному допустимому напрямку невід’ємна. На підставі цього формулюються необхідні умови оптимальності [1]: якщо $\alpha^{(0)}$ – розв’язок задачі (2) на траєкторіях системи рівнянь чутливості, то

$$\max_{\alpha \in G_\alpha} \min_{k \in M_k} \min_{x_0 \in \bar{M}_{0,k}} \min_{\tau \in M_{x_0,k}} \int_{t_0}^t \psi^*(t, \tau) \left[\frac{\partial \tilde{f}(x, t, \alpha^{(0)}, u^{(k)})}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tilde{f}(x, t, \alpha^{(0)}, u^{(k)})}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right] \Big|_{x=x(t, \alpha^{(0)})} (\alpha - \alpha^{(0)}) dt \leq 0,$$

де M_k , $\bar{M}_{0,k}$, $M_{x_0,k}$ – множини точок, в яких, відповідно, досягаються максимуми по k , x_0 , t у співвідношенні (2);

$\tilde{f}(\cdot)$ – права частина системи диференціальних рівнянь чутливості;

$\psi(t, \tau)$ – розв’язок спряженої системи

$$\frac{d\psi(t, \tau)}{dt} = - \frac{\partial \tilde{f}^*(x, t, \alpha^{(0)}, u^{(k)})}{\partial u} \Big|_{x=x(t, \alpha^{(0)})} \psi(t, \tau), \quad t \in [t_0, T], \quad \tau \in M_{x_0,k}$$

з початковими умовами

$$\psi(\tau, \tau) = - \frac{\partial \Phi(u^{(k)}(t, \alpha^{(0)}))}{\partial u}.$$

Для чисельного розв'язання оптимізаційних задач типу (1), (2) застосовується ітераційний метод:

$$\alpha^{(i+1)} = P_{G_{\alpha^{(i)}}} \{ \alpha^{(i)} - \rho_k G(\alpha^{(i)}) \}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

де $P_{G_{\alpha^{(i)}}}(\cdot)$ – операція проектування вектора параметрів $\alpha^{(i+1)}$ на множину $G_{\alpha^{(i)}} \subset G_\alpha$, ρ_k – послідовність додатних чисел, що задовольняють умови збіжності ітераційного процесу;

$G(\alpha^{(i)})$ – вектор, що визначає напрям спуску [4].

Розглянемо докладно один зі способів побудови вектора $G(\alpha^{(i)})$ на i -тій ітерації [4]. З цією метою, задамо додатні числа $\varepsilon_i^{(1)}$, $\varepsilon_i^{(2)}$, $\varepsilon_i^{(3)}$, що визначають точність обчислення максимумів по k , x_0 , t . Знайдемо множини

$$\begin{aligned} M_k^{(i)} &= \left\{ k : \max_{x_0 \in M_0} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) \geq \max_{k=1, 2, \dots, m} \max_{x_0 \in M_0} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) - \varepsilon_i^{(1)} \right\}; \\ \bar{M}_{0,k}^{(i)} &= \left\{ x_0 \in M_0 : \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) \geq \max_{x_0 \in M_0} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) - \varepsilon_i^{(2)} \right\}, \quad k \in M_k^{(i)}; \\ M_{x_0,k}^{(i)} &= \left\{ \tau \in [t_0, T] : \Phi(u^{(k)}(\tau, x_0, \alpha^{(i)})) \geq \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) - \varepsilon_i^{(3)} \right\}, \quad k \in M_k^{(i)}, \quad x_0 \in \bar{M}_{0,k}^{(i)}. \end{aligned}$$

У випадку, коли множини $\bar{M}_{0,k}^{(i)}$, $M_{x_0,k}^{(i)}$ не є дискретними, покриваємо їх достатньо густою сіткою $x_0^{(l,j,k)}$, $\tau_{lj}^{(i)}$ ($j=1, 2, \dots, n_{lk}^{(i)}$, $l=1, 2, \dots, Q_k^{(i)}$, $k \in M_k^{(i)}$) за формулою

$$G^{(l,j,k)*}(\alpha^{(i)}) = \int_{t_0}^t \psi^*(t, \tau_{lj}^{(i)}) \left[\frac{\partial \tilde{f}(x(t, x_0^{(l,j,k)}, \alpha^{(i)}), t, \alpha^{(i)}, u^{(k)})}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tilde{f}(x(t, x_0^{(l,j,k)}, \alpha^{(i)}), t, \alpha^{(i)}, u^{(k)})}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right] dt.$$

На наступному етапі по векторах $G^{(l,j,k)*}(\alpha^{(i)})$ будуємо опуклу оболонку градієнтів та знаходимо найкоротшу відстань від неї до початку координат. Знайдена таким чином точка буде визначати вектор найшвидшого спуску на i -тій ітерації.

Далі розглянемо спрощений варіант задачі недиференційованої оптимізації для випадку фіксованих початкових умов $x(t_0) = x_0$, тобто

$$I(\alpha^{(0)}) = \min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{t,k} \Phi(u^{(k)}(t, \alpha)). \quad (5)$$

Необхідні умови оптимальності тут формулюються аналогічно: якщо $\alpha^{(0)}$ – розв'язок задачі (3), (5), то

$$\max_{\alpha \in G_\alpha} \min_{k \in M_k} \min_{\tau \in \bar{M}_{0,k}} \int_{t_0}^t \psi^*(t, \tau) \left[\frac{\partial \tilde{f}(x(t, \alpha^{(0)}, u^{(k)})}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tilde{f}(x(t, \alpha^{(0)}, u^{(k)})}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right] \Big|_{x=x(t, \alpha^{(0)})} (\alpha - \alpha^{(0)}) dt \leq 0,$$

де M_k , $\bar{M}_{0,k}$ – множини точок, в яких, відповідно, досягаються максимуми по k , t у співвідношенні (5).

Чисельний розв'язок задачі (5) знаходимо згідно з ітераційною схемою (4). Зокрема, для обчислення вектора найшвидшого спуску на i -тій ітерації визначимо множини

$$M_k^{(i)} = \left\{ k : \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) \geq \max_{k=1,2,\dots,m} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) - \varepsilon_i^{(1)} \right\};$$

$$\bar{M}_{0,k}^{(i)} = \left\{ \tau \in [t_0, T] : \Phi(u^{(k)}(\tau, x_0, \alpha^{(i)})) \geq \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(u^{(k)}(t, x_0, \alpha^{(i)})) - \varepsilon_i^{(2)} \right\}, \quad k \in M_k^{(i)}.$$

Множину максимумів $\bar{M}_{0,k}^{(i)}$, якщо вона не дискретна, покриваємо достатньо густою сіткою: $\tau_{i1}, \tau_{i2}, \dots, \tau_{m_i^{(k)}}$, $k \in M_k^{(i)}$. Далі визначаємо вектори

$$G^{(l,k)*}(\alpha^{(i)}) = \int_{t_0}^t \psi^*(t, \tau_{il}) \left[\frac{\partial \tilde{f}(x, t, \alpha^{(i)}, u^{(k)})}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tilde{f}(x, t, \alpha^{(i)}, u^{(k)})}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right] dt, \quad l=1,2,\dots,n_i^{(k)}, \quad k \in M_k^{(i)},$$

за допомогою яких будуємо опуклу оболонку, а по ній – напрям найшвидшого спуску $G(\alpha^{(i)})$.

Необхідно відзначити, що крім наведених постановок задач, вибір оптимальних параметрів, які забезпечують нормальну роботу системи в реальних умовах, можна здійснювати й за допомогою критерію сумісного типу

$$\min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{t; k; x_0 \in M_0} \{ \lambda_1 \Phi_1(x(t, x_0, \alpha)) + \lambda_2 \Phi_2(u^{(k)}(t, \alpha)) \},$$

де $\Phi_1(\cdot)$, $\Phi_2(\cdot)$ – опуклі функції;

λ_1, λ_2 – вагові коефіцієнти. Інший підхід полягає у розв'язанні задачі (2) для множини допусків на параметри ΔG_α .

Висновки

На основі необхідної умови оптимальності та методів недиференційовної оптимізації розроблено алгоритми мінімізації чутливості динамічних систем. Окремо розглянуто процедуру розрахунку оптимальних параметрів для фіксованих початкових умов і компактної множини.

Список літератури

1. Бублик Б. Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Бублик Б. Н., Гаращенко Ф. Г., Кириченко Н. Ф. – К. : Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Розенвассер Е. Н. Чувствительность систем управления / Е. Н. Розенвассер, Р. М. Юсупов. – М. : Наука, 1981. – 464 с.
3. Панталієнко Л. А. Дослідження задач обмеженої чутливості методами практичної стійкості / Л. А. Панталієнко // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 243–248.
4. Демьянов В. Ф. Введение в минимакс / В. Ф. Демьянов, В. Н. Малоземов. – М. : Наука, 1972. – 368 с.
5. Гаращенко Ф. Г. Недифференцируемые задачи структурно-параметрической оптимизации и проектирование ускоряющих и фокусирующих систем / Ф. Г. Гаращенко // Автоматика. – 1986. – № 1. – С. 50–53.

НЕДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л. А. Панталиенко

Аннотация. Приведены алгоритмы минимизации чувствительности динамических систем к изменению параметров. Рассмотрены постановки минимаксных задач для фиксированных начальных условий

и заданного компакта. На основании принципа максимума Понтрягина и итерационного метода градиентного спуска осуществлено численное решение оптимизационных задач чувствительности.

Ключевые слова: *параметры, оптимизация, чувствительность, функции чувствительности.*

UNDIFFERENTIATED PROBLEMS OF OPTIMIZATION THE SENSITIVITY OF DYNAMICAL SYSTEMS

L. Pantalienko

Annotation. *The algorithms to minimize the sensitivity of dynamical systems to changing parameters. Considered statement of minimax problems for fixed initial conditions and given the compact. On the basis of the Pontryagin maximum principle and iterative method of gradient descent implemented numerical solution of optimization problems of sensitivity.*

Key words: *parameters, optimization, sensitivity, sensitivity functions.*

УДК 535.37

ЛАЗЕРНА СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРІЯ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР *IN VIVO*

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. *Запропоновано можливі області застосування методу лазерної спектрофлуориметрії злакових культур. Показано, що даний підхід є перспективним для диференціювання вікових і видових відмінностей злакових культур на різних фазах розвитку. Залежність флуоресцентних індексів від роду та сорту і генетичних форм не знайдена.*

Ключові слова: *флуоресценція, спектрофлуориметрія, злакові культури.*

Розробка засобів та методів швидкого точного аналізу сільськогосподарських культур впродовж розвитку та під впливом стресових факторів є одним з найбільш актуальних питань сучасного рослинництва. Кореляція кількісних флуоресцентних параметрів хлорофілу із загальним процесом фотосинтезу є доволі складною для прогнозування: випромінювання флуоресценції хлорофілу а може становити 2–5 % від поглинутої енергії. Даний показник значною мірою залежить не лише від інтенсивності та

и заданного компакта. На основании принципа максимума Понтрягина и итерационного метода градиентного спуска осуществлено численное решение оптимизационных задач чувствительности.

Ключевые слова: *параметры, оптимизация, чувствительность, функции чувствительности.*

UNDIFFERENTIATED PROBLEMS OF OPTIMIZATION THE SENSITIVITY OF DYNAMICAL SYSTEMS

L. Pantalienko

Annotation. *The algorithms to minimize the sensitivity of dynamical systems to changing parameters. Considered statement of minimax problems for fixed initial conditions and given the compact. On the basis of the Pontryagin maximum principle and iterative method of gradient descent implemented numerical solution of optimization problems of sensitivity.*

Key words: *parameters, optimization, sensitivity, sensitivity functions.*

УДК 535.37

ЛАЗЕРНА СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРІЯ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР IN VIVO

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук

Я. В. Кожем'яко, асистент

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук

e-mail: posudin@ukr.net

Анотація. *Запропоновано можливі області застосування методу лазерної спектрофлуориметрії злакових культур. Показано, що даний підхід є перспективним для диференціювання вікових і видових відмінностей злакових культур на різних фазах розвитку. Залежність флуоресцентних індексів від роду та сорту і генетичних форм не знайдена.*

Ключові слова: *флуоресценція, спектрофлуориметрія, злакові культури.*

Розробка засобів та методів швидкого точного аналізу сільськогосподарських культур впродовж розвитку та під впливом стресових факторів є одним з найбільш актуальних питань сучасного рослинництва. Кореляція кількісних флуоресцентних параметрів хлорофілу із загальним процесом фотосинтезу є доволі складною для прогнозування: випромінювання флуоресценції хлорофілу а може становити 2–5 % від поглинутої енергії. Даний показник значною мірою залежить не лише від інтенсивності та

довжини хвилі збуджуючого випромінювання, а й від типу хлоропласта, віку та фізіологічного стану рослини, а також – від можливих стресових умов різної природи [1, 2]. Вплив типових стресів на фотосинтетичну активність рослини та її флуоресцентні параметри висвітлено в сучасній літературі [3, 4]. Основним принципам флуоресцентної спектроскопії та флуоресцентного аналізу рослин присвячені роботи [5, 6]. Метод спектрофлуориметрії рослинних об'єктів детально описаний у роботах [7, 8].

Мета досліджень – вивчення доцільності застосування лазерної спектрофлуориметрії для визначення вікових і спадкових особливостей окремих злакових рослин.

Матеріали та методика досліджень. В експериментах було використано етильовані паростки та жовті стеблини злакових культур (м'які й тверді види, озимі та ярові сорти) – пшениці, жита, ячменю та гібридів із колекції Національного університету біоресурсів і природокористування України. Як джерело збудження флуоресценції застосовували азотний лазер.

Як спектральні критерії стану сільськогосподарських культур використовувалися наступні флуоресцентні індекси: $F_1 = 430/460$, $F_2 = 460/530$, $F_3 = 690/735$, $F_4 = 460/690$, $F_5 = 430/690$, $F_6 = 530/690$, $F_7 = 430/735$, $F_8 = 460/735$, $F_9 = 530/735$, $F_{10} = 430/530$.

1. Значення флуоресцентних індексів етильованих паростків і стебел злакових культур

Злакова культура	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
П. оз. „Поліська-70”	0,9	2,0	-	7,2	6,4	3,6	-	-	-	1,8
П. оз. „Киянка”	0,9	1,8	1,4	6,7	5,9	3,8	8,6	9,6	5,5	1,6
П. я. „Вектор”	0,9	2,0	2,9	4,1	3,6	2,0	10,3	11,7	5,8	1,8
П. оз. „Корунд”	0,9	2,5	4,3	4,4	3,8	1,8	16,5	19,1	7,8	2,1
Ж. оз. „Житомирське”	0,9	2,4	3,6	2,8	2,4	1,2	8,8	10,1	4,2	2,1
Ж. оз. „Белта”	0,9	2,3	2,2	5,3	4,7	2,2	10,5	11,7	5,0	2,1
Я. оз. „Крим”	0,9	2,0	2,0	3,4	3,0	1,7	5,9	6,7	3,3	1,8
Ячмінь ярий	0,9	2,3	2,2	4,0	3,8	1,8	8,3	8,8	3,8	2,2
Я. оз. „Барвінок”	1,0	2,8	3,0	7,0	6,7	2,5	20,4	21,4	7,6	2,7
Я. оз. „Міраж”	0,9	1,7	2,3	2,5	2,2	1,4	5,0	5,6	3,3	1,5
К. „Колективний-101”	0,8	2,3	-	15,3	12,5	6,6	-	-	-	1,9
К. г. „Молдавський”	0,9	1,7	1,0	13,1	11,3	7,6	11,2	13,0	7,5	1,5
П. оз. „Білоцерківська47”р	0,9	1,8	2,8	3,4	3,0	1,9	8,5	9,6	5,5	1,5
П. оз. „Білоцерківська47”с.	0,8	1,5	1,4	2,0	1,6	1,3	2,2	2,7	1,8	1,3
П. оз. „Іванівська-60” с.	0,9	1,9	1,3	6,1	5,5	3,2	7,3	8,2	4,3	1,7
П. оз. „Миронівська808” п	0,8	1,5	2,4	2,3	1,7	1,5	4,2	5,4	3,5	1,2
Ж. оз. „Белта” (паросток)	0,9	2,3	2,2	5,3	4,7	2,2	10,5	11,7	5,0	2,1
Ж. оз. „Белта” (стебло)	0,9	2,1	-	2,1	2,0	1,0	-	-	-	2,0
П. я. „Харків-7” (стебло)	0,8	1,7	3,8	2,1	1,7	1,2	6,5	7,9	4,5	1,4
П. я. „Харків-7” (паросток)	0,9	2,3	3,0	4,8	4,1	2,0	12,2	14,2	6,1	2,0
П. я. „Харків-7” (опромін)	0,9	1,5	1,9	0,7	0,6	0,4	1,1	1,3	0,9	1,3
П. я. „Світлана”	0,8	2,0	3,7	3,3	2,8	1,7	10,3	12,5	6,2	1,7
П. я. „Світлана” (опромін)	0,9	1,9	4,0	0,4	0,3	0,2	1,4	1,6	0,9	1,6
П. я. „Діана”	0,8	1,9	13,0	1,9	1,6	1,0	20,5	24,5	12,6	1,6
П. я. „Діана” (опромін)	0,8	1,6	4,3	0,6	0,4	0,4	2,0	2,7	1,7	1,2

Примітка. П. оз. – пшениця озима, П. я. – пшениця яра, Ж. оз. – жито озиме, Я. оз. – ячмінь озимий, Я. я. – ячмінь ярий, К. – кукурудза, К. г. – кукурудза гібрид.

Результати досліджень. Значення флуоресцентних індексів етильованих паростків і стебел злакових культур наведено в табл. 1.

Як видно, значення індексів лежать у межах: F_1 від 0,8 до 1,0; F_2 від 1,5 до 2,8; F_{10} від 1,2 до 2,7. Значення інших індексів змінюються в широких межах. Це свідчить про те, що спектральні смуги в синій області спектра (430, 460 та 530 нм) можна застосовувати як реперні й порівняння з ними надасть можливість оцінити зміни інтенсивності флуоресценції у червоній (690 та 740 нм) області спектра.

Так, наприклад, перехід від етильованого паростка до жовтого стебла (пшениця «Білоцерківська-47») характеризується зменшенням індексу F_3 від 2,8 до 1,4; F_4 від 3,4 до 2,0; F_5 від 3,0 до 1,6; F_7 від 8,5 до 2,2; F_8 від 9,6 до 2,7.

Можна припустити збільшення деяких індексів у ярових культур порівняно з озимими: так, індекс F_3 збільшується від 1,4 (пшениця яра «Киянка») до 2,9 (пшениця озима «Корунд»); від 2,0 (ячмінь озимий «Крим») до 2,2 (ячмінь ярий).

Результати опромінювання білим світлом (4000 лк) упродовж 1,5 доби свідчать про зменшення індексу F_3 від 3,0 до 1,9 (пшениця яра «Харків-7») та від 13,0 до 4,3 (пшениця яра «Діана»). Те саме можна сказати про індекси F_4 , F_5 , F_7 та F_8 .

Для паростків кукурудзи майже всі співвідношення мають більш високі значення, оскільки інтенсивність червоних максимумів залишається малою. Слід відзначити, що паростки кукурудзи мають білий колір, тоді як паростки інших культур – білий із жовтуватим відтінком. Пояснити цей факт можна сповільненим процесом накопичення протохлорофіліду.

Ми не знайшли суттєвих відмінностей серед флуоресцентних індексів зразків, притаманних різним генетичним формам (озима та ярова культури) та залежності флуоресценції хлорофілу від роду та сорту пшениці.

Висновки

Використання методу лазерної спектрофлуориметрії для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи показало, що найсуттєвіші зміни флуоресцентних характеристик проявляються на різних фазах розвитку. Залежність флуоресцентних індексів від роду, сорту та генетичних форм не знайдена.

Список літератури

1. Lichtenthaler H. K. *In vivo* chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. In : Application of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing / Lichtenthaler H. K., ed. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988. – P. 129 – 142.
2. Lichtenthaler H. K. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants / H. K. Lichtenthaler, U. Rinderle // CRC Critical Reviews in analytic Chemistry, 1988. – 19. – P. 29–85.
3. Lichtenthaler H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. / Lichtenthaler, Hartmut K. // Journal of Plant Physiology. – 1996. – 148 (1/2) – P. 4–14.

4. Matysiak Renata. The xanthophyll cycle under abiotic stress / Matysiak Renata, Lorenc-Plucinska Gabriela // J. Postepy Biologii Komorki. – 2000. – 27 (1). – P. 17–29.
5. Roy S. Chlorophyll analysis by the fluorometric method / S. Roy // Pelagic Ecology Methodology. – 2002. – P. 121–130.
6. Cavender-Bares J. From leaves to ecosystems: using chlorophyll fluorescence to assess photosynthesis and plant function in ecological studies / Cavender-Bares J., Bazzaz F. A. // Advances in Photosynthesis and Respiration. –2004. – 19. – P. 737–755 (Chlorophyll a Fluorescence).
7. Посудін Ю. І. Вплив зневоднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу у листках салату (*Lactuca sativa* L.) / Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська, І. А. Залоїло // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 226–229.
8. Agati G. A simple approach to the evaluation of the reabsorption of chlorophyll fluorescence spectra in intact leaves. / Agati G., Fusi F., Mazzinghi P., Lipucci di Paola M. // Journal of Photochemistry and Photobiology. – B. : Biology, 1993. – 17 (2). – P. 163–171.

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИЯ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР *IN VIVO*

Ю. И. Посудин, Я. В. Кожемяко, О. А. Годлевская, И. А. Залоило

Аннотация. Предложены возможные области применения метода лазерной спектрофлуориметрии злаковых культур. Показано, что данный подход является перспективным для дифференцирования возрастных и видовых различий злаковых культур на различных этапах развития. Зависимость флуоресцентных индексов от рода, сорта и генетических форм не обнаружена.

Ключевые слова: флуоресценция, спектрофлуориметрия, злаковые культуры.

LASER SPECTROFLUORIMETERS CEREAL *IN VIVO*

Y. Posudin, Y. Kozhemiako, O. Godlevska, I. Zaloyilo

Annotation. The possible applications of the method of laser spectrofluorometry of cereals. It is shown that this approach is promising for the differentiation of the age and species differences cereal crops at different stages of development. The dependence of the fluorescence indices of age, variety and genetic forms not found.

Key words: fluorescence, spectrofluorometry, cereals.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ГІДРОДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ ВОЛОКОННИХ СВІТЛОВОДІВ

*О. П. Зінкевич, В. М. Сафонов,
кандидати фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
О. М. Нещадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Виконано порівняння існуючих моделей витягування волоконних світловодів на основі їх особливостей в таких аспектах: реологічна модель; ізотермічність (неізотермічність); стаціонарність (нестационарність); врахування тих або інших сил у загальному балансі сил, діючих на витягаюче волокно; розмірність моделі; граничні умови; спосіб знаходження поля швидкостей і температур. Встановлено необхідність двовимірного розгляду обох сторін процесу – гідродинамічної та теплотехнічної.

Ключові слова: заготовка, зони формування, реологія, конститутивні рівняння, баланс сил, повна модель.

Процес формування волоконних світловодів має дві основні стадії: формотворення та фіксації форми [11, 1]. Тут необхідно розглядати дві сторони протікання процесу формування – механічну (процес деформування скломаси) і теплотехнічну (процес нагрівання та охолодження скла). Якщо точкою відліку вважати початок плавлення скла заготовки, то увесь процес формування можна умовно розбити на чотири зони: зону формування; зону власне витягування; зону завершення процесу; зону приймання готового скловолокна. Кожній зоні відповідають характерні особливості протікання двох названих сторін протікання процесу формування.

Мета досліджень – вибір належної моделі реології, що якнайкраще описує поведінку розплаву волокноутворюючих матеріалів у відповідній зоні процесу формування.

Матеріали та методика досліджень. Гідродинамічні моделі процесу витягування волоконних світловодів аналізувалися в межах класичної теорії механіки суцільного середовища.

Результати досліджень. Кожна із названих чотирьох зон характеризується своїм видом залежності між напругою τ й спричиненими нею деформаціями Δ , а також швидкостями деформацій. Встановлення характеру таких залежностей $\tau = \tau(\Delta)$, які ще називають конститутивними рівняннями, є завданням реології. Для повного розуміння процесу форму-

вання необхідно знати реологічну поведінку волокна, що витягується, у кожній з чотирьох зон.

Проте це неможливо за нинішнього стану наших знань: до сьогодні не існує надійної, достеменно точної загальної теорії або вичерпних експериментальних даних для такого широкого діапазону зовнішніх умов. І, як результат, доводиться обмежуватися застосуванням простих реологічних моделей і прийнятних емпіричних співвідношень.

Усі існуючі реологічні моделі можна поділити на два класи залежно від того, чи вкладаються ці моделі в межі класичної лінійної теорії, що розглядає лише нескінченно малі й нескінченно повільні деформації і так звані явища першого порядку, або при побудові цих моделей беруться до уваги скінченність деформацій та їх швидкостей, а також явища вищих порядків [12].

Рейнер [10] запропонував проводити систематизацію моделей у межах класичної теорії, опираючись на основні моделі суцільного середовища: пружне тіло Гука, що є ідеально пружним тілом і розглядається в класичній теорії пружності; в'язка рідина Ньютона, що є «простою» в'язкою рідиною і розглядається класичною гідродинамікою; пластичне тіло Сен-Венана – тверде тіло, якому властива межа протікання, при напрузі, нижче за яку воно деформується пружно й пластично тече при постійній напрузі, що дорівнює межі протікання. Тіло Сен-Венана вивчає ідеальна пластичність. Решту «реологічних тіл» можна розглядати як комбінації цих трьох основних тіл.

Кожній із названих моделей можна дати механічну трактовку, на основі якої будується механічна модель. Складаючи послідовні, паралельні або змішані поєднання цих моделей, можна отримати нові моделі, які описують поведінку найрізноманітніших реальних матеріалів. Так, послідовне поєднання моделей Ньютона і Гука створює відому модель Максвелла.

Наближення, що витікає з ізотермічності процесу витягування, є грубим і практично ніколи не відповідає дійсності. Проте при вивченні ізотермічних моделей процесу витягування волоконних світловодів було отримано важливі якісні результати [17, 19].

Відомі неізотермічні моделі можна розділити на дві великі групи. До першої групи належать такі, в яких разом з рівнянням Нав'є-Стокса використовується рівняння теплопровідності. Такі моделі будемо вважати повними. До другої групи належать моделі, в яких розподілення температури враховується параметрично за допомогою завдання в'язкості як функції координат. Найкращих результатів у дослідженні процесу витягування було досягнуто на основі повних моделей, серед яких слід виокремити [9, 15].

Початковим етапом дослідження процесу витягування має бути аналіз стаціонарних конфігурацій волокон і відповідного поля швидкостей. Здебільшого так і буває; нестаціонарні початкові рівняння використовуються, як правило, при дослідженні стійкості процесу і його реакції на всілякі обурення. Винятком є випадок, коли нестаціонарні рівняння використовуються для відшукування стаціонарного рішення у межах методу встановлення при $t \rightarrow \infty$ [5,9].

У найбільш загальному випадку рівняння балансу сил при витягуванні волокон має вигляд [18]:

$$F + F_g = F_\mu + F_{in} + F_{st} + F_a. \quad (1)$$

Тут

F – сила натягу в точці прийому волокна;

F_g – сила тяжіння;

F_μ – складова, обумовлена в'язкими силами і залежна від реологічних властивостей розплаву;

F_{in} – інерційна сила, пов'язана з прискоренням струменя рідини;

F_{st} – сила поверхневого натягу, пов'язана зі зміною поверхні струменя і відповідної поверхневої енергії струменя; вона пропорційна поверхневому натягу між струменем і довкіллям;

F_a – сила тертя об повітря.

Відносна важливість складових у балансі сил залежить від умов формування і властивостей розплавленого матеріалу.

Практично в усіх відомих роботах нехтують силою тертя об повітря. Умови, за яких таке нехтування не є виправданим, розглянуті в [5]. Нехтування всіма силами, крім F і F_μ , відповідає повільному витягуванню високов'язкого матеріалу, є хорошою моделлю даного процесу [2]. Врахування окремих складових в рівнянні (1) і, у першу чергу F_{st} , відповідає тим чи іншим особливостям при розгляді реальних процесів. Так, наприклад, F_{st} необхідно врахувати при моделюванні процесу витягування скляних волокон. Чисто теоретичний інтерес представляє випадок, коли $F = 0$, він є предметом дослідження в роботі [13].

Практично всі існуючі моделі є одновимірними. Це обумовлено труднощами дослідження початкових рівнянь, записаних для випадку осьової симетрії, не кажучи вже про тривимірний випадок. Були нечисленні спроби врахування поперечної складової швидкості [16, 12] за допомогою подання її у вигляді

$$V(r, z) = V(z) \cdot (1 + a_1 \cdot r + a_2 \cdot r^2 + \dots). \quad (2)$$

У випадку [16] (досліджувалися полімерні волокна) оцінка коефіцієнтів $a_1, a_2, \dots$ показала їх малість, на основі чого було зроблено висновок про задовільність одновимірного підходу. В іншому випадку [12] виявилося, що прийняття параболічного профілю швидкості (2) у межах поперечного перерізу волокна не призводить до задовільного результату при порівнянні теоретичних та експериментальних даних. У результаті автори цієї роботи прийшли до висновку про необхідність врахування двовимірності поля температур.

У роботах [6, 7] запропоновано розв'язання задачі формування волокон із полімерних матеріалів у вигляді накладення завдання про розтягування в'язко-пружного стержня і руху, який визначається продуктивністю процесу. При цьому завдання про струмінь, що витягається, розділено на

дві. Це задача про розтягування в'язко-пружного стрижня в умовах теплообміну з довкіллям, коли розтягуюче зусилля стає або змінюється з часом за лінійним законом, і задача про визначення основних параметрів струменя за допомогою результату розв'язання першої задачі та заданої швидкості часток.

Постановка граничних умов визначається з урахуванням тих або інших сил, що діють на волокно, розмірністю моделі, а також похибкою апроксимацій, пов'язаних із розглядом усієї області витягування або її частини.

На завершальній стадії практично всі способи розв'язання є чисельними [3, 4 та інші]. Виняток становлять деякі окремі випадки ізотермічних моделей, а також неізотермічних, коли, наприклад, задається залежність в'язкості від подовжньої координати.

Є низка робіт, в яких використані методи перетворення змінних. Так, у роботі [14] рівняння, записані в наближенні пограничного прошарку, представлені в так званій системі Protean координат, унаслідок чого, розв'язок відшукується для функції струму.

У роботі [16] продемонстровано підхід, заснований на використанні лагранжевих координат при аналізі нестационарного процесу витягування. Підхід дає змогу зводити задачу одновісного розтягу рідкої ниті з вільним розподілом площі поперечного перерізу вздовж усієї довжини ниті відносно задачі про розтяг рівномірного рідкого циліндра, яка загалом вирішується теж чисельно.

Найважливішими процесами деформування при формуванні волокон є: зсув у круговому каналі (течія Пуазейля) і одновісний розтяг [8]. Перший тип течії реалізується у фільсері при витягуванні фільєрним способом, другий – по виходу із фільсера і при витягуванні із заготовки [5].

Усталена течія струменю є прикладом усталеного негомоторного руху, де градієнт швидкості є функцією положення і змінюється уздовж шляху течії. Це не суто поздовжня течія; зміна радіуса по її довжині призводить до появи деяких радіальних складових градієнта швидкості і не рівних нулю складових напруги зсуву. Надійна теорія такої течії для рідин із нелінійною в'язкістю не розроблена; те саме можна сказати і про лінійні вязкопружні і ньютонівські рідини. Проте на випадок, коли зміна радіуса не дуже велика, течія може апроксимувати як квазіпоздовжня, а розподіл швидкості вважається плоским. Усі існуючі теоретичні рішення для вільно розтягваних струменів ґрунтуються на цьому наближенні (про чистий розтяг), яке є більш-менш обґрунтованим залежно від того, яка із зон витягування розглядається.

Вочевидь, зміна радіуса струменя тут найбільша і недооцінка радіальних складових змінних, що описують процес витягування, може дуже викривити картину течії в тій зоні, яка значною мірою визначає характеристику готового волокна.

Висновки

Побудова високоефективних волоконних систем зв'язку потребує виготовлення високоякісних волоконних світловодів. Важливим показни-

ком якості є незмінність по довжині їх геометричних розмірів. Традиційно використовувані для опису процесу моделі, в основному одновимірні і квазіодновимірні, характеризуються прийняттям значних і не завжди виправданих спрощень, що часто призводить до помилок. Тому для побудови та ефективного функціонування автоматичних систем управління технологічними процесами витягування волоконних світлопроводів потрібний спосіб розрахунків стаціонарних осесиметричних полів швидкостей і температур, а також форми скломаси на ділянці переходу від заготовки до волоконного світловода. Важливою є розробка алгоритмів розрахунку нестаціонарних процесів: дослідження реакції стаціонарного процесу витягування світлопроводів на збурюючі дії зовнішніх умов формування.

Щоб домогтися прогресу в розумінні механізмів протікання процесу витягування, а також задовільного збігу розрахункових та експериментальних даних можна тільки в результаті двовимірного розгляду обох сторін процесу – гідродинамічної й теплотехнічної.

Список літератури

1. Асланова М. С. Стекланные волокна / М. С. Асланова, Ю. И. Колесов, В. Е. Хасанов и др. ; под ред. Аслановой М. С. – М. : Химия, 1979. – 256 с.
2. Брагинский К. И. Механика процесса вертикального вытягивания стекла / К. И. Брагинский // Стекло и керамика. – 1962. – № 1. – С. 7012.
3. Численные методы исследования течения вязкой жидкости / [Госман А. Д., Пак В. М., Рангель А. К. и др.] . – М. : Мир, 1972. – 324 с.
4. Жаботинский М. Е. Физика формирования волоконных световодов / М. Е. Жаботинский, А. В. Фойгель // ПМТФ. – 1976. – № 2. – С. 167–174.
5. Зябицкий А. Теоретические основы формирования волокон / А. Зябицкий ; пер. с англ. О. К. Перепелкиной и К. Е. Перепелкина. – М. : Химия, 1979. – 504 с.
6. Литвинов В. Г. Движение нелинейно-вязкой жидкости / В. Г. Литвинов. – М. : Наука, 1982. – 376 с.
7. Литвинов В. Г. Растяжение вязко-упругой струи в условиях теплообмена с окружающей средой / В. Г. Литвинов // Мех. Полит. – 1968. – № 3. – С. 540–546.
8. Милдман С. Течение полимеров / С. Милдман ; пер. с англ. ; под ред. А. Я. Малкина. – М. : Мир, 1971. – 259 с.
9. Наумчик В. Д. Квазодномерная модель процесса вытяжки оптического волокна / В. Д. Наумчик // Энергоперенос в конвекторных потоках. – Минск, 1985. – С. 64–76. – Сб. наук. Тр. / ИТМО АН БССР.
10. Рейнер М. Реология / М. Рейнер ; пер. с англ. Н. И. Малинина. – М. : Наука, 1965. – 223 с.
11. Ходаковский М. Д. Производство стеклянных волокон и тканей / М. Д. Ходаковский и др. – М. : Химия, 1973. – 311 с.
12. Glicksman L. R. A prediction of the upper temperature limit for glass fiber spinning // L. R. Glicksman. – Glass Technology. – 1974. – № 15. – P. 16–20.
13. Glarke N. S. Two-dimensional flow under gravity in a jet of viscous liquid / N. S. Glarke // Journal of Fluid Mechanics. – 1968. – 31. – P. 3. – P. 481–500.
14. Green A. E. On the non-linear behavior of fluid jets / A. E. Green // International of Engineering Science. – 1979. – 14. – P. 49–63.
15. Geyling F. T. Basic fluid-dynamic considerations in the drawing of optical fibers / F. T. Geyling // Bell System Technical Journal. – 1976. – 55. – № 8. – P. 1011–1056.

16. Kase S. Studier on melt spinning. Velocity field within the t thread / S. Kase // Journal of Applied Polymer Science. –1974. – 18. – P. 3267–3278.

17. Matovich M.A. Spinning a moltem threnollne//Industrial Engineering Chemistry. Fundamentals / M. A. Matovich, J. R. A. Pearson. – 1969. – 8, № 8. – P. 513–520.

18. Manfre G. Forces acting in the contenuous drawing of glass fibers / G. Manfre // Glass Technology. – 1969. – 10. – № 4. – P. 99–106.

19. Shah Y. T. On the stability of nonisothermal fiber spinning // Industrial Engineering Chemistry. Fundamentals / Y. T. Shah, J. R. A. Pearson. – 1972. – V. 11, № 2. – P. 150–153.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

А. П. Зинькевич, В. М. Сафонов, А. М. Нещадим

Аннотация. *Выполнено сравнение существующих моделей вытягивания волоконных световодов на основе их особенностей в следующих аспектах: реологическая модель; изотермичность (неизотермичность); стационарность (нестационарность); учета тех или иных сил в общем балансе сил, действующих на вытягивание волокна; размерность модели; граничные условия; способ нахождения поля скоростей и температур. Определена необходимость двумерного рассмотрения обеих сторон процесса – гидродинамической и теплотехнической.*

Ключевые слова: *заготовка, зоны формирования, реология, конституционные уравнения, баланс сил, полная модель.*

ANALYSIS OF EXISTING HYDRODYNAMIC MODELS OF THE OPTICAL FIBER ATTENUATION PROCESS

A. Zinkevych, V. Safonov, A. Neshchadym

Annotation. *The article is carried out a comparison of existing models drawing optical fibers based on their characteristics in such aspects: rheological model; isothermal (nonisothermality); stationary (non-stationary); consideration of those or other forces in the overall balance of forces acting on the fiber is pulled; the dimension of the model; border conditions; solution method (finding) the velocity and temperature field.*

Key words: *harvesting, formation zone, rheology, constitutive equation, the balance of power, complete model.*

РОЗПОДІЛ ДРІБНОМАСШТАБНИХ КОРЕЛЯЦІЙ ВКЛЮЧЕНЬ ДИСПЕРСНИХ МАТРИЧНИХ СИСТЕМ

*О. Ю. Грищук, кандидат фізико-математичних наук
Інститут хімії поверхні НАН України
С. В. Стеценко, старший викладач
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Досліджено розв'язок крайової задачі для випадку дво-часткового розподілу з дрібномасштабними кореляціями для неупорядкованих систем. Проаналізовано умови та доведено, що ефективна діелектрична проникність є об'ємною властивістю макроскопічно однорідної системи, і не залежить від форми того, що її збуджує.

Ключові слова: частинка, мультипольний момент, дрібно-масштабна кореляція, ефективна діелектрична проникність.

Розглядатимемо двочасткові включення, що призводять до зникаючо-малих флуктуаційних ефектів. Часто це називають наближенням середнього поля [1]. Не використовуватимемо дипольне наближення, оскільки враховуємо мультипольні моменти всіх порядків як для частинок, так і для їх зображень.

Мета досліджень – розв'язок крайової задачі для випадку двочасткового розподілу з дрібномасштабними кореляціями для неупорядкованих систем.

Якщо двочасткові кореляції мають малу довжину $R \ll d$, то доводимо, що: а) вищі мультипольні моменти всіх інших частинок, розміщених за межами відстані кореляції, а також моменти їх зображень, не дають ніякого включення в локальне поле, а їх дипольні моменти утворюють просто однорідне поле; б) включення всіх мультипольних моментів інших частинок, що знаходяться за межами довжини кореляції, у локальне поле, що діє на цю частинку, суттєво залежать від особливостей форми двочасткового розподілу і в загальному випадку не рівні нулю, якщо розподіл несферичний.

Матеріали та методика досліджень. Якщо положення всіх частинок відомі, як, наприклад, у кристалах, можна точно визначити конфігураційну матрицю системи та обчислити мультипольні моменти й ефективну діелектричну проникність до будь-якого бажаного порядку. Для неупорядкованих систем чітко усереднене за ансамблем рішення визначається в принципі, якщо задано N -частковий розподіл. Для великих систем це практично неможливо, тому можна визначити лише наближені рішення, що відповідають розподілам нижчих порядків. Будемо розглядати лише

макроскопічні однорідні системи, тобто однорідні одночастинні розподіли, та використовувати лише такі одно- та двочасткові розподіли, при яких можна знехтувати флуктуаційними ефектами.

Розглянемо систему однакових частинок радіуса a та діелектричної проникності ϵ_p .

Запишемо рівняння :

$$\sum_{l'm'} q_{l'm'} \sum_{i'} G_{ilm}^{i'l'm'} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \alpha a^3 E_0 \delta_l^1 \delta_m^0 + \sum_{i'l'm'} G_{ilm}^{i'l'm'} [q_{l'm'} - q_{i'l'm'}], \quad (1a)$$

$$\text{де} \quad \alpha = \frac{\epsilon_p - \epsilon_m}{\epsilon_p + 2\epsilon_m}; \quad (1b)$$

$q_{lm} = \langle q_{ilm} \rangle$ – середні мультипольні моменти.

Після усереднення за ансамблем останній доданок в (1a) є включенням від флуктуацій. Він дає ненульові поправки лише при розгляді розподілу для трьох і більшої кількості частинок. Отже, ці поправки, меншою мірою, другого порядку за об'ємною концентрацією, і вони тут розглядатися не будуть. Це єдине вихідне наближення, яке використовується в цій статті.

Двочастковий розподіл можна записати в загальному вигляді як

$$n(\vec{r} - \vec{r}_i) = \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) + n^0 + f(\vec{r} - \vec{r}_i), \quad (2a)$$

де $n^0 = \frac{(N-1)}{V} \approx \frac{N}{V}$ – середня концентрація частинок;

$f(\vec{r} - \vec{r}_i)$ – описує відхилення від однорідного розподілу внаслідок кореляцій.

Розглядаємо кореляції малого масштабу $R \ll d$. Тому функція f повинна задовольняти такі умови:

$$1) f(\vec{r} - \vec{r}_i) = -n^0 \quad \text{для} \quad |\vec{r} - \vec{r}_i| \leq 2a, \quad (2b)$$

оскільки всередині зазначеної області є лише одна частинка;

$$2) f(\vec{r} - \vec{r}_i) = 0 \quad \text{для} \quad |\vec{r} - \vec{r}_i| > R, \quad (2c)$$

оскільки за межами відстані кореляції розподіл стає однорідним;

3) збереження повного числа частинок потребує:

$$\int_{|\vec{r}-\vec{r}_i| \leq R} f(\vec{r} - \vec{r}_i) d^3 \vec{r} = 0 \quad (2d)$$

Використовуючи (2a), додавання по i' в (1a) можна замінити інтегруванням. Оскільки кожен доданок в $C_{lm}^{l'm'}(\vec{r}_{i'} - \vec{r}_i)$ має множник $e^{j(m'-m)\phi_{i'}}$, де $\phi_{i'}$ – азимутальний кут вектора $\vec{r}_{i'} - \vec{r}_i$, інтегрування по $\phi_{i'}$ дає нуль при $m' \neq m$, оскільки розподіл частинок має азимутальну симетрію. Таким чином, рівняння для мультипольних моментів із різними m розщеплюються. Для моментів $m \neq 0$ маємо набір (систему) однорідних лінійних рівнянь із ненульовим детермінантом, тому кожен мультипольний момент з $m \neq 0$ повинен бути нулевим.

Для $m' = m = 0$ маємо середні для коефіцієнтів зв'язку

$$\sum_{i'} C_{i0}^{l'0}(\vec{r}_i - \vec{r}_i) = f_l^{l'} + \left(\frac{8\pi}{9}\right) n^0 \delta_i^1 \delta_1^{l'} - \left(\frac{4\pi}{3}\right) n^0 \delta_i^1 \delta_1^{l'}, \quad (3)$$

$$\text{де } f_l^{l'} = \int_{|\vec{r}-\vec{r}_i| \leq R} f(\vec{r}-\vec{r}_i) A_{i0}^{l'0}(\vec{r}-\vec{r}_i) d^3 \vec{r}. \quad (4)$$

Цей доданок – включення від сусідніх частинок, які знаходяться в межах відстані кореляції. Узагалі, всі мультипольні моменти цих частинок вносять включення в локальне поле, яке діє на i -ту частинку, і залежать від специфічної форми функції $f(\vec{r}-\vec{r}_i)$. Другий доданок в (3) – це включення частинок, які розміщені за межами кореляції, а третій доданок – включення всіх зображень. Множник $\delta_i^1 \delta_1^{l'}$ вказує, що вищі мультипольні моменти цих частинок і всі зображення не дають включень у локальне поле, а їх дипольні моменти утворюють лише однорідне поле. Коефіцієнти зв'язку не залежать від форми та орієнтації частинок і, таким чином, одержуємо необхідні результати.

Із матриці конфігурації системи $G_{ilm}^{i'l'm'} = \delta_i^{i'} \delta_l^{l'} \delta_m^{m'} + (2l+1) \beta_{il} C_{lm}^{l'm'}(\vec{r}_i - \vec{r}_i)$ та (3) одержуємо:

$$\sum_{i'} G_{i0}^{i'l'0} = \delta_l^{l'} - v \alpha \delta_l^1 \delta_1^{l'} + (2l+1) \beta_l f_l^{l'} = G_l^{l'}, \quad (5)$$

де $v = \left(\frac{4\pi a^3}{3}\right) n^0$ – доля об'єму, зайнятого частинками,

$$\beta_l = [(\epsilon_p - \epsilon_m) l a^{2l+1}] / [l \epsilon_p + (l+1) \epsilon_m]. \quad (6)$$

Рівняння (5) визначає $G_l^{l'}$ – конфігураційну матрицю системи зменшених розмірів. Рівняння (1а) приймає вигляд:

$$\sum_{i'} G_l^{i'l'} q_{i'0} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \alpha a^3 E_0 \delta_l^1 \quad (7)$$

і, тоді

$$q^{l0} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \alpha a^3 (G^{-1})_l^1 E_0. \quad (8)$$

Одержуємо ефективну діелектричну проникність:

$$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} = 1 + 4\pi \sqrt{\frac{4\pi}{3}} \frac{n^0 q_{l0}}{E_0} = 1 + 3v \alpha (G^{-1})_l^1. \quad (9)$$

Результати досліджень. У загальному випадку вищі мультипольні моменти інших частинок, що знаходяться в зоні кореляції, дають включення в локальне поле, яке діє на кожну частинку, і роблять його неоднорідним, що, у свою чергу, приводить до виникнення вищих мультиполів навіть у сферичних частинок. Оскільки дипольний момент кожної частинки пов'язаний з вищими мультиполями інших частинок із зони кореляції, ефективна діелектрична проникність змінюється під їх впливом і відхиляється від формули Максвелла-Гарнетта. Ці зміни специфічно залежать від несферичної частини двочасткового розподілу і мають порядок об'ємної концентрації. Для макроскопічно однорідної системи, якщо припустити однорідне зовнішнє поле, замість плоско-паралельного, одержимо однакові результати. Таким чином, ефектив-

на діелектрична проникність є об'ємною властивістю макроскопічно однорідної системи, і не залежить від форми того, що її збуджує.

Висновки

Зовнішнє поле стає однорідним усередині макроскопічної однорідної системи з дрібномасштабним двочастковим розподілом. Поле, утворене частинками не в зоні кореляції, також стає однорідним, незалежно від форми та орієнтації частинок. Поле інших частинок в зоні кореляції в загальному випадку неоднорідне і вирішальним чином залежить від форми двочасткового розподілу. Якщо розподіл сферичний, ці частинки не дають включень у локальне поле, що діє на центральну частинку. Отже, всі мультипольні моменти, крім дипольних, зникають, і в межах наближення середнього поля чітко маємо результат Максвелла-Гарнетта.

Список літератури

1. Гречко Л. Г. Ефективна діелектрична проникність матричних дисперсних систем з багат шаровими включеннями: пряма та обернена задачі / Л. Г. Гречко, Л. Б. Лерман, Н. Г. Шкода // Вісник Київ. ун-ту. Серія: фіз.-мат. науки. – 2004. – № 2. – С. 181–186.
2. Поглинання електромагнітного випромінювання багат шаровими кульовими частинками та матричними дисперсними системами / Л. Г. Гречко, Ю. Б. Гнучій, С. В. Шостак, С. В. Стеценко // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – № 153. – С. 188–198.
3. Maxwell J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism / Maxwell J. C. // Dover, New York, 1954. – Vol. 1. – Sec. 314. – P. 440.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ВКЛЮЧЕНИЙ ДИСПЕРСНЫХ МАТРИЧНЫХ СИСТЕМ

Е. Ю. Грищук, С. В. Стеценко

Аннотация. *Исследовано решение краевой задачи для случая двухчастичных распределений с мелкомасштабными корреляциями для неупорядоченных систем. Проанализированы условия и доказано, что эффективная диэлектрическая проницаемость является объемным свойством макроскопически однородной системы, и не зависит от формы того, что ее возбуждает.*

Ключевые слова: *частица, мультипольный момент, мелкомасштабная корреляция, эффективная диэлектрическая проницаемость.*

DISTRIBUTION OF SMALL-SCALE CORRELATIONS INCLUSIONS DISPERSE MATRIX SYSTEMS

O. Grischuk, S. Stetsenko

Annotation. *The investigation of solving boundary value problems for the case of two-particle distributions with small-scale correlations to disordered systems. The conditions and proved that the effective dielectric constant of the*

bulk properties of a macroscopically homogeneous system, and does not depend on the form that excites her.

Key words: *particle, multipole moment, short-range correlation, effective dielectric function.*

УДК 629.113

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МАШИННО-ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ ПІД ЧАС ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Г. А. Голуб, доктор технічних наук

В. В. Чуба, інженер

О. А. Марус, кандидат технічних наук

e-mail: rogovskii@yandex.ua

Анотація. *Розроблено принципову схему витратоміра палива та схему його включення в паливну систему двигуна, а також уточнено методику експериментального визначення витрат палива за допомогою розробленого об'ємного порційного витратоміра.*

Ключові слова: *витратомір палива, машинно-тракторний агрегат, дизельний двигун, паливна система, дизельне паливо.*

Економічна ефективність експлуатації машинно-тракторного агрегату (МТА) визначається величиною витрати палива віднесеної до одиниці виконаної роботи. Тому під час проведення експериментальних досліджень, виробничих та порівняльних випробувань визначення витрати палива МТА залишається однією з головних задач. Нині на ринку існує велика кількість різноманітних систем вимірювання витрат палива, більшість із них – це проточні витратоміри палива побудовані на базі проточно-ротаційних датчиків DFM або ж об'ємні датчики паливного баку на базі ємнісного датчика типу DUT-E AF.

Крім високої ціни, основним недоліком витратомірів палива на базі датчика DFM є висока вимога до чистоти палива, адже даний тип датчика має рухому роторну частину, яка зношується, а тому датчик потребує періодичного калібрування. Слід відзначити, що існування коливань потоку палива в паливній системі дизельного двигуна, за рахунок наявності зворотних клапанів натискної дії також зменшує точність вимірювання проточних витратомірів. Недоліком ємнісних датчиків є їхня специфіка роботи, яка не дає змоги визначити дуже незначні витрати палива протягом короткого часу. Також слід відзначити залежність роботи даних систем від властивостей палива. Особливо гостро питання визначення витрати палива стоїть при роботі МТА на дизельному біопаливі, адже дане паливо має ряд суттєвих відмінностей у фізико-хімічних властивостях.

bulk properties of a macroscopically homogeneous system, and does not depend on the form that excites her.

Key words: *particle, multipole moment, short-range correlation, effective dielectric function.*

УДК 629.113

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МАШИННО-ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ ПІД ЧАС ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Г. А. Голуб, доктор технічних наук

В. В. Чуба, інженер

О. А. Марус, кандидат технічних наук

e-mail: rogovskii@yandex.ua

Анотація. *Розроблено принципову схему витратоміра палива та схему його включення в паливну систему двигуна, а також уточнено методику експериментального визначення витрат палива за допомогою розробленого об'ємного порційного витратоміра.*

Ключові слова: *витратомір палива, машинно-тракторний агрегат, дизельний двигун, паливна система, дизельне паливо.*

Економічна ефективність експлуатації машинно-тракторного агрегату (МТА) визначається величиною витрати палива віднесеної до одиниці виконаної роботи. Тому під час проведення експериментальних досліджень, виробничих та порівняльних випробувань визначення витрати палива МТА залишається однією з головних задач. Нині на ринку існує велика кількість різноманітних систем вимірювання витрат палива, більшість із них – це проточні витратоміри палива побудовані на базі проточно-ротаційних датчиків DFM або ж об'ємні датчики паливного баку на базі ємнісного датчика типу DUT-E AF.

Крім високої ціни, основним недоліком витратомірів палива на базі датчика DFM є висока вимога до чистоти палива, адже даний тип датчика має рухому роторну частину, яка зношується, а тому датчик потребує періодичного калібрування. Слід відзначити, що існування коливань потоку палива в паливній системі дизельного двигуна, за рахунок наявності зворотних клапанів натискної дії також зменшує точність вимірювання проточних витратомірів. Недоліком ємнісних датчиків є їхня специфіка роботи, яка не дає змоги визначити дуже незначні витрати палива протягом короткого часу. Також слід відзначити залежність роботи даних систем від властивостей палива. Особливо гостро питання визначення витрати палива стоїть при роботі МТА на дизельному біопаливі, адже дане паливо має ряд суттєвих відмінностей у фізико-хімічних властивостях.

Нині відзначено недоліки роботи ротаційного проточного витратоміра палива VZO-4, пов'язані з особливістю його монтажу в паливній системі двигуна згідно із заводською інструкцією. Демонтування зворотного клапана головки паливного насоса й дроселювання останнього пробкою призводить до збільшення витрати палива двигуном, згідно з проведеними експериментальними дослідженнями, від 3,72 до 6,96 % [1]. Слід відзначити, що таке підключення характерне не тільки для VZO-4, а й для інших проточних витратомірів палива на базі одного датчика й спричинене неможливістю врахування ними зворотної подачі палива. Встановлено також, що на точність виміру витрати палива, впливають фактори розташування витратоміра відносно горизонту та його коливання, як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах, стабільність напруги живлення [2].

Дотримуватися стабільності даних факторів достатньо важко в умовах виконання МТА польових робіт. Також відзначено, що на точність виміру витрат палива впливають фізичні властивості самого палива. Особливо це характерно для сумішевих палив. Суміші палив у різних об'ємних концентраціях мають різну теплопровідність, густину та в'язкість, що погіршує чутливість приладів і точність вимірювання [3].

Мета досліджень – розробити витратомір палива та схему його включення в паливну систему дизельного двигуна, який дав би змогу з достатньою точністю фіксувати витрати палива незалежно від його властивостей.

Результати досліджень. Згідно з ГОСТ 24057-88 [4], витрату палива можна визначати за допомогою витратомірів палива, методом доливання палива з використанням лічильника та іншими методами, які забезпечують задане відхилення вимірів згідно з ГОСТ 24055-88 [5]. Враховуючи перелічені вище недоліки існуючих систем вимірювання витрати палива, ми розробили порційний витратомір, який працює на принципі зливання залишків палива та розробили схему його включення (рис 1. а) у паливну систему двигуна. Порційний витратомір палива (рис. 1. б) підключається до паливної системи мобільного енергозасобу за допомогою триходових кранів. Завдяки паралельному підключенню об'ємного витратоміра палива в лінію подачі та повернення палива від паливного насосу високого тиску, досягнута можливість миттєвого перемикання живлення двигуна зі штатної системи паливоподачі на порційний витратомір палива.

Під час проведення досліджень роботи МТА на різних типах палива та їх сумішах пропонується дообладнати штатну паливну систему додатковим паливним баком, підключеним паралельно до основного баку. Дане технічне рішення дає змогу оперативно здійснювати зміну типу палива під час проведення випробувань. Послідовне перемикання основного та допоміжного паливних баків дозволяє виключити операцію прокачування паливної системи при зміні типу палива, чим суттєво зменшує затрати часу на виконання експериментальних досліджень.

Перед початком проведення заміру у витратомір палива заливається певна, фіксована за об'ємом, кількість палива. При наближенні МТА до вибраної ділянки проведення експериментальних замірів тракторист пе-

ремикає роботу паливної системи двигуна на живлення з витратоміра палива, а після проходження експериментальної ділянки, тракторист знову перемикає живлення двигуна на основний бак.

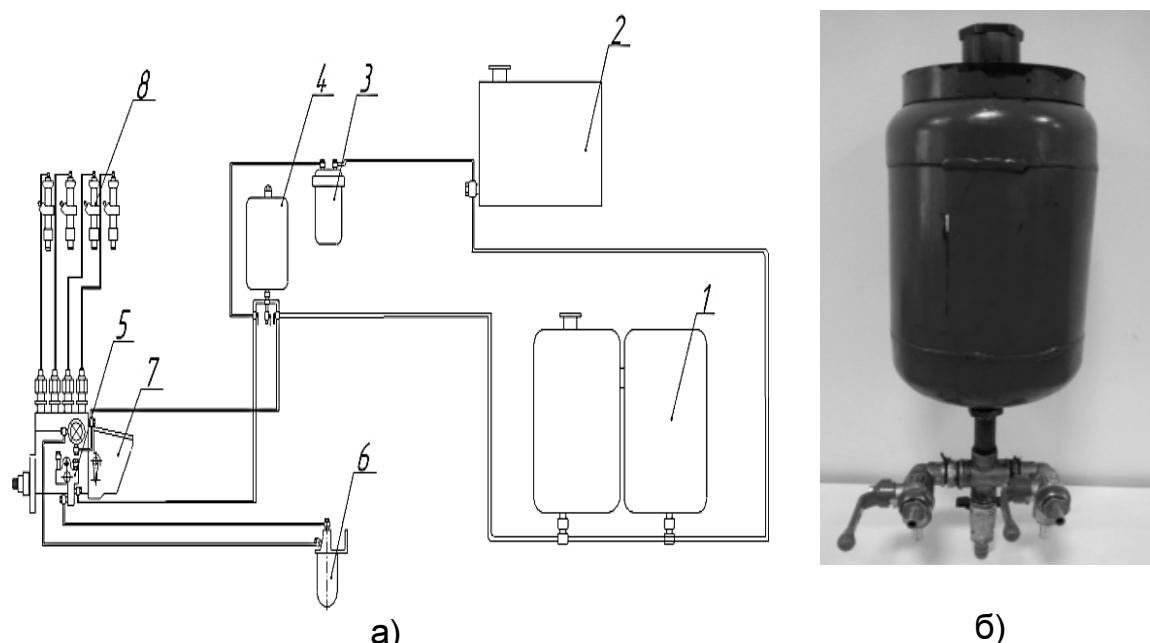


Рис. 1. Порційний витратомір палива та схема його включення в паливну систему двигуна:

- 1 – паливний бак дизельного палива; 2 – паливний бак дизельного біопалива;
 3 – фільтр грубого очищення; 4 – порційний витратомір;
 5 – підкачувальний насос; 6 – фільтр тонкого очищення; 7 – паливний насос високого тиску; 8 – форсунка

Залишки палива зливаються з витратоміра палива та вимірюються стандартними мірними засобами відповідної точності, різниця між початковим та кінцевим показниками наявності палива відповідає витраті палива під час проходження заданої експериментальної ділянки. Даний витратомір може бути застосований як під час проведення хронометражів роботи МТА, так і під час дослідження роботи МТА на певних коротких гонах, що дає змогу виконати дослідження впливу параметрів причіпної машини та режимів роботи МТА з мінімальними затратами та в умовах невеликої ділянки поля, для якого агротехнологічні параметри середовища можна вважати незмінними.

Запропонований порційний витратомір палива було використано під час проведення експериментальних досліджень експлуатаційних параметрів роботи МТА від зміни тягового опору робочого агрегату при використанні дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом. У результаті проведених експериментальних досліджень отримано залежність витрати палива від зміни тягового опору причіпної машини та вмісту дизельного біопалива в паливній суміші:

$$G = 8,6702 + 0,0745F_r + 0,0315K_B \quad (1)$$

де G – витрати палива, кг/год.;

F_r – змінний тяговий опір агрегату, %;

K_B – концентрація дизельного біопалива в паливній суміші, %.

Дане рівняння у графічному вигляді наведено на рис. 2.

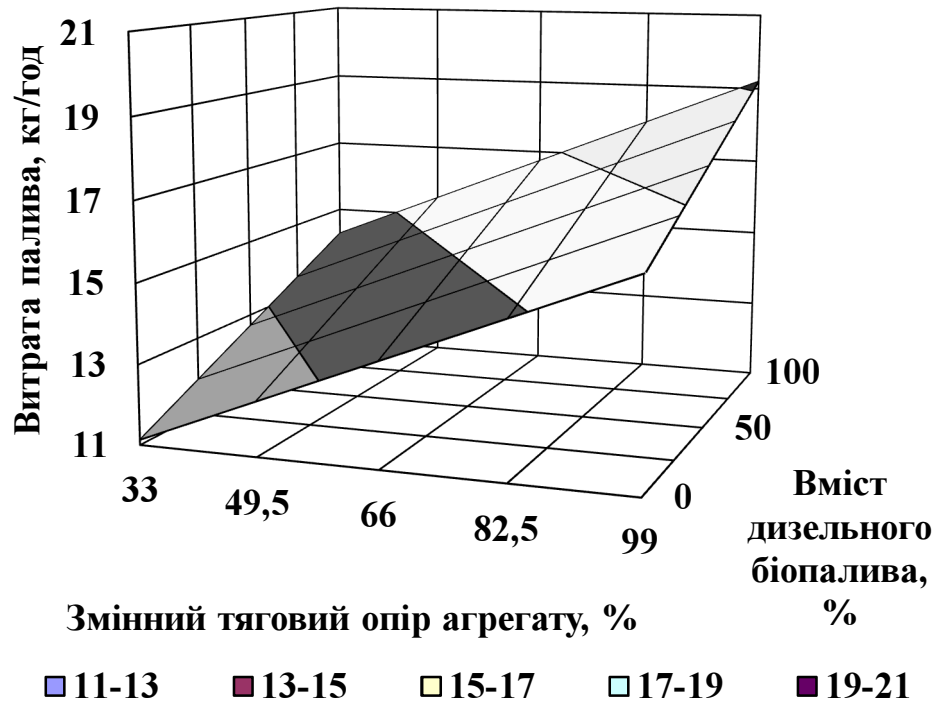


Рис. 2. Залежність витрати палива МТА від змінного тягового опору агрегату та вмісту дизельного біопалива

Під час експериментальних досліджень недоліків у роботі порційного витратоміра не виявлено, що дає підстави надалі реалізувати включення даного витратоміра палива в паливну систему шляхом застосування електроклапанів.

Висновки

Розроблена конструкція порційного витратоміра палива та схема його включення в паливну систему дизельного двигуна дає змогу виконати вимірювання витрат моторних палив із достатньою точністю для сучасних систем живлення автотракторних двигунів.

Список літератури

1. Способы корректировки топливоподачи в двигателе внутреннего сгорания при установке приборов измерения расхода топлива / Н. Г. Кузнецов, Д. С. Гапич, С. В. Молоканов, С. В. Новокщенов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 3. – С. 129–133.
2. Методи вимірювання витрат рідини та конструкції витратомірів / О. М. Безвесільна, А. В. Ільченко, А. Г. Ткачук, С. О. Пархоменко // Вісник Інженерної академії України. – 2013. – № 3–4. – С. 216–222.
3. Безвесильна Е. Н. Калориметрический расходомер моторных топлив с

повышенной точностью измерения расходов / Е. Н. Безвесильна, А. В. Ильченко, Ю. В. Тростенюк // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : сб. статей. – 2013. – С. 14–19.

4. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний. ГОСТ 24057-88 – [Действующий с 01.01.1989]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам. – 1988. – 8 с.

5. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения. ГОСТ 24055-88 – [Действующий с 04.10.1988]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам. – 1988. – 15 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Г. А. Голуб, В. В. Чуба, А. А. Марус

Аннотация. *Разработана принципиальная схема расходомера топлива и схема его включения в топливную систему двигателя, а также уточнена методика экспериментального определения расхода топлива с помощью разработанного объемного порционного расходомера топлива.*

Ключевые слова: *расходомер топлива, машинно-тракторный агрегат, дизельный двигатель, топливная система, дизельное топливо.*

DETERMINATION OF FUEL TRACTOR UNITS IN FIELD TRIALS

G. Golub, V. Chuba, A. Marus

Annotation. *Schematic diagram of the fuel meter and its inclusion in the scheme of the engine fuel system and refined technique of experimental determination of the fuel consumption with the help of the developed volumetric flow meter batch of fuel is developed.*

Key words: *fuel, machine-tractor unit, diesel engine, fuel system, diesel.*