



До 80-річчя від дня народження

80-й травень зустрічає заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, академік Лісівничої академії наук України Георгій Борисович Іноземцев, який усе своє життя присвятив служінню енергетиці.

Знайомство з життєписом родини ювіляра дає всі підстави говорити про існування «енергетичної» династії Іноземцевих, яка зробила свій плідний внесок у становлення та розвиток факультету електрифікації (тепер – інститут енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП України).

Цікаво, що всіх членів родини Іноземцевих пов'язує з історією факультету понад 120 років, а в цілому з енергетикою – близько 200 років.

Дід ювіляра, професор Сергій Іванович Іноземцев (1887–1960) заснував у 1932 р. факультет електрифікації сільського господарства, став першим деканом факультету та завідувачем першої кафедри – загальної електротехніки і електричних машин, яка у передвоєнні роки була кузницею висококваліфікованих фахівців-електриків для сільського господарства.

Іноземцев С. І. є автором понад 60 наукових праць, серед яких особливе місце займають підручники, які в 30–40-ві роки минулого століття були практично єдиними для майбутніх інженерів-електриків

сільського господарства в Україні. Нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора, знаком Пошани, двома медалями.

Цілком зрозуміло, що його висока ерудиція, культура, відданість енергетиці знайшли відображення у його п'яти дітях, онуках, що й сприяло створенню цілої династії енергетиків.

Батько ювіляра – доцент, кандидат технічних наук Борис Сергійович Іноземцев (1910–1973), – працював на цій кафедрі з 1933 р. асистентом, старшим викладачем, а після війни, захистивши кандидатську дисертацію, успішно прийняв естафету і з 1956 до 1973 р. очолював кафедру «Електротехніка і електричні машини». У 1972 р. підготував докторську дисертацію на тему: «Моделювання та розрахунки електромагнітних полів у генераторах змінного струму із самозбудженням» (науковий консультант – професор О. В. Тозоні), захист якої перервала передчасна кончина (1973 р.).

Іноземцев Б. С. є автором понад 30 наукових праць, а також праць за закритою тематикою, присвячених розробкам електричних детонаторів та радіокерованих авіабомб. Нагороджений орденом Червоної Зірки, знаком Пошани та чотирма медалями.

Безумовно, дух і традиції «енергетичної» династії повністю проявилися в нашому ювіляріві, який закінчив факультет електрифікації сільського господарства (тоді Українська сільськогосподарська академія).

Вибір майбутньої професії енергетика він зробив цілком закономірно й свідомо. Дійсно, про людей, які мають таке широке коло наукових інтересів, високу науково-технічну ерудицію та інтелект, у народі кажуть: «Це в нього від Бога». Про нашого ювіляра можна сказати: «Це в нього від батьків».

Свій трудовий шлях Г. Б. Іноземцев почав з роботи у відділі електронно-іонної технології Українського науково-дослідного інституту механічної обробки деревини Мінпромполітики України, де з 1958 до 1992 року він пройшов шлях від інженера-електрика до завідувача науково-дослідного відділу електротехнологій. За цей час захистив кандидатську (1969 р.), докторську (1990 р.) дисертації, у 1975 р. отримав наукове звання старшого наукового співробітника, а в 1992 році – наукове звання професора. У 1997 р. Указом Президента України Г. Б. Іноземцеву присвоєно почесне звання «Заслужений діяч науки і техніки» України.

З 1992 до 2008 р. працював професором кафедри електроприводу та електротехнологій ім. проф. С. П. Бондаренка. З 2008 р. й до сьогодні працює професором кафедри електропостачання ім. проф. В. М. Синькова.

Професор Г. Б. Іноземцев відомий в Україні та далеко за її межами як вчений у галузі електротехнологій, один із засновників нового наукового напрямку – застосування сильних електричних полів при виробництві покриттів на виробках складної конфігурації різного призначення із діелектричних та провідникових матеріалів.

Розроблені ним наукові основи зарядки, електродинаміки руху заряджених мікрочастинок в електричному полі, дослідження електрофізичних властивостей діелектричних матеріалів та акустичних полів на різні матеріали, у т. ч. і біологічні об'єкти, уможливили створення та

впровадження принципово нових технологічних рішень та устаткування в багатьох галузях народного господарства – сільському господарстві, машино- та суднобудуванні, деревообробній та будівельній промисловості.

Наукові розробки Г. Б. Іноземцева широко впроваджені в Україні, Росії, Білорусі, у державах Балтії та Середньої Азії, Болгарії, Чехії.

Ряд розробок входять в державні та галузеві стандарти, нормативно-технічну документацію. Результати його наукових пошуків отримали визнання наукової та інженерно-технічної громадськості як золоті, срібні, бронзові медалі, дипломи та премії різного ґатунку міжнародних виставок і конкурсів.

Він є автором понад 270 наукових та навчально-методичних праць, серед яких 4 монографії, 12 підручників і навчальних посібників, 11 навчально-методичних видань, понад 55 патентів та авторських свідоцтв і винаходів.

Нагороджений знаком Пошани, знаком «Відмінник енергетики», «Винахідник СРСР», грамотами Верховної Ради України, Мінагрополітики та Мінпромполітики України та 5 медалями.

Професор Г. Б. Іноземцев користується високим авторитетом і повагою в колективі університету, не тільки як відомий вчений, але і як талановитий педагог високої майстерності. Його відрізняє широке коло наукових інтересів, високоосвіченість і компетентність у поєднанні з великим досвідом дослідника та інтуїцією, прагнення надавати науково-методичну допомогу молодим ученим, аспірантам і співробітникам різних закладів освіти й науки України. За його керівництвом та консультуванням захищено 1 докторську та 6 кандидатських дисертацій. Він член спеціалізованої вченої ради Д26.004.07 та заступник голови спеціалізованої вченої ради К26.004.11 НУБіП України, в різні роки був членом експертної ради ДАК України, членом спеціалізованих вчених рад Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут», Львівського державного лісотехнічного університету, Таврійської державної агротехнічної академії, Лісової академії Санкт-Петербурга.

Свій багаторічний досвід він щедро віддає колегам, його лекції та заняття живі й захоплюючі, водночас, він залишається доступним у спілкуванні з молоддю, завжди відчувається рівність, що підкреслює високу культуру, інтелігентність, доброзичливість цієї доброї та порядної людини.

Шановний Георгію Борисовичу, щиро вітаємо Вас, – чинного продовжувача славної енергетичної династії, – з ювілеєм. Зичимо Вам добра, щастя, здоров'я та успіхів у науково-педагогічній діяльності; ще багато років зберігати молодечий інтерес до життя, до нового та прогресивного у сучасній науці й техніці.

**Колектив Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики
і енергозбереження НУБіП України**

ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ЗАРЯДКИ КРАПЕЛЬ ЗАХИСНО-ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ

Г. Б. Іноземцев, доктор технічних наук
О. В. Окушко, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: oaleks@ukr.net

Анотація. Розглянуто принципово новий спосіб зарядки живильно-захисних розчинів при нанесенні їх в електричному полі на рослинні об'єкти.

Ключові слова: зарядка, захисно-живильний розчин, сільськогосподарський продукт, технологія, крапля, заряд, обприскування, нанесення

Останніми роками електротехнічні методи знаходять своє визнання не тільки за рахунок ергономічних показників, але й за рахунок функціональних, які особливо забезпечують можливість сприятливого регулювання різними процесами, у т. ч. процесами нанесення живильно-захисних розчинів на рослини сільськогосподарських культур.

Мета досліджень – розробка принципово нового способу нанесення живильно-захисних розчинів шляхом штучного створення захисного іонізованого повітряного шару «робочого факела».

Матеріали та методика досліджень. Розроблена нами технологія нанесення таких розчинів із використанням електричного поля коронного розряду продемонструвала значні перспективи її використання як для відкритого, так і закритого ґрунту [2].

Разом з тим, апробація цієї технології стримується завдяки ряду питань, які суттєво впливають на остаточний результат, у першу чергу, на рівномірність осадження крапель на поверхнях рослин, яка повинна становити 93–95% та втрати розчинів не більше, ніж 10%. Крім цього, висока електропровідність живильно-захисних розчинів, які практично являють собою водні розчини з $\rho = 10^2 \dots 10^3$ Ом·см, не завжди забезпечують тривале утримання електричного заряду краплинами, особливо при осадженні їх на поверхнях зеленої маси, що впливає на процес стікання краплин.

Результати досліджень. Відомо, що ефективність роботи розпилювачів за таких електротехнологій визначається величиною не тільки електричного заряду, але й величиною поверхневого натягу розчинів [1, 4]:

$$Q = 8\pi r^{3/2} \sqrt{\varepsilon_0 \sigma}, \quad (1)$$

де r – радіус заряджених краплин, м;

σ – поверхневий натяг розчинів.

З теорії адгезії відомо, що максимальна змочуваність контактуючих середовищ: робочий розчин (σ_{pp}) – поверхня листя (σ_l), відбувається за умови:

$$\sigma_{pp} \leq \sigma_l. \quad (2)$$

Дослідження, виконані нами [2, 5, 6] з вимірювання поверхневого натягу робочих розчинів (ядохімікати, мінеральні добрива, живильні розчини) та ряду поверхонь овочевих культур (огірки, морква, цибуля, томати) обумовили такі результати: робочі розчини – $20 \dots 50 \text{ Н}\cdot\text{м} \cdot 10^{-3}$; овочеві культури – $45 \dots 75 \text{ Н}\cdot\text{м} \cdot 10^{-3}$.

Отримані результати відповідають умові (2), але за рахунок нерівномірності мікрорельєфу поверхні зеленої маси не завжди забезпечується позитивний результат, і, в першу чергу, рівномірність осадження краплин робочих розчинів, у т. ч. і на зворотну поверхню. Окрім цього, спостерігається зменшення стікання краплі в 1,5...2 рази, підвищення густини осадження з 2 боків у 1,2–2 рази.

Наші розробки показали [3], що ця проблема може бути вирішена за рахунок зміни поверхневого натягу краплини за допомогою принципово нового способу розпилення робочих розчинів:

$$\sigma = \sigma_{pp} - \frac{\varepsilon_p \varepsilon_0 U^2}{4r_k}, \quad (3)$$

де σ_{pp} – поверхневий натяг робочого розчину;

$\varepsilon_p, \varepsilon_0$ – діелектрична проникність рідини і повітря;

r_k – радіус краплини.

Наведена технологія обробки сільськогосподарських рослин знайшла широке застосування у рослинництві багатьох країн світу, наприклад, Німеччині, США, Франції, Японії та ін. Вона застосовується для захисту та підживлення сільськогосподарських продуктів, що забезпечує зменшення дії різних типів шкідників за рахунок монодисперсного та рівномірного осадження підживлюючих або протруюючих частинок розчину на поверхні оброблюваного продукту, а також зменшує втрати самого розчину при розпилюванні. На рис. 1 наведено приклади використання такої технології у виробництві.



Рис. 1. Загальний вигляд технології обробки різної рослинної продукції:
а – обробка в полі; б – обробка у саду

Дослідження, проведені нами, дали змогу розробити принципово новий спосіб нанесення захисно-живильних розчинів шляхом створення спеціального захисного іонізованого повітряного шару «робочого факела» та конструкцію спеціального розпилюючого пристрою.

Суть розробленого нами способу полягає у нанесенні заряджених частинок розчину на сільськогосподарський продукт, шляхом штучної зарядки їх в електричному полі індукційним способом із додатковою подачею повітря, зарядженого однойменним зарядом з розчином. Такий спосіб зумовлює створення у зоні обробки спеціального захисного іонізованого повітряного шару заряджених частинок, близьких до монодисперсного аерозолі (діаметр 50...100 мкм) із достатньою енергією (заряду), збільшення рівномірності та густоти осадження заряджених частинок факела розчину на різних поверхнях оброблюваного об'єкта (рис. 2) [5].



Рис. 2. Принципова схема розпилення:
1 – потік повітря; 2 – робочий розчин; 3 – корпус розпилювача;
4 – зарядний високовольтний електрод; 5 – джерело високої напруги;
6 – інвертор; 7 – об'єкт нанесення

Проведені дослідження роботи запропонованої конструкції розпилювача при обробці продукції, дають змогу досягти зменшення втрат робочих захисно-живильних розчинів на 10–15 %, збільшення відсотка (до 85 %) осадження заряджених краплин розчинів особливо на зворотній стороні продуктів, наприклад, на листі.

Висновки

Використання наведеного рішення можна застосовувати на різних етапах життєдіяльності рослинних об'єктів (передпосівна обробка, вирощування, зберігання) та на різних об'єктах в умовах технологічного виробництва, що пов'язано із захистом (садівництво, рослинництво, як у закритому, так і у відкритому ґрунті). Враховуючи компактність та простоту цього способу, він може бути запропонований особливо у фермерських господарствах, у яких економічний ефект може перевищувати 25–30 % від існуючих методів обробки.

Список літератури

1. Верещагин И. П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верещагин. – М. : Энергия, 1974. – 480 с.
2. Іноземцев Г. Б. Розпилювання живильних розчинів та захисних препаратів в електричному полі / Г. Б. Іноземцев // Електрифікація та автоматизація с.-г. – 2004 . – № 6. – С. 25–31.
3. G. Inozemcev. Scientific and technical preconditions of electric field application at plants protection // Annals of Warsaw University of Life Sciences, Agricultural and Forest Engineering, № 58. – 2011. – P. 15–21.
4. Coffee R.A. Electro dynamic crop spraying. – Outlook. Agr . 1981. – Vol. 10, № 10. – P. 350–356.
5. Патент 107912 Україна, МКИ А 23 L, А 23 В 7/00, А 01 М 7/00. Спосіб нанесення живильного розчину / Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко, С. Д. Ващишин ; заявник та патентовласник НУБіП України ; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.
6. Іноземцев Г. Б. Спосіб нанесення живильно-захисних розчинів в електричному полі коронного розряду на об'єкти рослинного походження / Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко // Енергетика і автоматика. – 2015. – № 4 (26) – С. 39–42.

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЗАРЯДКИ КАПЕЛЬ ЗАЩИТНО-ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Г. Б. Иноземцев, А. В. Окушко

Аннотация. Рассмотрен принципиально новый способ зарядки питательно-защитных растворов при нанесении их в электрическом поле на растительные объекты.

Ключевые слова: зарядка, защитно-питательный раствор, сельскохозяйственный продукт, технология, капля, заряд, опрыскивание, нанесение

EFFECTIVE WAY TO CHARGE DROPS PROTECTIVE NUTRIENT SOLUTION

G. Inozemtsev, O. Okushko

Annotation. Considered fundamentally new way of charging nourishing and protective solutions during the application of an electric field on plant sites.

Key words: charge, protective and nutrient solution, agricultural product, technology, drop, charge, spraying, application

АНАЛИЗ НЕРАВНОВЕСНЫХ МАКРОСИСТЕМ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ

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

Аннотация. Проанализирован переход от обратного во времени к вероятностному, что позволяет прийти к более глубокому понятию времени – в необратимых процессах появляется, так называемое второе время, связанное с флуктуационными процессами. Процесс самоорганизации эволюции представляет собой последовательность неравновесных фазовых переходов, сопровождающихся уменьшением энтропии. В превращении энтропии имеют место перенос энтропии через границы системы и изменение энтропии в системе.

Ключевые слова: **необратимость, неустойчивость, флуктуации, временная структура, энтропия, фазовые переходы, самоорганизация**

Нелокальное преобразование, осуществляющее переход от обратимого во времени описания к вероятностному, приводит к нелокальному описанию как в пространстве, так и во времени. Именно нелокальность позволяет избегать неустойчивостей, присущих динамическому описанию, и приводит к описанию, позволяющему достичь того тонкого баланса, который мы наблюдаем во многих областях естествознания.

Цель исследований – проанализировать закономерности необратимых процессов, понятия «временное пространство», условия самоорганизации.

Материалы и методы исследований. Замечательная особенность нашего подхода состоит в том, что он позволяет «овременить пространство» – наделить его временной структурой, задаваемой происходящими в пространственном континууме необратимыми процессами.

Разумеется, мы сознаем существование «стрелы времени», т. е. энтропии, в нашей собственной жизни. Кроме того, биология познакомила нас с эволюционной парадигмой. В связи с выявлением фундаментальной роли понятия необратимости, Пригожин [1] считает необходимым более глубоко подходить к понятию времени. Если в классической механике время является параметром, то в теории необратимых процессов появляется «второе время», тесно связанное с флуктуациями процессов – в макроскопических процессах. Это новое

время не является более простым параметром, как время в классической или квантовой механике. Второе время – скорее оператор, подобно операторам, соответствующим различным величинам в квантовой механике [2].

Элементарные частицы представляют собой сложные объекты, способные рождаться и претерпевать распады. Если в физике и химии где-то и существует простота, заведомо не в микроскопических моделях. Она скорее кроется в идеализированных макроскопических представлениях, например, о простых движениях типа гармонического осциллятора или задачи двух тел. Но стоит воспользоваться такими моделями для описания поведения больших или очень маленьких систем, как простота оказывается необоснованной.

Взаимодействия между системами различной природы приводит к возникновению пространственных, временных структур в макроскопических масштабах. Особый интерес представляют ситуации, когда они возникают в результате самоорганизации. Это относится к области исследований, называемой синергетикой, которая занимается изучением систем разной природы, таких как электроны, атомы, молекулы, клетки, нейтроны, механические элементы, фотоны, органы, животные и люди [3].

Процесс самоорганизации следует рассматривать как последовательность неравновесных фазовых переходов. Переходы возникают при изменении значений одного или нескольких управляющих – бифуркационных – параметров. Хотя и естественно было предположить, что в процессе самоорганизации энтропия системы уменьшается, до недавнего времени это, однако, не было подтверждено расчетами, и тем самым вопрос оставался фактически открытым. Основное внимание уделялось другой проблеме – проблеме «динамического хаоса», возникающего в процессе эволюции в динамических системах при наличии неустойчивости. Возникающее при этом движение становится столь сложным, что использование понятия траектории становится затруднительным и для описания движения более эффективными оказываются статистические методы [4].

Понятие «динамического хаоса» широко используется в настоящее время в теории возникновения турбулентности при гидродинамических течениях, а также и при описании сложных движений в относительно простых радиофизических системах [5, 6]. При этом, переход от ламинарного течения к турбулентному рассматривается скорее как переход к более хаотическому, более беспорядочному движению, чем как процесс самоорганизации.

На этом основании в [7] была сформулирована S-теорема.

Следует отметить, что необратимые процессы столь же реальны, как и обратимые. Необратимые процессы играют существенную конструктивную роль в физическом мире, они лежат в основе когерентных процессов. Необратимость сильно связана с динамическими явлениями.

Результаты исследований. Подобный подход к анализируемым явлениям позволяет быть глубже к анализу взаимосвязи физики и биологии и определить условия перехода от одного уровня к другому.

В приращении энтропии dS необходимо различать два члена: первый $-d_eS$ – описывает перенос энтропии через границы системы, второй – d_iS – означает энтропию, произведенную в системе. Согласно второму началу, производство энтропии внутри системы положительно [8]:

$$dS = d_eS + d_iS, d_iS \geq 0.$$

В этой формулировке становится существенным основное различие между обратимыми и необратимыми процессами. Вклад в производство энтропии дают только необратимые процессы. Примерами необратимых процессов могут служить химические реакции, теплопроводность и диффузия. С другой стороны, обратимые процессы могут соответствовать распространению воли в пределе, когда поглощение воли пренебрежимо мало. Итак, второе начало термодинамики утверждает, что необратимые процессы приводят к своего рода односторонности времени: положительное направление времени второе начало связывает с возрастанием энтропии. Подчеркнем: столь сильно и своеобразно проявляется односторонность времени во втором начале. Оно постулирует существование функции с весьма специфическими свойствами, такой, что в изолированной системе эта функция может только возрастать со временем. Такие функции играют важную роль в современной теории устойчивости.

Помимо падения равновесного состояния система самоорганизуется, т. е. проходит через последовательность более упорядоченных состояний и энтропия уменьшается.

Выводы

Необратимые процессы приводят к своего рода односторонности времени – положительное направление времени на основе второго начала термодинамики связано с возрастанием энтропии.

Процесс самоорганизации, характерный для эволюции, характеризуется уменьшением энтропии. В приращении энтропии dS следует различать два члена: первый – $-d_eS$ – описывает перенос энтропии через границы системы, второй – d_iS – означает энтропию, произведенную в системе.

Список литературы

1. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – М. : ИЛ, 1961.
2. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность физических наук / И. Пригожин. – М. : Дом Книга, 1980. – 226 с.
3. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах : пер. с англ. / Г. Хакен. – М. : Мир, 1988. – 423 с.

4. Заславский Г. М. Стохастичность динамических систем / Г. М. Заславский. – М. : Наука, 1984.
5. Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / И. Пригожин. – М. : УРСС, 2003.
6. Монин Р. С. О природе турбулентности / Р. С. Монин // УФН. – 1948. – Т. 123. – С. 97.
7. Гидродинамическая неустойчивость и переход к турбулентности / под ред. Х. Суини и Дж. Голаба. – М. : Мир, 1984.
8. Климонтович Ю. Л. Изменение энтропии в процессах самоорганизации. S- теорема (на примере перехода через порог генерации) / Ю. Л. Климонтович // Письма в ЖТФ. – 1983. – С. 412.

АНАЛІЗ НЕРІВНОВАЖНИХ МАКРОСИСТЕМ І САМООРГАНІЗАЦІЯ ЕВОЛЮЦІЇ

Б. Х. Драганов, В. В. Козирський

Анотація. Проаналізовано перехід від зворотного в часі до ймовірного, що дає змогу прийти до глибшого поняття часу – в необоротних процесах з'являється так званий другий час, пов'язаний з флуктуаційними процесами. Процес самоорганізації еволюції є послідовність нерівноважних фазових переходів, що супроводжуються зі зменшенням ентропії. У перетворенні ентропії мають місце перенесення ентропії через межі системи і зміна ентропії в системі.

Ключові слова: незворотність, нестійкість, флуктуації, тимчасова структура, ентропія, фазові переходи, самоорганізація

THE ANALYSIS OF NONEQUILIBRIUM MACROSYSTEMS AND EVOLUTION SELF-ORGANIZATION

B. Draganov, V. Kozyrsky

Annotation. The analysis of the transition from time-inverse probability, which allows TERM space and come to a deeper concept of time – in the irreversible processes there is the so-called second time, associated with fluctuation processes. The process of self-evolution is a sequence of nonequilibrium phase transitions, accompanied by a decrease in entropy. The transformation entropy transfer take place across borders entropy of the system and the change in entropy in the system.

Key words: irreversibility, instability, fluctuation, time structure, entropy, phase transitions, self-organization

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

***Б. П. Коршунов, А. Б. Коршунов,
кандидаты технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации
сельского хозяйства», г. Москва, Россия
e-mail: viesh@dol.ru***

Аннотация: *Предложена классификация энергосберегающих технологий охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции с учетом разработанных технических средств на основе применения природного холода, вакуума и электрических воздействий, которые позволяют обосновать выбор наиболее эффективных способов хранения и обеспечить создание оборудования и систем по критериям минимальной энергоемкости, потерь и сохранения высокого качества продукции.*

Ключевые слова: *энергосберегающие технологии, охлаждение и хранение сельскохозяйственной продукции, вакуумно-испарительные установки, природный холод, микротоковое воздействие, грунтовые термоохлаждающие установки*

Обеспечение продовольственной безопасности страны – важная проблема, для решения которой необходимо, в первую очередь, снижать импорт и увеличивать отечественное производство сельскохозяйственной продукции, что потребует дополнительных энергоресурсов [1]. Анализ современного состояния сельхозпроизводства, перспектив развития всех его форм – коллективного, фермерского и личного подсобного (ЛПХ) показывает, что энергопотребление возрастёт к 2020 г. на 20...25 % [2].

Поэтому для обеспечения повышения урожайности, продуктивности животноводства и птицеводства, улучшения сохранности и переработки сельскохозяйственной продукции, как основы устойчивого продовольственного обеспечения населения и выпуска товаров народного потребления из сельскохозяйственного сырья, необходимо широкое применение энергосберегающих технологических процессов, основанных на применении комбинированных систем с дополнительными электрофизическими, химическими, биологическими и другими воздействиями на продукт.

Цель исследований – анализ энергосберегающих технологий охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции.

Результаты исследований. На рисунке представлена классификация энергосберегающих технологий охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции с использованием природного холода, вакуума и электрических воздействий.

Создаваемые системы должны обеспечивать минимальный удельный расход энергии, широко использовать при транспортировке, хранении и переработке сельхозпродукции дешевый естественный (природный) холод, а также экологически безопасные вакуумно-испарительные холодильные системы, когда при охлаждении вакуум непосредственно воздействует на сельскохозяйственную продукцию и обеспечивает сохранение её высоких качеств.

Исследования, проведенные в ВИЭСХ совместно с МСКХО, Ассоциацией "Промхолод" и ВНИИХолодмашХолдинг показали, что использование природного холода в АПК является одним из наиболее эффективных путей снижения энергозатрат при производстве, охлаждении и хранении с.-х продукции. Именно по этой причине, исследованиям по практическому освоению одного из крупнейших возобновляемых капиталов планеты – природного холода, необходимо уделять большое внимание [3].



Классификация энергосберегающих технологий охлаждения и хранения с.-х продукции с использованием природного холода, вакуума и электрических воздействий

Испытания и промышленная эксплуатация систем охлаждения и хранения с использованием природного холода, разработанных в институте для различных регионов, также показали, что эти системы целесообразно применять в течение круглого года практически по всей территории страны. Они могут стать одним из основных средств охлаждения и обеспечения сохранности сельскохозяйственной продукции непосредственно в местах ее производства. Применение природного холода позволит в 3...10 раз (в зависимости от сезона эксплуатации) снизить удельные энергозатраты на охлаждение и хранение и обеспечить высокое качество пищевых и биопродуктов.

Одним из основных направлений эффективного использования природного холода является разработка и использование грунтовых охлаждающих термоустановок (ГТУ) [4].

ВИЭСХ совместно с ВНИИГАЗ разработаны грунтовые саморегулирующиеся термоустановки парожидкостного типа для грунтовых и ледовых аккумуляторов естественного холода с целью охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции в сезонном и годовом циклах, а также использования их на животноводческих фермах в северном и центральном регионах страны. Грунтовые охлаждающие термоустановки такого типа включаются в работу автоматически при температурах атмосферного воздуха ниже температуры грунта в зоне расположения испарительной части грунтовых охлаждающих термоустановок в среде грунта или отепленной воды. Установки этого типа не требуют энергетических и эксплуатационных затрат и постоянного обслуживающего персонала.

Грунтовые охлаждающие термоустановки такого типа могут использоваться и для промораживания стенок заглубленных оводекартофелехранилищ, льдохранилищ, и аккумуляирования льда в полевых условиях, препятствуя оттаиванию окружающего грунтового массива.

Одним из эффективных путей снижения затрат энергии и повышения экологической чистоты технологического процесса охлаждения и хранения с.-х продукции является применение энергосберегающих бесфреоновых установок, которые могут стать важнейшими альтернативными источниками технологического холода [5].

К основным бесфреоновым установкам можно отнести: установки естественного холода, вакуумно-испарительные установки и термоэлектрические холодильные установки, работающие на основе эффекта Пельтье.

Кроме того, в последнее время вакуумная технология в комбинации с природным холодом стала применяться для производства водного льда и льдоводяных растворов, которые могут использоваться: при переработке рыбы и морепродуктов – для их мягкого охлаждения с момента добычи до поступления в продажу; в сельском хозяйстве – для охлаждения молока, фруктов и овощей; в хлебопекарной промышленности – для охлаждения теста; на мясоперерабатывающих предприятиях – для предотвращения нагрева фарша в процессе куттерования; в сфере кондиционирования и др.

Для охлаждения с.-х продукции в комбинации с природным холодом применяются и термоэлектрические установки, работающие на основе эффекта Пельтье – выделение или поглощение тепла на контакте двух разнородных проводников в зависимости от направления электрического тока, текущего через контакт.

Исследования проводились, в основном, по разработке бытовых термоэлектрических хранилищ (термошкафов), обеспечивающих снижение потерь продуктов питания в домашнем хозяйстве. Одним из перспективных направлений для снижения затрат электроэнергии является применение природного холода и комплексное использование термоэлектрического устройства, не только для охлаждения продукции, но и для ее нагрева, что

является определяющими режимами при создании малогабаритных, высокоэффективных комплектов пастеризационно-охладительного оборудования для обработки жидких пищевых продуктов. Как показали исследования, проведенные в ВИЭСХ совместно с МГАУ им. В. П. Горячкина, энергозатраты уменьшаются на 30...40 % [2, 6].

Основными направлениями совершенствования технологии хранения, в целях максимального сокращения потерь, сохранения высокого качества и уменьшения затрат, являются разработка и применение новых инженерных решений по созданию и поддержанию заданного температурно-влажностного режима в плодоовощехранилищах.

В решении этого вопроса определенное значение имеют результаты исследований сотрудников ВИЭСХ по разработке системы электрооборудования для хранения картофеля в автоматическом режиме с минимальной естественной убылью. Разработана система управления температурно-влажностным режимом хранения картофеля, заключающаяся в том, что путем пошагового измерения скорости самосогревания в насыпи продукции устанавливается температура хранения, обеспечивающая минимальную естественную убыль и контролируется появление конденсата, что позволяет предотвратить выпадение капельной влаги на поверхности хранимой продукции и повысить сохранность, качество и на 25...30 % уменьшить энергозатраты на привод вентиляторов [7].

В ВИЭСХ также проводятся исследования по разработке комбинированных способов первичной обработки и хранения с.-х продукции, которые бы в сочетании с оптимизацией температурно-влажностных режимов хранения обеспечивали снижение потерь.

Проводятся исследования по созданию автоматизированной электронно-оптической системы биоэкологической оценки семян и качества агросырья. С помощью разработанных алгоритмов преобразования цветовых изображений и оптических характеристик будет осуществляться оценка биоэкологических реакций семян (температура, свет, болезни, повреждения и другие стрессовые воздействия), оценка сортовых признаков, диагностика качества и прогнозирование изменений параметров в процессе хранения сельскохозяйственной продукции [8].

В ходе этих работ исследовалось влияние поля коронного разряда на картофель. Так, если клубни картофеля перед закладкой на хранение обработать в поле коронного разряда, то в них образуются ингибиторы роста, которые резко снижают интенсивность дыхания клубня, поэтому клубни лучше хранятся. В этом случае, поверхность обрабатывается дополнительно и озоном, который образуется в межэлектродном пространстве и является активным антисептиком.

В ВИЭСХ, совместно с ВНИИССОК, проводились работы по исследованию процесса микротоковых воздействий на растительные ткани, обеспечивающего необходимую диагностику состояния картофеля и моркови при хранении, в результате которых был разработан комплект оборудования для повышения сохранности семенного и продовольственного картофеля при навальном способе хранения с

помощью микротоковой стабилизации (МКТС). Эффект достигается за счет повышения устойчивости растительных тканей при пропускании слабого постоянного стабилизированного электрического микротока через хранящуюся продукцию [9].

Оборудование формируется по модульному принципу. Модуль включает в себя микротоковый генератор-сигнализатор состояния продукции с автономным источником питания, коммутационное устройство, кабели, электроды и рассчитан на закрыв или часть хранилища емкостью до 100 т. При хранении больших масс продукции устанавливают соответствующее количество модулей. Мощность, потребляемая одним модулем – 5 Вт.

Модульный принцип дает возможность формировать и гибридные энергосберегающие системы для охлаждения и хранения любой сельскохозяйственной продукции с использованием природного холода, вакуума и других электрофизических воздействий с требуемыми параметрами и характеристиками практически для всех сельскохозяйственных объектов с потенциальным расширением их функциональных возможностей при изменении задач. При этом существенно упрощаются расчеты и количественная оценка отдельных звеньев и технологической линии в целом, и тем самым резко снижается трудоемкость поиска оптимальных решений.

Выводы

Предложенная классификация энергосберегающих технологий охлаждения и хранения с.-х продукции, с учетом разработанных в институте технических средств на основе применения природного холода, вакуума и электрических воздействий, позволит обосновать выбор наиболее эффективных способов хранения и обеспечить создание оборудования и систем по критериям минимальной энергоемкости, потерь и сохранения высокого качества продукции.

Список литературы

1. Исследование текущего положения по хранению овощей в России. Причины, следствия и пути решения проблем // ОВОЩЕХРАНИЛИЩЕ.РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://овощехранилище.рф/исследования/исследование-текущего-положения/>
2. Коршунов Б. П. Энергосберегающие электротехнологии в сельском хозяйстве: анализ и перспективы / Б. П. Коршунов // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 1 (18). – С. 12–18.
3. Применение природного холода в АПК / [Коршунов Б. П., Марьяхин Ф. Г., Учеваткин А. И., Коршунов А. Б.]. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. – 168 с.
4. Патент № 2574494 РФ. Энергосберегающее хранилище сельхозпродуктов / Марьяхин Ф. Г., Учеваткин А. И., Коршунов Б. П., Коршунов А. Б. – 2016, Бюл. № 4.
5. Коршунов А. Б. Электрифицированная бесфреоновая система охлаждения молока на фермах : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» / А. Б. Коршунов. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2002. – 25 с.

6. Бородин И. Ф. Энергосберегающие электротехнологии сельского хозяйства / И. Ф. Бородин // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1988. – № 1.

7. Патент № 2017388 РФ, А01F25/00. Способ хранения картофеля и устройство для его осуществления / Терентьев В. И., Коршунов Б. П., Толкачев Н. Н., Абросимов В. М. – № 4946231/13 ; заявл. 20.06.1991 ; опубл. 15.08.1994, Бюл. № 15.

8. Башилов А. М. Электроннооптический контроль и управление качеством производства картофеля : автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук : спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / А. М. Башилов. – М., 2001.

9. Маслов А. П. Электрофизический подход к повышению сохранности и контролю качества плодоовощей / А. П. Маслов // Тезисы докладов Всесоюзной НПК «Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе». Ч. 2 «Электрификация и автоматизация, ресурсо- и энергосбережение». – М., 1989.

10. Кудряшов А. А. Микробиологические основы сохранения плодов и овощей / А. А. Кудряшов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 190 с.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Б. П. Коршунов, О. Б. Коршунов

Анотація. Запропоновано класифікацію енергозберігаючих технологій охолодження та зберігання сільськогосподарської продукції з урахуванням розроблених технічних засобів на основі застосування природного холоду, вакууму та електричних впливів, які дадуть змогу обґрунтувати вибір найефективніших способів зберігання й забезпечити створення устаткування та систем за критеріями мінімальної енергоємності, втрат і збереження високої якості продукції.

Ключові слова: енергозберігаючі технології, охолодження та зберігання сільськогосподарської продукції, вакуумно-випарні установки, природний холод, мікрострумний вплив, ґрунтові термоохолоджуючі установки

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF COOLING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS

B. P. Korshunov, A. B. Korshunov

Annotation. The article suggests a classification of energy-efficient cooling and storage technologies of agricultural production in view of designed hardware based on the use of natural cooling, vacuum and electrical effects that would justify the choice of the most efficient ways to store and to ensure equipment and systems at the lowest energy consumption criteria, losses and maintaining a high quality of products.

Key words: energy-saving technology, cooling and storage of agricultural products, vacuum-evaporating plants, natural cold, microcurrent influence, ground thermocooling installations

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ELECTRIC MULTIFUNCTIONAL AGGREGATE FOR POULTRY FARMING WASTES PROCESSING

N. N. Zablodskiy, doctor of technical sciences

e-mail: zablodskiynn@gmail.com

National University of Life Environmental Sciences of Ukraine

V. E. Pliugin, candidate of technical sciences

National Technical University "Kharkiv polytechnic institute"

e-mail: vlad.plyugin@gmail.com

Annotation. *Results of numerical experiments on determination of interrelated electromagnetic and thermal fields in the active area of multifunctional electromechanical converter and test results of multifunctional electric aggregate for poultry farming wastes processing experimental unit are brought.*

Key words: *electric multifunctional aggregate, experimental unit, electromagnetic field, thermal integration*

Alternative energy sources in the economy of the world countries and also in Ukraine are acquiring a greater value. At the same time in Ukraine there is a wide scale development of the poultry farming which requires creation of technologies and equipment for wastes utilization with its processing in high-quality fertilizers. Modern processing technologies are developed in two directions: anaerobic wastes fermentation with the receipt of biogas and by-product (sludge); wastes heat treatment and further usage in an agro-industrial complex as aquatic solution. Each of these technologies requires the determined amount of equipment and entail the considerable expenses of energy [1, 2, 3]. Therefore, actual task is creation of a new class of electrical engineering complexes and energy saving friable substances processing technologies on their basis.

The purpose of research is parameters and performance experimental determination of electrical multifunctional aggregate for growing and poultry farming wastes drying.

Researches material and methodology. In different branches of industry there is determined amount of technological processes, which present operations of transporting, growing, interfusion shallow are in, homonisation and substance heat treatment. For such processes the new class of multifunctional electromechanical converter with structural, functional and thermal integration is created [4,5]. In accordance with methodology [4] with the use of initial data and requirements of technical task, thermal and hydrodynamic calculations are executed. Results of calculations must be as shown below:

- amount of thermal energy, necessary for substance drying;

- geometrical sizes of external rotor-screw;
- mechanical power and loading performance at transporting and growing of material.

On the basis of structural and functional integration principles we delegate to the nodes of multifunctional electric screw aggregate (MESA) the next basic functions of technological system (TS) devices:

- to the external solid rotor - executive mechanism (screw), basic heater element, external shell of IM;
- to the system of stators of the moving and brake units with general solid rotor-screw - asynchronous drive with a mechanical reducing gear.

The next design step is forming of preliminary distribution diagram of basic MESA thermal and substance exchange streams. In accordance with thermal streams integration principle in MESA, it is necessary to distribute in advance thermal powers (hot utilities) between active parts, to set the temperature gradients orientation, eliminate formation of “cold areas”, and also to divide thermal and substance exchange streams on “hot” and “cold”. The example of such distribution, where directions of streams are inflicted on the structural chart of MESA diagram is shown on fig. 1. Practically all MESA internal nodes and details are the sources of hot utilities, where “hot” streams outcomes. Stream of processed material we consider as a “cold” stream, in which at moving along the rotor-screw there is an increase of thermal capacity, temperatures, and also moisture evaporation process.

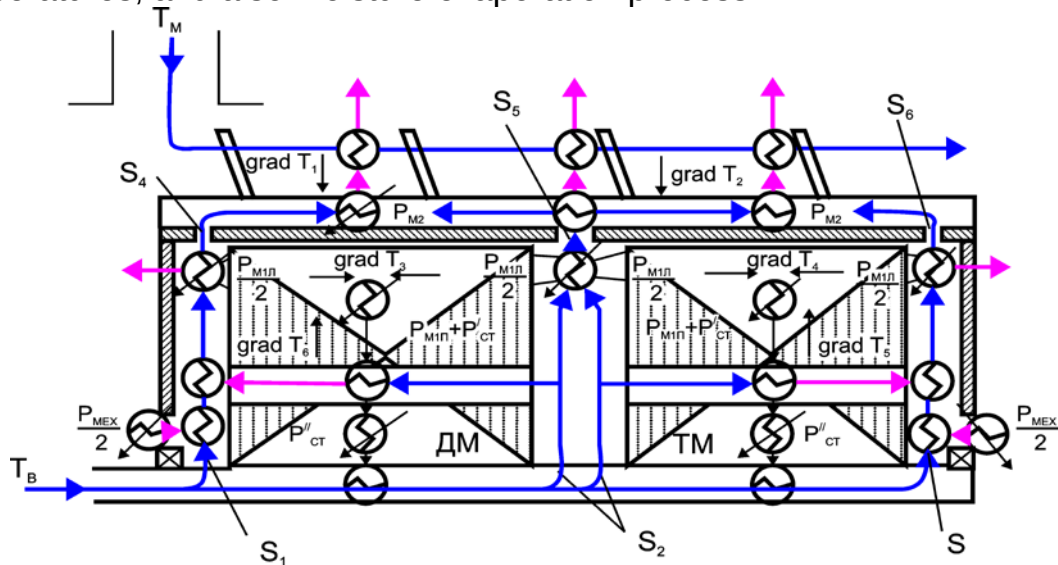


Fig. 1. “Cold» and «Hot» streams dominate directions diagram

MESA unit structure is formed taking into account recommended rotation speed and obtained in preliminary calculations mechanical and thermal powers. The method of speed reduction providing with the usage of the Braking Unit (BU) working in opposite direction mode, i.e. forming of low rotor rotation speed without mechanical reducing gears and frequency converter is offered. Processed material, in combination with the internal cooling system executes the functions of MESA loading-cooling environment. A basic way for “hot” streams

integration is creation of additional parallel “cold” air stream with the maximally possible amount of branches in the area of MESA active parts location.

Forming of such directions in the branches of additional «cold» stream is assisted by the correct selection of outlet ducts crossing in the hollow shaft S1-S3, rotor ducts S4-S6 and axial ducts in stators of Moving Unit(MU) and BU. Due to the intensive mixing, creation of the pseudo rarefied layer, complex influence of thermal stream and acoustic ultrasonic vibrations along all length of spiral screw growing, effective heat exchange and evaporation of moisture are occurring. Intensity of both heat exchange and apparat mass-transfer is regulated due to the frequency selection, voltage value, phases order of separate inductors and high-pressure ventilator productivity.

The generalized MESA mathematical model (MM) is based on the use of general fundamental equations of MESA winding circuit, equations of the physical fields in an active area and equations of movable part motion [6, 7, 8].

Regard to the complicated active area configuration of the MESA units, non-linearity of materials physical properties formulated MM can be solved only by numerical methods. Practical realization of MESA mathematical model is made within the framework of programmatic-calculable complexes Comsol Multiphysics, Ansys Maxwell, and research of the dynamic modes – in the software package Matlab / Simulink.

Basic tests of experimental unit are intended for the determinations of drying aggregate working ability, determination of its real performance, basic parameters and efficiency. At unit creation methodology of the object-oriented design [9] and technical decisions in accordance with a patent [10] was applied. The general view of MESA experimental unit for poultry farming wastes processing on fig. 2 is shown.



Fig. 2. The Experimental MESA unit

Measuring of mode parameters by means of informatively-measuring complex which consists from PC and connection unit with external objects was made.

For measuring of currents active values of the separate units and full current "Sturm MM 1202"multimeter with clamps was used. The moving electromagnetic part of clamp embraces a corresponding cable in the terminal box.

The actual rotation speed value of frequency of rotor-screw was determined with noncontact digital universal photo-tachometer ATT-6006, mounted above the loading pipe unit.

Telemetry of moving parts and MESA aggregate housing temperature was made with digital infra-red thermometer of IR608. Measuring of stator parts temperatures was made with copper-constantan thermocouples mounted inward the stator and connected to the 12-channel variplotter. Control of processed material humidity and temperature was made before its loading in the aggregate, and also after every processing cycle with digital temperature-moisture measuring device "AMPROBE IR 608A". Control movable parts of MESA motion and processed material was made with video camera. All registered values were synchronized in time. Control of air moving speeds in aggregate inlet, in the loading and unloading pipe units coupling and entrance to the heat-exchange system were made with anemometer.

Research results. The feature of MESA functioning is its work at allow rotor rotation speed in the conditions of instability resistance torque. The working rotor slip range for the Moving Unit is $s = 0,85...0,95$ and for a Braking Unit—respectively $s = 1,05...1,15$. Known in classic theory calculation methods of induction machines mechanical performance do not provide necessary accuracy of MESA electromagnetic torque in interval of big slip. Such calculation with the exact account of current displacement effect in a solid rotor, nonlinear magnetic permeability and influence of temperature is possible only with the methods of field theory. Thus the real slip value is obtaining by imposition of mechanical diagrams of units and loading resistance.

Calculation picture of the electromagnetic field of the first unit in start time (slip $s = 1$) is shown on fig. 3. Curve lines are represented isolines of vector magnetic potential, and currents intensity is represented by different background colors. Maximal induced currents density on the surface of solid rotor at $s = 1$ gains a value 42 A/mm^2 .

At the mutual moving of magnetic-field and electric conductive environment eddy currents on the surface of environment and in its depth differ not only in a value but also in time phase. It is good evidently from fig. 4, where instantaneous s eddy currents density distribution on the depth of solid rotor at start time is shown.

On fig. 5 the temperature distribution in the transversal MESA crossing at long time rotor duffing (steady state short-circuit mode $s = 1$) on condition that the down rotor part is submerged in a friable material. It goes out from the presented results, that a temperature in the down solid rotor part gains a value 45°C . The temperature of stator winding does not reach a limited value.

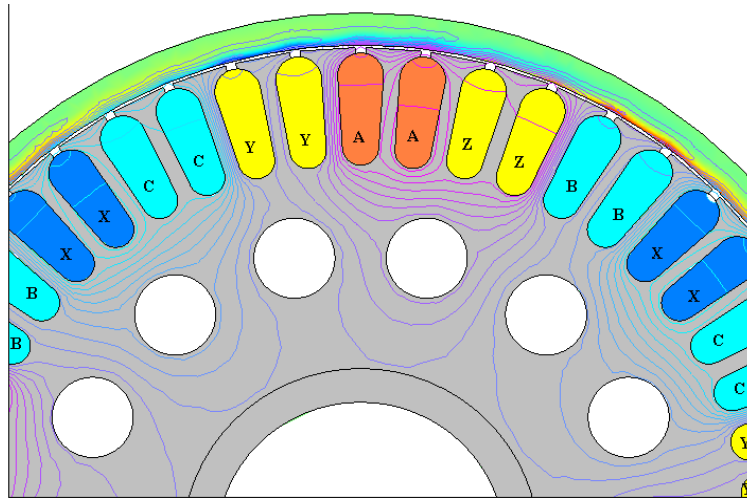


Fig. 3. Electromagnetic field distribution in MESA unit at start time

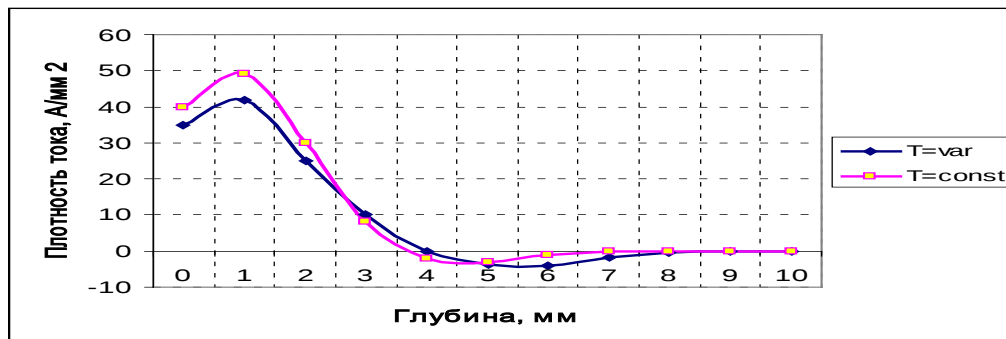


Fig. 4. Distribution of current density on the depth of solid rotor

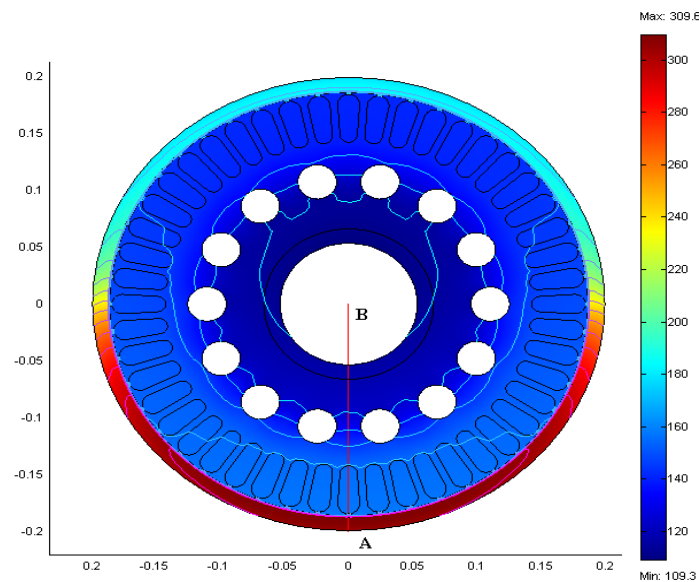


Fig. 5. Temperature distribution in MESA transversal crossing

On the whole worked out mathematical model provides high authenticity of design results. Below in a table for comparison is presented experimental and calculation values of electromagnetic torques of the moving and braking MESA units in the short-circuit mode ($s = 1$).

MESA electromagnetic torque values

Unit	Calculation, $T_{EM}(Nm)$	Experiment, $T_{EM}(Nm)$
Moving	702	666
Braking	496	452

On fig. 6 transient dependences of MESA experimental unit basic values of at step-by step rotor-screw loading up to its complete stop.

Determination of processed material moving disposition in respectively to rotor-screw is a most important information for structural improvements and increase of material drying process efficiency. On fig. 7 instantaneous position of material is presented in the drying box is shown. Distribution of air coolant is determined foremost by air speeds along a vent path.

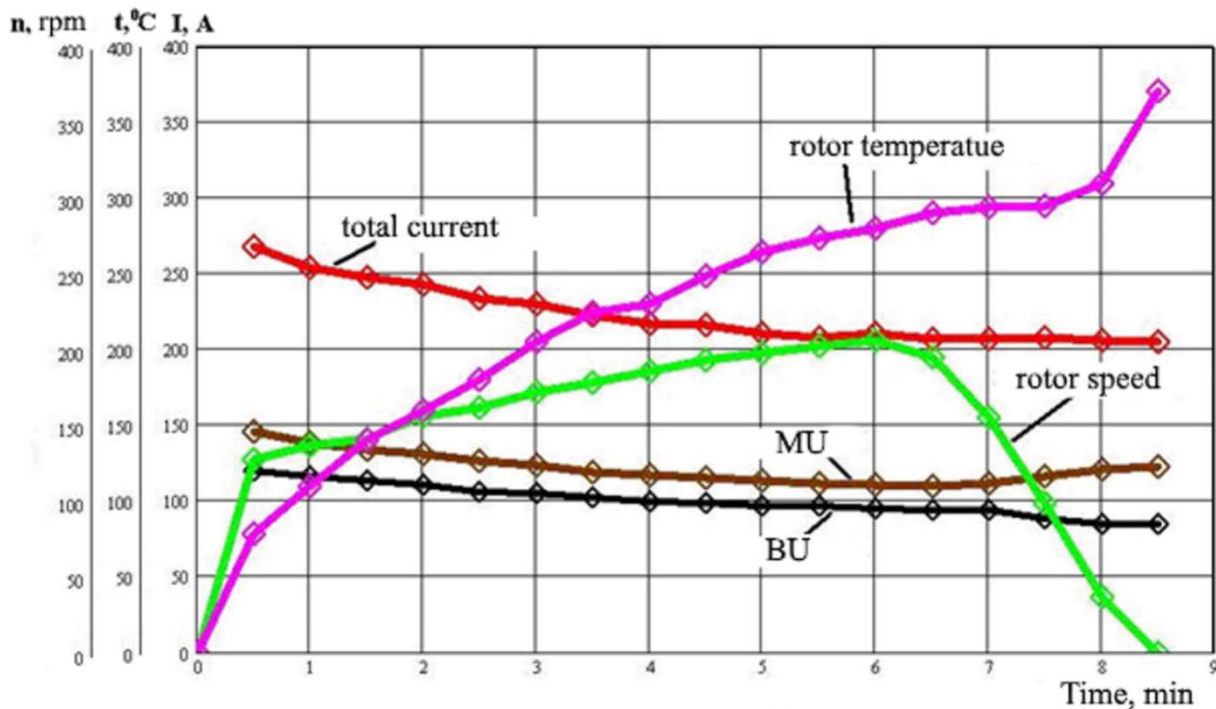


Fig. 6. MESA basic dependences values at sequential work from idle mode up to loading till the complete stop

Registered following speed values: air speed at hollow shaft inlet – 9,2 m/s; air speed at drawing unit coupling inlet – 5,8 m/s; air speed at rotor sprayers outlet- 2,7 m/s.

At wastes processing of in the cyclic mode (screw reversing) one cycle time is 12 s. The registered humidity decrease for one cycle is about 8% at the screw productivity 1.2 tons/hour. Electric power consumption on one kilogram of the evaporated moisture is 0.5 kW/kg.

Comparison of wastes grain-size before and after processing in MESA specifies on the intensive growing process which takes place in a drying box – the particles (6–10) mm are ground down to (0.8–1.2) mm.



Fig. 7. Instantaneous material positions ($n = 110$ rpm)

As a result of drying providing the increasing of thermal-substance exchange surface, diminishing of particles drying time, fast particles extirpation from the drying area by the heat stream agent.

Conclusions

Electromechanical transients in MESA are closed actually after 155 ms, that much lower than in IM of traditional construction; at the same time multifunctional electromechanical converter with a solid rotor has a higher quality factor.

The most important conclusion from tests results and researches of experimental unit is MM adequacy and confirmation of basic aggregate performance values: considerable (in twice) diminishing of aggregate energy consumption on specific evaporated moisture value in comparing to the existent drying aggregates (approximately 0.5 kW/kg of evaporated moisture); providing the necessary productivity of substances processing; diminishing of the industrial area; process ecological cleanness.

References

1. Пахарь Н. И. Зарубежный опыт использования оборудования для переработки птичьего помета / Н. И. Пахарь, С. М. Донец // Информация УкрНИИНТИ. – Серия 35, вып. 2. –1981. – 12 с.
2. Ляшенко А. В. Исследование процессов сушки шлама из органических отходов с целью получения комплексных удобрений / А. В. Ляшенко // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 4. – С. 36–39.
3. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – Сумы : МакДен, 1996. – 347 с.
4. Заблодский Н. Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения : монография / Н. Н. Заблодский. –Алчевск : ДонГТУ, 2008. – 295 с.
5. Полифункциональные электромеханические преобразователи энергии технологического назначения / Н. Н. Заблодский, В. Е. Плюгин, В. Ю. Грицюк, Г. М. Гринь // Электротехника. – 2016. – № 3.– С. 24–29.
6. Васьковский Ю. Н. Моделирование полей и характеристик электротепломеханического преобразователя технологического назначения /

Ю. Н. Васьковский, Н. Н. Заблодский // Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – К. : Ін-т електродинаміки НАН України, 2006. – Ч. 7. – С. 41–44.

7. Multigradient of of fields in the array of rotor screwing elektromechanical converter / Zablodskiy N. N., Pliugin V. E., Gritsyuk V., Fetisov I. V., Rovenskaya A. K. // Colltction of scientific works of Donbass State Technical University. – Alchevsk : DSTU, 2014. – № 1 (42) . – P.136–141.

8. Using of of object – oriented design principles in mathematic modeling ofelectric machines / V. Pliugin, V. Milykh, A. Polivianchuk N. Zablodskij // TEKA. – Lublin – Rzeszow. – 2015. – Vol. 15. – N. 2. – P. 25–32.

9. 3D of magnetic filed distribution in a screw double - stator induction motor / N. Zablodskiy, V. Pliugin // Computational Problems of of Electrical Engineering. – Lviv. – 2015. – P. 239–241.

10. Заблодський М. М. the Screw drying vehicle. Stalemate. № 5024 Ukraine, МКИ 7F26 В 17/18 / М. М. Заблодський, В.Ф. Шинкаренко, В. Є. Плюгін. – К. : УІВ ; опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1. – 3 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПТАХІВНИЦТВА

М. Н. Заблодський, В. Е. Плюгін

Анотація. *Наведено результати чисельних експериментів з визначення взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в активній зоні поліфункціонального електромеханічного перетворювача та результати випробувань експериментального зразка електричного поліфункціонального агрегата для переробки відходів птахівництва.*

Ключові слова: *електричний поліфункціональний агрегат, експериментальний зразок, електромагнітне поле, тепла інтеграція*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

М. Н. Заблодский, В. Е. Плюгин

Аннотация. *Приведены результаты численных экспериментов по определению взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей в активной зоне полифункционального электромеханического преобразователя и результаты испытаний экспериментального образца электрического полифункционального агрегата для переработки отходов птицеводства.*

Ключевые слова: *электрический полифункциональный агрегат, экспериментальный образец, электромагнитное поле, тепловая интеграция*

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЯ
В ГОРЕЛКАХ С ЭШЕЛОНИРОВАННЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ
СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И
ПРИ ГОРЕНИИ ТОПЛИВА**

Н. М. Фиалко, доктор технических наук, чл.-корр. НАН Украины

Ю. В. Шеренковский, кандидат технических наук

В. Г. Прокопов, доктор технических наук

Н. О. Меранова, С. А. Алешко, кандидаты технических наук

А. Б. Тимощенко, Н. П. Полозенко, С. Н. Стрижеус, инженеры

Институт технической теплофизики НАН Украины,

г. Киев

e-mail: nmfialko@ukr.net

Аннотация. Приведены результаты компьютерного моделирования структуры течения в горелках с лестнично эшелонированными решетками стабилизаторов пламени для изотермических условий и реагирующих потоков. Проанализированы основные отличия характеристик течения в сопоставляемых ситуациях. При этом особое внимание уделено рассмотрению специфики течения в каналах стабилизаторной решетки и в закормовых областях стабилизаторов.

Ключевые слова: эшелонирование стабилизаторов пламени, изотермическое течение, горение топлива, компьютерное моделирование

Сжигание топлива в горелках с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени обладает целым рядом известных преимуществ [1–4]. К основным из них относится возможность формирования требуемых профилей температуры в зоне горения, снижения потерь давления в горелочном устройстве, устранения спонтанного нарушения симметрии течения и пр.

Задачи конструирования горелочных устройств указанного типа требуют углубленных исследований структуры течения в них топлива и окислителя. При этом особый интерес представляет проведение сопоставления характеристик течения в условиях горения и холодного потока.

Цель исследований – выявление эффектов влияния неизотермичности потока на характеристики течения в лестнично эшелонированных решетках стабилизаторов пламени микрофакельных горелочных устройств.

Материалы и методика исследований. Рассмотрению подлежит структура течения природного газа, воздуха и продуктов горения в стабилизаторном горелочном устройстве с лестнично эшелонированной решеткой стабилизаторов пламени (рис. 1).

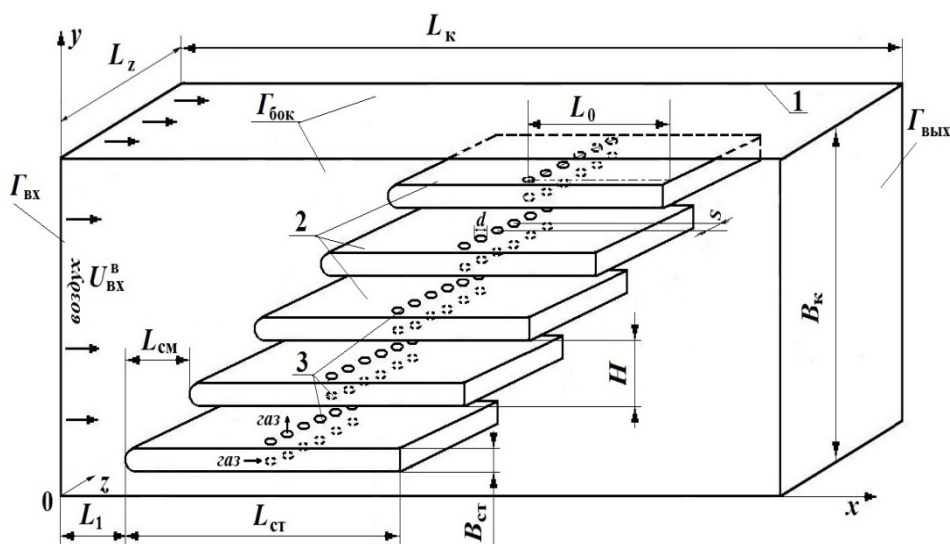


Рис. 1. Схема горелочного устройства с лестнично эшелонированной решеткой стабилизаторов пламени:

1 – плоский канал; 2 – стабилизаторы пламени; 3 – газоподающие отверстия

Математическая модель исследуемых процессов, включающая уравнение движения, неразрывности, энергии для реагирующих турбулентных потоков, уравнение сохранения массы компонент смеси и уравнение состояния многокомпонентной смеси, имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho U) + \nabla \cdot (\rho U U) = -\nabla P + \nabla \cdot (S^*) \quad , \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad , \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho I) + \nabla \cdot (\rho U I) = \nabla \cdot q_\Sigma + q_V \quad , \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho U Y_i) = -\nabla \cdot J_i + R_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (4)$$

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T \sum_i^N \frac{Y_i}{M_i}} \quad , \quad (5)$$

где τ – время;

U – вектор скорости;

P – статическое давление;

S^* – тензор напряжений;

ρ – плотность;

I – энтальпия;

q_Σ – тепловой поток, включающий составляющие, которые связаны с теплопроводностью и турбулентными пульсациями;

q_V – источниковый член, учитывающий теплоту химических реакций и перенос теплоты излучением;

Y_i, M_i – массовая концентрация и молекулярная масса i -ой компоненты;

J_i – поток массы i -ой компоненты, обусловленный диффузией и турбулентным переносом;

R_i – источниковый член, учитывающий скорость образования i -ой компоненты;

N – количество компонент смеси;

T – абсолютная температура;

R – универсальная газовая постоянная.

Что касается граничных условий для приведенной системы уравнений, то они определялись таким образом. В сечениях, отвечающих входу в канал горелочного устройства и газоподающие отверстия, задавались постоянные значения скоростей, концентраций и температур. В выходном сечении $\Gamma_{\text{вых}}$ ставились так называемые мягкие граничные условия – равенство нулю производных в продольном направлении от зависимых переменных. На твердых поверхностях задавались условия прилипания и непроницаемости. Боковые поверхности канала считались адиабатическими.

Решение поставленной задачи осуществлялось на основе подхода *DES*, который представляет собой комбинацию *RANS* и *LES* моделей и объединяет их лучшие качества.

Что касается выбора модели турбулентного переноса, то, согласно выполненным исследованиям, рассматриваемой ситуации в наибольшей мере отвечает k - ϵ *realizable* модель турбулентности.

Результаты исследований. Ниже приведены характерные результаты компьютерного моделирования, отвечающие лестнично эшелонированной стабилизаторной решетке, состоящей из трех стабилизаторов пламени, при следующих исходных данных: скорость воздуха на входе в канал $U_{\text{вх}}^{\text{B}} = 6,8$ м/с; скорость газа на входе в газоподающие отверстия $U_{\text{вх}}^{\text{Г}} = 24$ м/с; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$; геометрические характеристики горелочного устройства $L_1 = 0,2$ м; $L_{\text{СТ}} = 0,215$ м; $L_{\text{К}} = 1,5$ м; $H = 0,075$ м; $B_{\text{К}} = 0,225$ м; $B_{\text{СТ}} = 0,03$ м; $L_{\text{СМ}} = 0,06$ м; $L_0 = 0,05$ м; $d = 0,0043$ м; $S/d = 3,72$, коэффициент загромождения стабилизаторами проходного сечения канала $k_f = 0,3$; топливо – природный газ, окислитель – воздух.

Как показали результаты исследований, картина течения в изотермических и неизотермических условиях является существенно различной, что, как очевидно, в значительной мере связано с тепловым расширением газов в условиях горения.

При горении, в сравнении с изотермическим течением, имеет место противоположный характер перераспределения расходов воздуха в каналах решетки (см. табл. 1). В изотермических условиях в каналах решетки, прилежащих к первому по потоку стабилизатору, средние скорости заметно превышают их значения в каналах, прилежащих к последнему по потоку стабилизатору. В условиях горения наблюдается обратная картина. Это обусловлено значительным повышением статического давления в закормовых областях стабилизаторов и, прежде всего, за первым из них по потоку.

Как видно из табл. 1, при изотермическом течении средняя скорость в первом по потоку пристеночном канале оказывается выше, чем во втором по потоку пристеночном канале, на 19 %. В условиях горения, напротив, данная скорость оказывается выше во втором пристеночном канале, по сравнению с первым по потоку каналом, на 24 %.

1. Средние значения продольной составляющей U_x вектора скорости в каналах лестнично эшелонированной решетки стабилизаторов при горении и в условиях изотермического течения, м/с

Условия течения	Номер канала			
	I	II	III	IV
Неизотермические (при горении)	9,38	11,08	12,44	11,63
Изотермические	11,83	12,17	10,95	9,93

Что касается уровня скоростей за стабилизаторной решеткой, то здесь обращает на себя внимание то, что при горении они существенно превышают данные уровни в случае изотермического течения. Так, эти скорости не превышают 13 м/с в условиях изотермического течения и могут достигать 35 м/с при горении.

Как следует из результатов компьютерного моделирования, в условиях горения значения скоростей за разными стабилизаторами пламени существенно различны. А именно: в целом наиболее высокие скорости имеют место за первым по потоку стабилизатором, меньшие – за вторым и наиболее низкие – за третьим. Это обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, горение за первым по потоку стабилизатором начинается выше по течению, и, соответственно, вследствие теплового расширения газов, ускорение потока проявляется здесь в большей степени. Во-вторых, ввиду описанного выше перераспределения расходов воздуха в стабилизаторной решетке, значения коэффициентов избытка воздуха за первым по потоку стабилизатором оказываются меньшими по величине, чем за вторым и третьим стабилизаторами.

Это также обуславливает более высокие уровни ускорения потока за первым по течению стабилизатором ввиду повышенных температур в данной зоне.

Таким образом, характер поля скоростей за стабилизаторной решеткой, в случае реагирующих потоков, коррелируется определенным образом с соответствующим полем температур.

В табл. 2 приведены результаты исследований, касающиеся протяженности зон обратных токов в закормовых областях стабилизаторов и максимальных по модулю значений скоростей в этих зонах для условий изотермического и неизотермического течения. Согласно приведенным данным, протяженности зон обратных токов $L_{от}$ при горении несколько увеличиваются, что связано с повышением статического давления в закормовых областях следа. Что же касается указанных максимальных значений скорости, то они повышаются при горении весьма существенно. Так, для первого, второго и третьего по потоку стабилизатора они увеличиваются примерно в 1,6; 1,8 и 1,6 раза соответственно.

2. Протяженность зон обратных токов $L_{от}$ для разных стабилизаторов пламени ($i = 1, 2, 3$) при лестничном их расположении и максимальные по модулю значения скорости в этих зонах U_{max} при горении и в условиях изотермического течения

Параметры	Условия течения	i		
		1	2	3
$L_{от}, 10^{-3} \text{ м}$	Неизотермические (горение)	34	37	40
	изотермические	33	29	33
$U_{max}, \text{ м/с}$	Неизотермические (горение)	9,18	8,70	6,73
	изотермические	5,78	4,76	4,28

На рис. 2 представлены поля среднеквадратичных значений пульсаций скорости при горении и для холодного потока. Как видно, уровни пульсаций скорости в закормовых областях стабилизаторов при горении в целом существенно выше. Так, они достигают 11,8 м/с в условиях горения и 8,9 м/с – в холодном потоке. При этом размеры зон с повышенным уровнем пульсаций скорости за стабилизаторами заметно увеличиваются в случае реагирующих потоков.

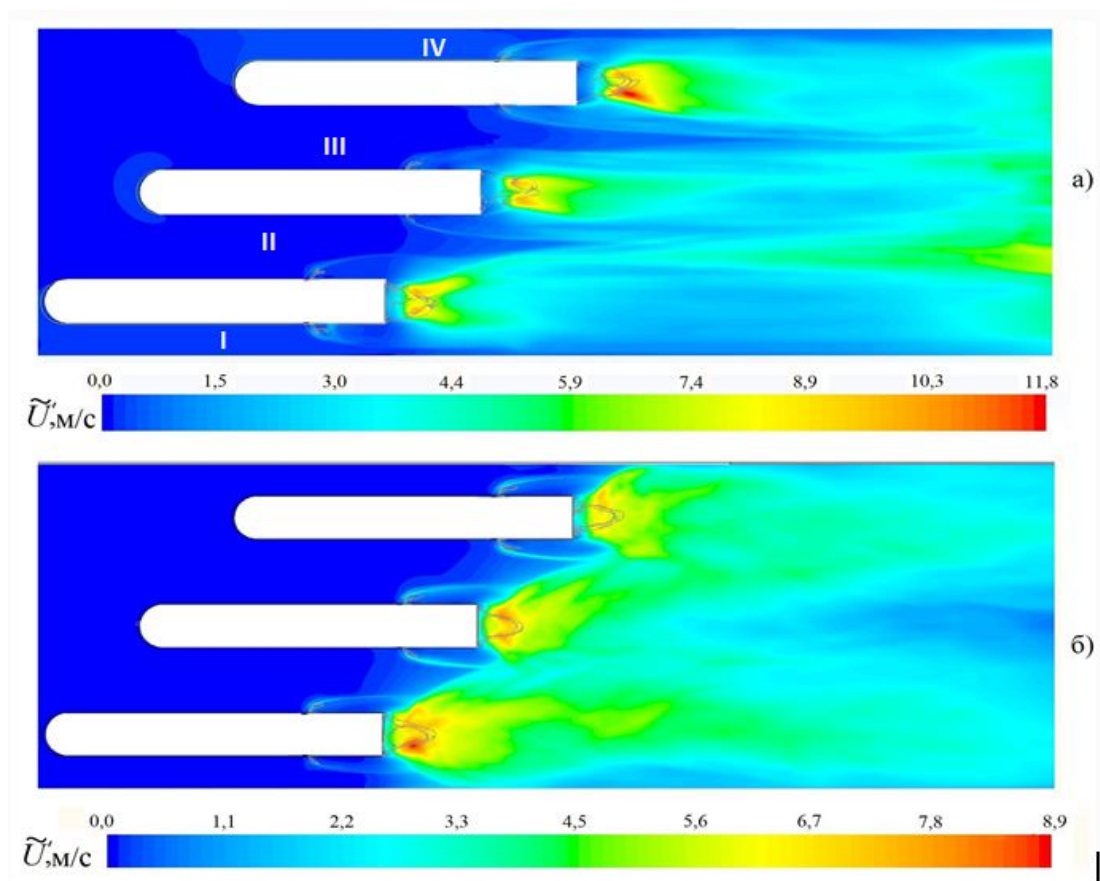


Рис. 2. Поля среднеквадратичных значений пульсаций скорости $\tilde{U}'$ в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, для лестнично эшелонированной решетки стабилизаторов пламени при горении (а) и в изотермических условиях (б)

Обращает на себя внимание также тот факт, что размеры указанных зон за стабилизаторами, в условиях холодного потока, ранжируются следующим образом. Наибольшими они оказываются за первым по потоку стабилизатором, а наименьшие – за последним. При этом максимальные уровни пульсаций в данных зонах также отвечают первому по потоку стабилизатору, а минимальные – последнему.

В условиях горения картина соотношения размеров зон с повышенным уровнем пульсаций скорости за разными стабилизаторами оказывается обратной описанной выше. Это, очевидно, связано с особенностями перераспределения расходов воздуха в стабилизаторной решетке для сопоставляемых ситуаций.

Что касается потерь давления в горелочном устройстве, то в случае реагирующих потоков они существенно повышаются. В рассматриваемых условиях данные потери увеличились более чем в 5 раз.

Проведенные исследования показали также, что за счет эшелонирования стабилизаторов достигается снижение потерь давления в горелочном устройстве. В исследуемой ситуации это снижение составило 12% и 8% соответственно, в условиях изотермического и неизотермического течения.

Выводы

Выполненные исследования структуры течения в лестнично эшелонированной решетке стабилизаторов пламени в ситуациях, отвечающих холодному потоку и условиям горения, показали, что в последнем случае имеет место существенное ускорение и турбулизация потока за решеткой стабилизаторов пламени, реализуется противоположный холодному потоку характер перераспределения расходов воздуха в каналах решетки и значительно повышаются потери давления в горелочном устройстве.

Список литературы

1. Фиалко Н. М. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения / Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, В. Г. Прокопов и др. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2, № 8 (74). – С. 29–34.
2. Фиалко Н. М. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени / Н. М. Фиалко, В. Г. Прокопов, Л. С. Бутовский и др. // Промышленная теплотехника. – 2011. – № 2. – С. 59–64.
3. Раушенбах Б. В. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / Б. В. Раушенбах, С. А. Белый, И. В. Беспалов и др. – М. : Машиностроение, 1964. – 526 с.
4. Фиалко Н. М. Особенности течения в микрофакельных горелках с подковообразным расположением стабилизаторов пламени / Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, В. Г. Прокопов и др. // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 209, ч.1. – С. 191–199.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧІЇ У ПАЛЬНИКАХ З ЕШЕЛОНОВАНИМ РОЗТАШУВАННЯМ СТАБІЛІЗАТОРІВ ПОЛУМ'Я В ІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ І ПІД ЧАС ГОРІННЯ ПАЛИВА

***Н. М. Фіалко, Ю. В. Шеренковський, В. Г. Прокопов,
Н. О. Меранова, С. А. Альошко, А. Б. Тимощенко,
Н. П. Полозенко, С. Н. Стрижеус***

Анотація. *Наведено результати комп'ютерного моделювання структури течії в пальниках зі ступінчато ешелонованими решітками стабілізаторів полум'я для ізотермічних умов і реагуючих потоків. Проаналізовано основні відмінності характеристик течії в ситуаціях, що зіставляються. При цьому особливу увагу приділено розгляду специфіки течії в каналах стабілізаторної решітки і в закормових областях стабілізаторів.*

Ключові слова: *ешелонування стабілізаторів полум'я, ізотермічна течія, горіння палива, комп'ютерне моделювання*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FLOW CHARACTERISTICS
IN BURNER WITH ECHELONED POSITIONING OF THE FLAME
STABILIZER UNDER ISOTHERMAL CONDITIONS
AND FUEL BURNING**

***N. Fialko, Y. Sherenkovsky, V. Prokopov, N. Meranova,
S. Aleshko, A. Tymoschenko, N. Polozenko, S. Stryzheus***

Annotation. *The results of computer simulation of the flow structure in the burners with a staircase echeloned grids of flame stabilizers for isothermal conditions and reacting flows are presented. The main differences between the flow characteristics in the comparable situations are discussed. Special attention is paid to the specifics of the flow in the channels of the stabilizer grad and in astern areas of stabilizers.*

Key words: *separation of the flame stabilizers, isothermal flow, fuel burning, computer simulation*

СУЧАСНІ ПРОТОКОЛИ ПЕРЕДАЧІ ШКАЛИ ЧАСУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗНИЖЕНОЮ АВАРІЙНІСТЮ

***О. М. Величко, доктор технічних наук, професор
ДП “Укрметртестстандарт”***

***В. В. Коваль, доктор технічних наук, професор
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

***О. В. Самков, доктор технічних наук
Інститут електродинаміки НАН України***

***І. Ю. Шкляревський
ТОВ “Інформаційні сервісні технології”
E-mail: v.koval@nubip.edu.ua***

Анотація. Подано порівняльний аналіз характеристик синхроінформаційного забезпечення енергетичних об'єктів. Розглянуто новий механізм синхронізації, рекомендований міжнародними стандартами групи МЕК 61850 для застосування на енергетичних об'єктах із цифровим керуванням. Наведено експериментальні дані результатів досліджень обладнання українського виробництва УС-1588 для передачі IP-мережею шкали часу "енергетичного" профілю з використанням протоколу РТР згідно зі стандартом IEEE Std 1588™-2008.

Ключові слова: інтелектуальні енергомережі, Smart Grid, синхрофазори, мітка часу, синхронізація, УС-1588, протокол IEEE 1588, РТР

В енергетичних мережах різних країнах спостерігаються, так звані, каскадні аварійні відключення електроенергії, що тягнуть за собою серйозні соціальні наслідки (аварійні зупинки поїздів метро в тунелях, трамваїв і тролейбусів, ліфтів у висотних будівлях, відключення від електроенергії електротехнічних пристроїв лікарень, дитячих садків, підприємств із безперервними виробництвами та інше) для широких верств населення.

Аналіз каскадних відключень електроенергії, які недавно відбулися у світі [13], дає змогу виокремити, крім чисто технічних, наявність інших, більш загальних причин таких подій. Перш за все, це скасування державного регулювання ринку електроенергії, що зробило даний ринок винятково висококонкурентним, але й менш керованим. З метою запобігання небажаним наслідкам зазначеної проблемної ситуації в енергетиці, розроблена концепція інтелектуальної енергомережі (Smart Grid), що має важливу складову частину, пов'язану з безперервним

моніторингом стабільності параметрів електромережі з прив'язкою до реального часу з мікросекундною точністю.

В Україні існує державна служба єдиного часу і еталонних частот, яка здійснює міжрегіональну й міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти, формуючи й зберігаючи національну шкалу часу на рівні найкращих національних шкал країн світу. Існуючі в Україні технічні засоби не утворюють єдиної системи і не можуть задовольнити вимоги всіх споживачів частотно-часової інформації, що спонукає їх до використання синхроінформації інших держав (GPS чи ГЛОНАСС), що створює загрозу як національній безпеці, так і збільшує ризики втрати єдності вимірювань часу й частоти в межах держави.

Зважаючи на це, актуальним в умовах сьогодення є забезпечення зниження аварійності в інтелектуальних енергосистемах за рахунок підвищення якості та надійності формування мітки часу (завдяки можливості диверсифікації) для безперервного моніторингу стабільності параметрів електромережі з прив'язкою до реального часу.

Виконаємо аналіз останніх досліджень системних аварій на енергомережах. Для цього розглянемо дані, наведені в табл. 1, про деякі великі аварії [1–3], що сталися приблизно за останнє десятиліття й супроводжувалися каскадними відключеннями, в зону впливу яких потрапила значна кількість населення.

**1. Деякі великі аварії, що супроводжувалися
масовими відключеннями споживачів від джерел енергії**

Дата аварії, рік	Країна, регіон	Постраждала кількість населення (оцінка)
2003	США (північ-схід), Канада (центр, схід)	55 мільйонів
2003	Італія	56 мільйонів
2005	Індонезія (Ява, Балі)	100 мільйонів
2005	Росія (Москва і декілька областей)	3 мільйона
2011	США (південь), Мексика (північ)	5 мільйонів
2012	Індія (22 штати)	620 мільйонів

Ретельний аналіз ряду каскадних відключень електроенергії, які відбулися у світі, свідчить, що, крім скасування державного регулювання ринку електроенергії, однією з причин збільшення кількості системних аварій, які призводять до каскадних відключень, є також перепади розподілу потоків електроенергії між взаємопов'язаними країнами. Зокрема, це відбувається через дії комерційних чинників, які впливають на інтеграційні зв'язки більшою мірою, ніж у минулому. Звільнені від державного регулювання ринку електроенергії, які почали формуватися в різних країнах, значною мірою сприяли зміні правил експлуатації електроенергетичних систем. Компанії, що виробляють і розподіляють електроенергію, у тому числі нові організації, спробували оптимізувати експлуатаційні витрати й витрати на виробництво електроенергії з метою

скорочення загальних витрат та отримання більш високого прибутку. Зміни, що відбулися, привели до формування таких критичних чинників нестабільності й ризику:

а) збільшилася складність електроенергетичних мереж та їх взаємний вплив;

б) зросли потужності, якими обмінюються енергосистеми регіонів;

в) посилилася необхідність оперативного опрацювання інформації, що швидко змінюється;

г) зросла невизначеність умов експлуатації електроенергетичних мереж;

д) часта повторюваність несправностей виступає як провокуючий фактор для запуску механізму аварії.

Таким чином, існуючі взаємопов'язані електроенергетичні мережі почали нести підвищене навантаження, пов'язане із забезпеченням контрактів на поставку електроенергії та здатну в деяких випадках перевищувати максимальну пропускну спроможність. Крім того, оператори великих електричних мереж неминуче стикаються з труднощами під час вибору заходів реагування в разі виникнення нестандартних або несподіваних ситуацій.

Механізм виникнення каскадних аварійних відключень електроенергії з технічної точки зору може бути описаний як послідовність наступних подій:

- виникнення провокуючого фактора для запуску механізму аварії (позапланове відключення електроенергії, несподіване підвищення рівня навантаження і т. д.);

- затримка в первісному реагуванні (оволодіння ситуацією, прийняття пом'якшуючих заходів тощо);

- виникнення каскадних аварійних ситуацій (каскадні відключення електроенергії, обвал напруги, хитання потужності, неузгодженість, падіння частоти і т. д.);

- прийняття захисних заходів (відключення відповідних потужностей за допомогою захисних реле).

У 2004–2005 роках. було прийнято рекомендації та здійснено заходи щодо зменшення ймовірності каскадних аварій, а саме: аналіз заходів протидії, що вживаються в міжнародному масштабі, представлений в трьох основних напрямках: моніторинг проблем безпеки; профілактичний контроль; аварійне керування.

Пошук нових рішень доцільно робити в напрямі вдосконалення процесу моніторингу та превентивного контролю. Одним з принципово нових рішень в питаннях превентивного контролю був метод системного аналізу параметрів електромереж, вимірюваних ОДНОЧАСНО в масштабі всієї мережі. Так, у межах організації «Північноамериканська синхрофазорна ініціатива», *NASPI*, яку заснувало в 2007 р. Міністерство енергетики США та Північноамериканська корпорація щодо забезпечення надійності електричних систем (*NERC*), енергетичні компанії та інші організації, запропонували поліпшення контролю енергосистем і підвищення їх

надійності за рахунок використання синхрофазорної технології інтелектуальних електромереж. Синхрофазори (системи одночасного вимірювання фази змінного струму й напруги в різних точках електромережі) були обрані зважаючи на їх здатності відображувати в режимі реального часу результати синхронізованих по абсолютній шкалі часу вимірювань з частотою 30 або 60 Гц для США і 25 або 50 Гц для Європи. Прилади для вимірювання фазори (*PMU - Phasor Measurement Unit*) передбачені стандартами як обов'язкова складова сучасних об'єктів енергетики.

Дані синхрофазорів особливо важливі для випадків підключення поновлюваних джерел до загальної енергетичної мережі, підвищення надійності енергопостачання та передачі даних в диспетчерські центри комунальних служб. Таким чином, для здійснення коректного аналізу стану енергосистеми стає вкрай актуальним забезпечення одночасності зазначених вимірювань, іншими словами – синхронізація, або прив'язка до шкали часу функціонування обладнання синхрофазорів у масштабі мережі.

Енергетичні компанії дедалі більше використовують *Ethernet/IP* і впроваджують мережі з багатопроTOCOLьною комутацією по мітках (*MPLS*), щоб забезпечити гармонійний перехід від традиційних систем передачі інформації до нових рішень, які включають застосування синхрофазорів та системи дистанційного захисту. Можливо, більш досконалі інформаційні технології дадуть змогу вирішити одну з найважливіших проблем світової енергетики – проблему зберігання енергії. Зберігання електроенергії може зробити енергетичні мережі більш надійними й стабільними, підвищити якість енергії та надати споживачам функції управління енергетичними потоками. Технології передачі й зберігання енергії, що дають змогу динамічно реагувати на коливання попиту й пропозиції, стають комерційно вигідними за умови розгортання технології *Smart Grid*, основи якої закладені в технічних вимогах до мережі керування цифровими підстанціями в групі міжнародних стандартів МЕК 61850. Зокрема, деякі стандарти цієї групи, МЕК61850-9-1, МЕК61850-9-2 визначають вимоги до точності міток часу (наприклад, до ± 1 мкс), необхідних для ряду функцій (наприклад, для синхронізації інтелектуальних промислових контролерів високих класів точності в різних ланках енергетичних мереж тощо).

Аналогічними є вимоги до точності часових міток для коректної роботи синхрофазорів, що визначаються міжнародними стандартами IEEE C37.118.1-2011, IEEE C37.118.2-2011. Підсумовуючи вищезазначене, можна стверджувати, що для забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно з концепцією інтелектуальної енергомережі, необхідна розробка та впровадження засобів відтворення національної шкали часу й частоти з прив'язкою до реального часу з мікросекундною точністю.

Мета досліджень – виявлення основних особливостей існуючих і перспективних технологій забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно з концепцією інтелектуальної енергомережі (*Smart Grid*). Обґрунтування

використання *IP*-мереж для відтворення національної шкали часу й частоти з прив'язкою до реального часу з мікросекундною точністю на основі нового механізму синхронізації *PTP*, рекомендованого міжнародним стандартом МЕК 61850-9. Експериментальне підтвердження можливості використання обладнання українського виробництва для передачі діючими *IP*-мережами мітки часу з точністю ± 1 мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення та зниження аварійності в інтелектуальних електроенергосистемах.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо методи синхронізації та протоколи передачі міток часу для синхроінформаційного забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем.

У другій половині ХХ століття, незалежно один від одного, розвивалися, головним чином, два протоколи, призначених для дистанційної передачі мітки часу в цифровому коді. Це протоколи сімейства *IRIG* (за назвою однієї з груп розробників в Міноборони США – *Inter Range Instrumentation Group*), призначені спочатку для військових, різновид якого, так звана *IRIG-B*, знайшла широке застосування, зокрема, в енергетиці, а також протокол мережевого часу, *NTP* (*Network Time Protocol*), розроблений у межах концепції Інтерні для широкого застосування в комп'ютерних мережах, що використовують сімейство *IP*-протоколів.

Крім того, у метрології, для випадку прямого підключення пристроїв один до одного, знайшов застосування протокол *ToD* (*Time of Day*). Для реалізації протоколу *ToD* використовується асинхронний інтерфейс типу *RS-232*, в якому передаються повідомлення *NMEA* з інформацією про часову шкалу, доповнені аналоговим імпульсним сигналом частотою 1 Гц (або 1 *PPS*), що з високою точністю фіксує момент переходу шкали через нульове значення секунд.

У ХХІ столітті буало розроблено новий протокол для передачі мітки часу діючими *IP*-мережами, який визначений в міжнародному стандарті *IEEE-1588* як протокол прецизійного часу (*PTP*, *Precision Time Protocol*).

Порівняння технічних можливостей та особливостей застосування зазначених протоколів подано в табл. 2.

2. Технічні характеристики та особливості застосування протоколів

Протокол, стандарт	Точність, що забезпечуються	Необхідність окремої мережі	Особливості застосування
<i>IRIG-B</i>	10 мкс – 1 мс	так	-
<i>ToD</i> (1 <i>PPS</i> + <i>NMEA</i>)	0.1 – 10 мкс	так	На відстані до 10 м
<i>NTP</i>	1 – 100 мс	ні (мережа <i>UDP/IP</i>)	Глобальний, залежить від мережі.
<i>IEEE-1588-2008</i> (<i>PTP</i>)	0.1 – 10 мкс	ні (мережа <i>UDP/IP</i> чи <i>Ethernet</i>)	Мережевий, не залежить від мережі *

* для мережі, яка підтримує *ртр* відповідно до вимог стандарту.

З наведених даних можна зробити висновок, що єдиним на сьогодні протоколом, здатним забезпечити вимоги стандартів, перелічених в попередньому розділі, а також таким, що не потребує будівництва виділеної мережі, є саме *PTP*, що підтверджується його активним впровадженням. Експериментальні дослідження й світова практика впровадження *PTP* на діючих мережах в різних галузях спонукала до активізації його стандартизації в різних галузях економіки, включно і енергетичній.

Підвищений інтерес до впровадження протоколу *PTP* сформувався, значною мірою, у зв'язку з активним переходом телекомунікаційних мереж, як інформаційної основи суспільства, на використання технології комутації пакетів (замість комутації каналів), причому в таких мережах *PTP* може застосовуватися, з деяким погіршенням характеристик, навіть без підтримки протоколу іншим мережевим обладнанням. У телекомунікаціях *PTP* впроваджується для забезпечення функції мережевої синхронізації, включаючи моніторинг якості синхронізації [5], *PTP* також активно імплементується в глобальні фінансові мережі [6]. Перспектива використання *PTP* чітко проглядається в багатьох інших галузях економіки. В Україні розроблено концепцію побудови на основі *PTP* національної мережі розповсюдження синхроінформації [7], [8] що має на меті, у тому числі, передачу мережею споживачам сигналів точного часу й частоти від вторинного еталону [9].

Результати досліджень. Наведемо результати досліджень протоколу *PTP* щодо можливості його застосування в інтелектуальних електроенергетичних системах, який отримав назву «енергетичний» профіль *PTP*. Оскільки базовий стандарт [4] містить широкий спектр допустимих установок і налаштувань протоколу *PTP*, у міру впровадження в тій чи іншій галузі, фахівці оптимізують конфігурацію протоколу для застосування саме в цій галузі, залежно від особливостей галузевих мереж, що підвищує характеристики або спрощує впровадження протоколу. Слід зазначити, що цей підхід призводить до втрати сумісності обладнання *PTP*, призначеного для різних галузей.

Проблеми сумісності різних профілів *PTP* розглядаються в окремій праці [10], де автори зосереджують увагу на аналізі «енергетичного» профілю *PTP*, який стандартизовано [11]. Зведені дані про «енергетичний» профіль *PTP* наведено в табл. 3.

Випробування обладнання УС-1588, вітчизняної розробки й виготовлення, показали відповідність його основних характеристик вимогам "енергетичного" профілю РТР. Типові характеристики наведено на рис.1 та рис. 2 (інформація надана ТОВ "Інформаційні сервісні технології", м. Київ)

3. Вимоги до обладнання *PTP* згідно зі стандартом IEEE C37. 238-2011

Параметр	Профіль із IEEE1588 додаток. J4	Профіль із IEEE C37. 238-2011, std	Профіль із IEEE C37. 238-2011, GM	Профіль із IEEE C37.238 «slave-only»
<i>Стабільність:</i>				
Похибка по частоті	0,01%	ні	ні	ні
Підстройка по частоті	0,025%	ні	ні	ні
Похибка часу (сталий режим)	ні	<± 1 мкс (на 16 вузлах)	<± 1 мкс (на 16 вузлах)	<± 1 мкс (на 16 вузлах)
Похибка "мастера"	ні	ні	<200 нс	ні
Похибка «Transparent Clock»	ні		<50 нс	ні
Режим "Holdover" 1588v2 options:	ні	ні	<2 мкс за 5 с	ні
Вимірювання затримки (метод) Керування	P2P чи E2E У відпов. з 1588	Тільки P2P опція	Тільки P2P SNMP MIB (Grandmaster)	Не обов'язково опція
Індикатор TLV IEEE-802.1Q	опція ні	опція так	обов'язково так	Ні так
Інтервали для:				
<i>Announce</i>	1 (0–4)	0	0 (спец. ТЛВ)	Не потрібно
<i>Sync</i>	1 (-1 to 1)	0	0	0
<i>DelReq</i>	0 (0–5)	0	0	0
<i>Announce timeout</i>	3 (2–10)	3	2	3

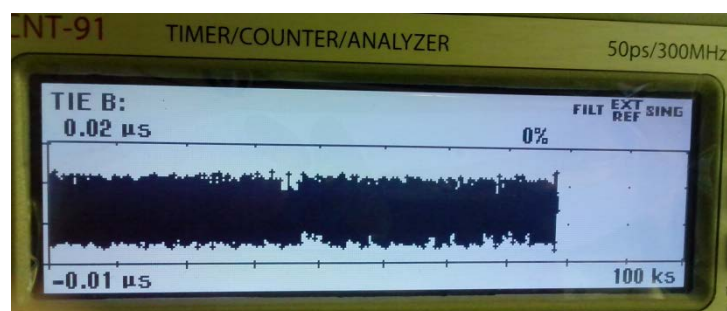


Рис.1. Залежність відхилення часового інтервалу від часу синхронізуючого пристрою обладнання УС-1588М

Вклад синхронізуючого *PTP*-пристрою («master») у відхилення часового інтервалу становить не більше 50 нс (для порівняння вимоги, наведені в табл. 3, не більше 200 нс).

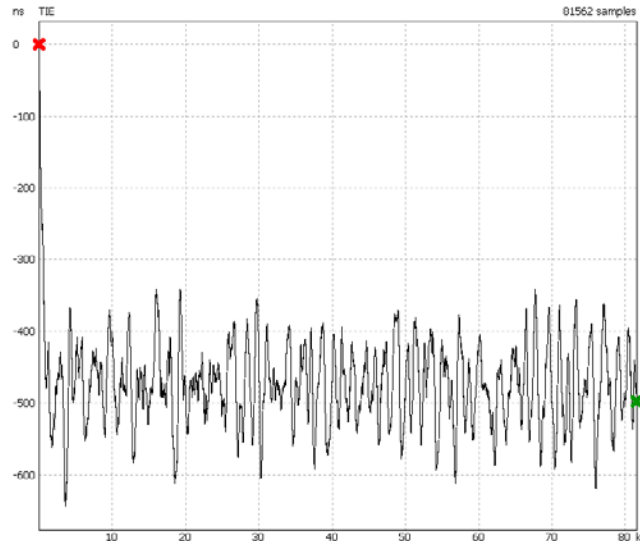


Рис. 2. Залежність відхилення часового інтервалу від часу комплексу обладнання UC-1588 по відношенню до опорного сигналу

Параметри комплексу обладнання UC-1588 дають змогу забезпечити нестабільність переданої мітки часу на рівні 300 нс (розмах).

Для порівняння, зі статті [12] наведемо результати випробувань декількох видів обладнання РТР "енергетичного" профілю та обладнання українського виробництва типу "слейв".

4. Порівняльні характеристики комплексу обладнання «мастер-слейв» різних виробників (розмах в наносекундах, вимірювання на інтервалі 30 хвилин)

Slave/ Master	Slave A	Slave B	Slave C	Slave F	UC- 1588S ("слейв")	Джерело
Master A	-	705	304	798	-	[12]
Master C	715	156	-	43	-	[12]
Master D	670	255	232	200	-	[12]
OSA-5535	-	-	-	-	320	ТОВ "ІСТ"
UC-1588M	-	-	-	-	250	ТОВ "ІСТ"

Результати порівняння свідчать про те, що характеристики обладнання українського виробництва відповідають середньому світовому рівню, маючи більш низькі цінові показники.

Висновки

Визначено основні особливості існуючих і перспективних технологій забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно з концепцією інтелектуальної енергомережі (*Smart Grid*). Обґрунтовано доцільність використання *IP*-мереж для відтворення національної шкали часу й частоти з прив'язкою до реального часу з мікросекундною точністю на основі нового механізму синхронізації РТР, рекомендованого

міжнародним стандартом МЕК 61850-9. Експериментально перевірено й підтверджено можливість використання обладнання українського виробництва (УС-1588) для передачі діючими ІР-мережами мітки часу з точністю ± 1 мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення та зниження аварійності в інтелектуальних електроенергетичних системах.

Список літератури

1. Смирнов С. О. Причины возникновения и меры противодействия крупным авариям в электроэнергетических системах // Известия Коми научного центра УРО РАН / С. О. Смирнов, М. И. Успенский. – Вып. № 1 (9), 2012. – С. 68–77.
2. Martinez E.V., et al. «Smart Grids. Part 1: Instrumentation Challenges», IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, February, 2015, pp. 6–9.
3. Baumgartner B., Riesch C., Rudigier M., “IEEE 1588/PTP: The Future of Time Synchronization in the Electric Power Industry”, PAC World Conference 2012, Budapest, Hungary, 2012.
4. IEEE Instrumentation and Measurement Society, IEEE Std 1588™-2008 - Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.
5. Konovalov G., Kostik B., Koval V., Shkliarevskiy I. "Timing information's 24x7 monitoring as an important factor of network synchronization quality support", 2013 International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS-2013), Digital Object Identifier: 10.1109/ISPCS.2013.6644769. 22-27 вересня, Лемго, Германия. 2013. – С. 89–94.
6. Estrela P.V., Bonebakker L., “Challenges deploying PTPv2 in a Global Financial company”, in Proc. IEEE ISPCS, San Francisco, California, USA, Sept. 23th–28th, 2012, pp. 25–30.
7. Концепція національної системи розповсюдження синхроінформації : зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2014», 26–27 червня 2014 р., НУБіП України / О. М. Величко, М. В. Головня, В. В. Коваль, І. Ю. Шкляревський. – К. : АграрМедіаГруп, 2014. – С. 22–23.
8. Сучасні технології синхроінформаційного забезпечення на основі протоколу прецизійного часу стандарту IEEE-1588 : матеріали III Міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології», м. Київ 17–20 листопада 2015 р. Т.ІІ Актуальні питання побудови сучасних телекомунікаційних систем і мереж / О. М. Величко, В. В. Коваль, В. П. Лисенко [та ін.]. – К., 2015. – С. 9–11.
9. Величко О. Н. Вторичный эталон единиц времени и частоты как источник сигналов синхронизации и времени / О. Н. Величко, М. В. Головня // Электросвязь, 2013. – № 2. – С. 22–25.
10. Shkliarevskiy I., «Precision Time Protocol in different applications: profile comparative analysis», T-Comm, v.8, #11, 2014, pp. 116–120.
11. IEEE C37.238-2011 IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications, 2011.
12. Ingram D.M., et al., “Performance Analysis of PTP Components for IEC 61850 Process Bus Applications”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 62, No 4, April 2013, pp. 710–719.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОНИЖЕННОЙ АВАРИЙНОСТЬЮ

О. Н. Величко, В. В. Коваль, А. В. Самков, И. Ю. Шкляревский

Аннотация. Приведен сравнительный анализ характеристик различных механизмов синхронизации для применения на энергетических объектах. Рассмотрен новый механизм синхронизации, рекомендуемый международными стандартами МЭК 61850 для применения на энергетических объектах с цифровым управлением. Представлены экспериментальные данные, полученные на оборудовании УС-1588 украинского производства.

Ключевые слова: интеллектуальные энергосети, Smart Grid, синхрофазоры, прецизионная метка времени, УС-1588, протокол IEEE-1588, PTP

TIME-SCALE DISTRIBUTION MODERN PROTOCOLS FOR SMART GRID POWER SYSTEMS WITH LOW ACCIDENT RATE

O.Velychko, V. Koval, O. Samkov, I. Shkliarevskyi

Annotation. The comparative analysis of the power object's synchroinformational methods was made in the paper. New synchronization mechanism recommended by the IEC 61850 international standards for use in digitally controlled power stations was considered. SU-1588 type equipment made in Ukraine for the time-scale's distribution through IP network using power profile of the PTP protocol according to the standard IEEE Std 1588TM - 2008 is presented.

Key words: Smart Grid, synchrophasor, time stamp, synchronization, SU-1588 equipment, IEEE 1588 Protocol, PTP

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС В ЕНТОМОЛОГІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

***В. П. Лисенко, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

І. С. Чернова, здобувач*

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка»

НААН України

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто електротехнічний комплекс виробництва ентомофагів, енергетичну та параметричну характеристики такого виробництва.

Ключові слова: *електротехнічний комплекс, виробництво ентомофагів, керування*

Отримання ентомофагів гарантованої якості в умовах техноценозу має важливе значення для їх ефективного використання в агробіоценозі та є пріоритетним напрямом розвитку промислової ентомології. Ентомологічне виробництво являє собою систему (рис.1), що містить певну кількість взаємопов'язаних процесів – основних, допоміжних та обслуговуючих. Якість ентомофагів являє собою сукупність певних властивостей, необхідних для їх ефективного цільового використання, та формується на різних етапах технологічного процесу виробництва з урахуванням факторів впливу (абіотичних, біотичних, технологічних). Критеріями оцінювання процесів є продуктивність, точність, стабільність, контрольованість. Водночас, виробництво ентомофагів являє собою складну динамічну систему, де суттєву роль відіграє електротехнічний комплекс, що формує керуючі впливи на біотехнологічний об'єкт.

Мета досліджень – аналіз якості функціонування електротехнічного комплексу, що супроводжує технологію виробництва ентомофагів.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізовано структуру виробництва ентомофагів та охарактеризовано електротехнічний комплекс.

Результати досліджень. Структуру електротехнічного комплексу у виробництві ентомофагів на прикладі виробництва бракона (*Habrobracon hebetor* Say.), гусеничного паразита багатьох лускокрилих комах, наведено на рис. 2.

* Науковий керівник – доктор технічних наук В. П. Лисенко

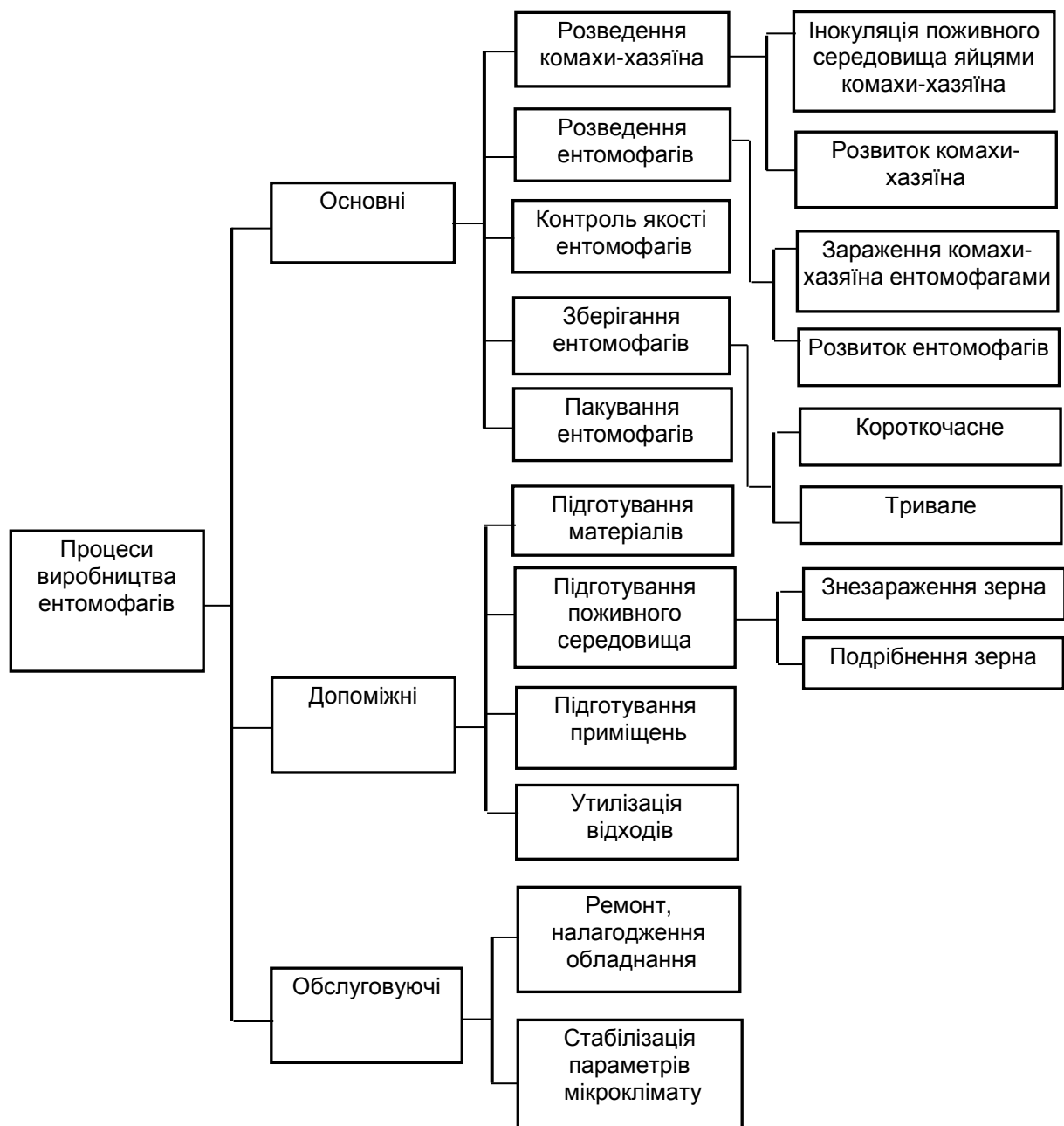


Рис. 1. Структура процесів виробництва ентомофагів

Витрати енергії за рахунок функціонування електротехнічного комплексу спрямовані на такі процеси і характеризуються такими показниками:

- підготовка поживного середовища, зокрема, подрібнення зерна кормоподрібнювачем (1,7 кВт/год) та його теплове знезараження (1,5 кВт/год);
- підтримання температури повітря (+25...+28 °C) у зоні вирощування комах (1–2 кВт/год) залежно від температури приміщення, його площі та температури зовнішнього середовища; при цьому тривалість розвитку млинової вогнівки, комахи-хазяїна ентомофага бракон від яйця

до імаго становить близько 42 діб, вирощування бракона від паразитування гусениць млинової вогнівки до імаго – близько 15 діб;

- відгонка гусениць млинової вогнівки з поживного середовища із використанням нагрівного елементу (1,5 кВт/год);

- збирання метеликів млинової вогнівки з використанням побутового пилососа (до 2 кВт/год);

- збирання імаго бракона з використанням побутового пилососа (до 2 кВт/год);

- підготовка брикетів за допомогою центрифуги (2 кВт/год);

- знезараження відходів виробництва (2,0 кВт/год).



Рис. 2. Структура електротехнічного комплексу у виробництві ентомофагів

Технологія виробництва бракона складається з виконання окремих технологічних процесів, насичених частковою (кормоподрібнювач, марміт, пилосос та центрифуга); для отримання якісної товарної продукції – солом'яних брикетів із лялечками бракона – необхідно вручну здійснювати поопераційний контроль біологічних показників якості млинової вогнівки та бракона [1]. Сумарні енергетичні витрати в зоні вирощування комах (їх структуру наведено вище) на підтримання заданої температури повітря, що визначає інтенсивність обміну речовин комах, темпи онтогенезу, тривалість життя, плодючість, кількість генерацій, інтенсивність травлення [2], є значними і суттєво впливають на собівартість продукції, що виробляється.

З метою мінімізації енергетичних витрат формування ефективних керуючих впливів на електротехнічний комплекс, що супроводжує

технологію виробництва ентомофагів, слід здійснювати на основі параметричної характеристики виробництва ентомофагів, що є складним біотехнологічним об'єктом і характеризується значною кількістю параметрів (вхідних, вихідних, керування, збурюючих).

Параметрична характеристика виробництва ентомофагів (рис. 3) містить аналіз виробництва з урахуванням дії :

- вхідних параметрів X (кількість технологічної сировини, матеріалів, електроенергії, обладнання, площа для розміщення обладнання);
- вихідних контрольованих параметрів Y (ефективність виробництва,

показники якості ентомофагів – плодючість самок, кількість деформованих особин, маса гусениць, відродження імаго);

- параметрів керування U : кількість поживного середовища, температура та відносна вологість повітря, освітленість;

- збурюючих параметрів Z : випадкові зміни напруги електромережі, спрацьованість обладнання, зміна температури зовнішнього середовища.

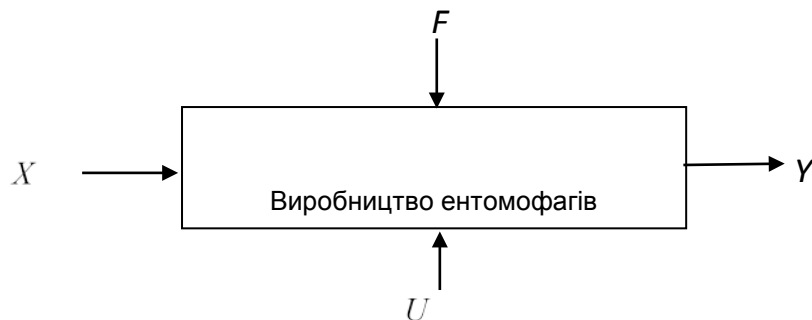


Рис. 3. Параметрична характеристика виробництва ентомофагів

$$Y = F(X, U, Z)$$

Висновки

1. Аналіз результатів виробництва ентомофагів дає підставу стверджувати про енергонасиченість такого виробництва.

2. Виробництво ентомофагів слід розглядати як складний біотехнологічний об'єкт.

3. Для мінімізації енергетичних витрат при виробництві ентомофагів слід керуючі впливи на електротехнічні комплекси здійснювати з урахуванням особливостей біологічної складової та збурюючих впливів.

Список літератури

1. Молчанова О. Д. Основні принципи виробництва ентомофага бракона / О. Д. Молчанова, І. А. Моторко, І. С. Чернова // Вісник аграрної науки Південного регіону. – 2012. – № 12. – С. 122–127.

2. Злотин А. З. Техническая энтомология : справ. пособ. / А. З. Злотин. – К. : Наукова думка, 1989. – 183 с.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС В ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В. П. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. *Рассмотрен электротехнический комплекс в производстве энтомофагов, энергетическая и параметрическая характеристики производства энтомофагов.*

Ключевые слова: *электротехнический комплекс, производство, управление*

ELECTROTECHNICAL COMPLEX IN ENTOMOLOGICAL PRODUCTION

V. Lysenko, I. Chernova

Annotation. The article describes the electrotechnical complex in the production of entomophages; energy and parametric characteristics of the production of entomophages.

Key words: *electrotechnical complex, production, management*

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕБЕР РІЗНОГО ТИПУ ЗА НАЯВНОСТІ ПОКРИТТІВ НА ТЕПЛООБМІННІЙ ПОВЕРХНІ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Наведено методику розрахунку процесів теплопереносу для ребер різного типу (повздовжніх ребер, кільцевих ребер і шипів) за наявності на їх поверхні захисних або забруднюючих покриттів. Знайдено температурні розподіли й теплову ефективність ребер та проаналізовано вплив геометричної форми ребер на їх теплові характеристики.*

Ключові слова: *ребро, покриття, розподіл температур, теплова ефективність*

В процесі експлуатації ребрених теплообмінників на розвиненій поверхні можуть утворюватися забруднюючі відкладення, які знижують ефективність теплообмінних апаратів. Під час роботи теплообмінників у хімічно агресивних середовищах теплообмінна поверхня може бути захищена від руйнування шаром захисного покриття. Здебільшого, забруднюючі відкладення або захисні покриття мають малу термічну провідність. Вплив відкладень (покриттів) в інженерних методах теплового розрахунку враховують як додатковий термічний опір на розвиненій поверхні [1].

Такий підхід, як правило, базується на експлуатаційних дослідженнях і спостереженнях процесів забруднення ребреної поверхні, що супроводжується погіршенням теплової ефективності теплообмінників. Такий підхід дає змогу врахувати вплив відкладень при визначенні загальної площі теплообмінної поверхні і габаритів теплообмінника під час його конструювання, але унеможлиблює детальне вивчення впливу відкладень на умови теплопереносу в розвиненій поверхні з покриттям і зробити правильний вибір оптимальних розмірів ребрення.

Проведені рядом авторів дослідження умов теплопереносу для композитних ребер свідчать [2–10], що наявність малотеплопровідного відкладення або покриття на розвиненій поверхні призводить до істотної перебудови температурних полів, які можуть мати суттєві відмінності від температурних розподілів для поверхні з ребрами без покриття. З цієї причини, оптимальні розміри ребер із покриттями можуть відрізнятися від аналогічних розмірів, обчислених для «чистих» ребер.

Таким чином, уявляється необхідним розроблення методики розрахунку ребер із покриттям, проведення детального дослідження впливу відкладень (покриттів) на перенос теплоти в цих ребрах та визначення теплової ефективності композитних ребер.

Мета досліджень – розробка методики розрахунку ребер із покриттям, дослідження температурних розподілів і теплової ефективності композитних ребер різного типу.

Матеріали та методика досліджень. У статті проведено розрахунок температурних полів і визначено теплову ефективність для трьох типів ребрення за наявності на їх поверхні рівномірних покриттів (відкладень), а саме: для повздовжніх ребер, поперечних ребер і шипів.

Стационарний теплоперенос у ребрі з рівномірним покриттям (рис. 1) при двовимірній постановці описується рівнянням

$$\Delta T_i = 0, \quad (1)$$

де x, y – координати;

T – температура, індекс $i = 1, 2$; позначає відповідно, ребро і покриття;

Δ – оператор Лапласа, який для різних типів ребер, відповідно, має наступний вигляд: для повздовжнього ребра – $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$, для

круглого ребра – $\Delta = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$, для круглого шипа –

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left(y \frac{\partial}{\partial y} \right)$, а осі координат Ox і Oy спрямовані відповідно по висоті й товщині ребра (рис. 1).

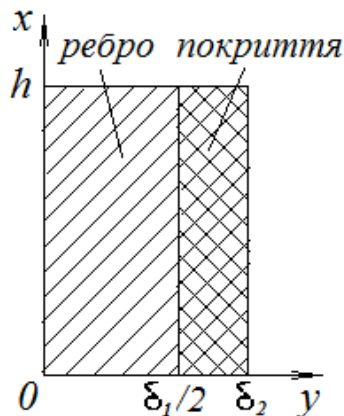


Рис. 1. Розрахункова схема ребра з покриттям

Якщо припустити, що покриття на торцях відсутнє, тепловіддачею з торцевих поверхонь можна знехтувати, температура основи ребра вважається постійною і рівною T_0 , температура зовнішнього середовища рівна $T_{g\infty}$, то граничні умови для рівнянь (1) мають вигляд

$$\begin{aligned}
T_i(x = x_1) = T_0, \quad \left. \frac{\partial T_i}{\partial x} \right|_{x=x_2} = 0, \quad i = 1, 2; \quad \left. \frac{\partial T_1}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \\
T_1(x, y = \delta_1/2) = T_2(x, y = \delta_1/2), \\
\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial y} \right|_{y=\delta_1/2} = \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial y} \right|_{y=\delta_1/2}, \quad \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial y} \right|_{y=\delta_1/2+\delta_2} = \alpha(T_2 - T_{g\infty}), \quad (2)
\end{aligned}$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності;

α – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні композитного ребра, причому для поздовжнього ребра і циліндричного шипа $x_1 = 0, x_2 = h$, а для круглого ребра координати x_1 і $x_2 = x_1 + h$ позначають, відповідно, радіус несучої циліндричної поверхні і зовнішній радіус кільцевого ребра.

Для порівняльної оцінки ефективності ребер використовують коефіцієнт теплової ефективності ребра

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\max}}, \quad (3)$$

де $Q = 2\alpha \int_0^h [T_2(x, y = \delta_1/2 + \delta_2) - T_{g\infty}] dx$ – повний тепловий потік, що відводиться ребром;

$Q_{\max} = 2\alpha(T_0 - T_{g\infty})h$ – деяке максимальне його значення, коли на поверхні композитного ребра температура покладається рівною температурі біля його основи $T_2(x, y = \delta_1/2 + \delta_2) = T_0$.

Розв'язки системи параболічних рівнянь (1) з граничними умовами (2) отримані методом кінцевих інтегральних перетворень [11]. Температурні поля і теплова ефективність різного типу ребер з покриттям, після введення безрозмірних змінних, отримані в наступній формі.

Для поздовжнього ребра з покриттям:

$$\theta_1(X, Y) = \sum_{n=0}^{\infty} [2C_{1n} \operatorname{ch}(\mu_n Y) + H_n] \sin(\mu_n X) / M_n, \quad (4)$$

$$\theta_2(X, Y) = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{2n} \exp(\mu_n Y) + D_{2n} \exp(-\mu_n Y) + H_n] \sin(\mu_n X) / M_n, \quad (5)$$

$$\eta = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{2n} \exp(\mu_n Y_2) + D_{2n} \exp(-\mu_n Y_2) + H_n] / \mu_n M_n, \quad (6)$$

де $X = x/h$, $Y = y/h$, $Y_1 = \delta_1/2h$, $Y_2 = (\delta_1 + 2\delta_2)/2h$,
 $\theta_1 = (T_1 - T_{g\infty})/(T_0 - T_{g\infty})$; $\theta_2 = (T_2 - T_{g\infty})/(T_0 - T_{g\infty})$, $C_{2n} = P_n F_n \exp(-\mu_n Y_1)$,
 $D_{2n} = P_n \exp(-\mu_n Y_1) / L_n$;

$C_{1n} = -C_{2n}[\text{ch}(\mu_n Y_1) + \text{sh}(\mu_n Y_1) \text{Bi}_2 / \text{Bi}_1]^{-1}$, $P_n = M_n / (1 + \mu_n / \text{Bi}_2)$;
 $F_n = [\text{th}(\mu_n Y_1) \text{Bi}_2 / \text{Bi}_1 + 1] / [\text{th}(\mu_n Y_1) \text{Bi}_2 / \text{Bi}_1 - 1]$;
 $L_n = \exp[-\mu_n (Y_2 - Y_1)] (1 - \mu_n / \text{Bi}_2) / (1 + \mu_n / \text{Bi}_2) - \exp[\mu_n (Y_2 - Y_1)] F_n$;
 $H_n = -1 / \mu_n M_n$, $M_n^2 = [1 - \sin(2\mu_n) / 2\mu_n] / 2$, $\text{Bi}_i = \alpha h / \lambda_i$, $i = 1, 2$;
 $\mu_n = \pi(n + 1/2)$ – власні числа, отримані при розв'язку задачі Штурма-Ліувілля для рівняння (1).

Для кільцевого ребра з покриттям

$$\theta_1(X, Y) = \sum_{n=0}^{\infty} K(\mu_n, X) [2C_{1n} \text{ch}(\mu_n Y) + H_n] \quad (7)$$

$$\theta_2(X, Y) = \sum_{n=0}^{\infty} K_n(\mu_n, X) [C_{2n} \exp(\mu_n Y) + D_{2n} \exp(-\mu_n Y) + H_n] \quad (8)$$

$$\eta = \frac{4X_1}{X_2^2 - X_1^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \left\{ \left[\frac{\mu_n}{\text{Bi}_2} \frac{S_n + \exp[2\mu_n (Y_2 - Y_1)]}{S_n - \exp[2\mu_n (Y_2 - Y_1)]} - 1 \right]^{-1} + 1 \right\} \times$$

$$\times \left\{ X_2^2 \left[\frac{Y_0(\mu_n X_2) I_0(\mu_m X_1) - Y_0(\mu_n X_1) I_0(\mu_n X_2)}{Y_0(\mu_n X_1) I_0(\mu_m X_1) - Y_0(\mu_n X_1) I_0(\mu_n X_1)} \right]^2 - X_1^2 \right\}^{-1} \quad (9)$$

де $X_1 = x_1 / h$, $X_2 = x_2 / h$;

$$K_n = B_n [Y_0(\mu_n X) - I_0(\mu_m X) Y_0(\mu_n X_1) / I_0(\mu_n X_1)];$$

$$C_{2n} = H_n \exp[\mu_n (Y_2 - 2Y_1)] [(1 + \mu_n / \text{Bi}_2) \times$$

$$\times \exp[2\mu_n (Y_2 - Y_1)] / (1 - \frac{\mu_n}{\text{Bi}_2}) - S_n]^{-1} / (1 - \frac{\mu_n}{\text{Bi}_2});$$

$$D_{2n} = -C_{2n} S_n \exp(2\mu_n Y_1), \quad C_{1n} = C_{2n} (1 - S_n \exp(\mu_n Y_1));$$

$$S_n = [\text{Bi}_2 \text{th}(\mu_n Y_1) - 1] / [\text{Bi}_2 \text{th}(\mu_n Y_1) + 1];$$

$$H_n = -B_n X_1 [Y_1(\mu_n X_1) - I_1(\mu_m X_1) Y_0(\mu_n X_1) / I_0(\mu_n X_1)] / \mu_n;$$

$$B_n = \left\{ \frac{X_2^2}{2} [I_0(\mu_n X_1) - Y_0(\mu_n X_1)]^2 + \frac{1}{2\mu_n} \left[Y_1(\mu_n X_1) - \frac{I_1(\mu_m X_1) Y_0(\mu_n X_1)}{I_0(\mu_n X_1)} \right] \right\}^{-1/2},$$

а власні числа визначаються в результаті розв'язку задачі Штурма-Ліувілля для рівнянь (1) з характеристичного рівняння

$$Y_1(\mu_n X_2) I_0(\mu_m X_1) - Y_0(\mu_n X_1) I_1(\mu_n X_2) = 0. \quad (10)$$

Для циліндричного шипа з покриттям:

$$\theta_i(X, Y) = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{in} I_0(\mu_n Y) + D_{in} K_0(\mu_n Y) + H_n] \sin(\mu_n X) / \mu_n M_n, \quad i=1,2; \quad (11)$$

$$\eta = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{2n} I_0(\mu_n Y_2) + D_{2n} K_0(\mu_n Y_2) + H_n] / \mu_n M_n, \quad (12)$$

$$\text{де } C_{1m} = \frac{F(\mu_n, Y_2) [S_1(\mu_n, Y_1) I_0(\mu_m Y_1) - K_0(\mu_n Y_1)]}{I_0(\mu_n X_1) [S_1(\mu_m, Y_1) + S_2(\mu_n, Y_1)]}, \quad D_{1n} = 0;$$

$$C_{2m} = \frac{F(\mu_n, Y_2) S_1(\mu_n, Y_1)}{S_1(\mu_m, Y_1) + S_2(\mu_n, Y_1)}, \quad D_{2m} = \frac{F(\mu_n, Y_2)}{S_1(\mu_m, Y_1) + S_2(\mu_n, Y_1)};$$

$$S_1(\mu_n, Y_1) = \frac{K(\mu_n Y_1) I_0(\mu_m Y_1) - Bi_2 K_0(\mu_n Y_1) I_0(\mu_m Y_1) / Bi_1}{(Bi_2 / Bi_1 - 1) I_0(\mu_n Y_1) I_1(\mu_m, Y_2)};$$

$$S_2(\mu_n, Y_2) = \frac{Bi_2 K_0(\mu_n Y_2) - \mu_n K_1(\mu_n Y_2)}{Bi_2 I_0(\mu_n Y_2) + \mu_n I_1(\mu_m, Y_2)};$$

$$F(\mu_n, Y_2) = \frac{H_n Bi_2}{\mu_n [Bi_2 I_0(\mu_n Y_2) + \mu_n I_1(\mu_m, Y_2)]};$$

$H_n = -1 / \mu_n M_n$, $M_n^2 = [1 - \sin(2\mu_n) / 2\mu_n] / 2$, $\mu_n = \pi(n + 1/2)$ – власні числа, $I_j(\mu_n Y)$, $K_j(\mu_n Y)$, $j = 0, 1$; – модифіковані Функції Бесселя j -го порядку, відповідно, першого і другого роду.

У табл. 1 наведено розрахункові значення коефіцієнта ефективності для повздовжніх ребер за наявності на їх поверхні покриття при різних геометричних і теплофізичних характеристиках покриття, де параметр $\psi_{Bi} = Bi_1 / Bi_2$ враховує співвідношення між теплофізичними властивостями ребра і покриття.

1. Теплова ефективність повздовжніх ребер із рівномірним покриттям, знайдених при двовимірній постановці задачі

	$Bi_2 = \frac{\alpha h}{\lambda_2}$	η	$Bi_2 = \frac{\alpha h}{\lambda_2}$	η	$Bi_2 = \frac{\alpha h}{\lambda_2}$	η
	$Y_1 = 0,1; Y_2 = 0,12;$		$Y_1 = 1,0; Y_2 = 1,2;$		$Y_1 = 5,0; Y_2 = 6,0;$	
$\psi_{Bi} = 0,0025$	25	0,68	2,5	0,797	0,5	0,83
	100	0,355	10	0,506	2	0,574
	300	0,157	30	0,257	6	0,326
	1000	0,0536	100	0,0954	20	0,142
	2000	0,0276	200	0,05	40	0,081
	3500	0,016	350	0,0296	70	0,051
	5000	0,0112	500	0,021	100	0,038

Аналіз отриманих результатів свідчить, що, при зменшенні коефіцієнта теплопровідності матеріалу покриття, теплова ефективність

композитних ребер знижується, що викликає необхідність вибирати оптимальні геометричні розміри ребер залежно від теплофізичних і геометричних характеристик покриттів, причому ці розміри можуть істотно відрізнятися від оптимальних розмірів для «чистих» ребер.

Вплив покриттів на теплові характеристики ребер різного типу за інших рівних умов буде залежати від геометрії ребер. На рис. 2 наведено залежності величини $\eta_{coat} / \eta_{clin}$, яка представляє відношення значень ефективності ребер різного типу за наявності покриття η_{coat} і за його відсутності η_{clin} , тобто для «чистих» ребер. Розрахункові дані отримані при різних значення числа Bi_2 для покриття і заданому значенні параметрів $\psi_{Bi} = 0,04$, $X_2 / X_1 = 1,5$ (для кільцевого ребра). Як випливає з рис. 2, покриття з малою тепловою провідністю за інших рівних умов має найбільший вплив на величину теплової ефективності η для кільцевих ребер, а найменший – для повздовжніх ребер.

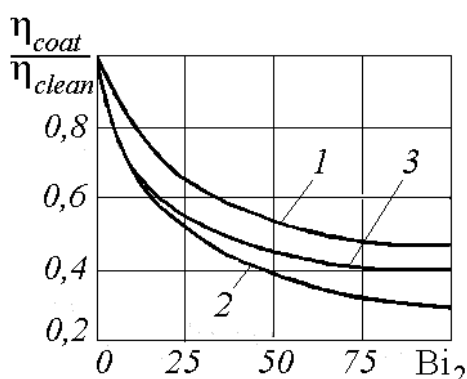


Рис. 2. Залежність $\eta_{coat} / \eta_{clin}$ від числа Био покриття Bi_2 для ребер різного типу при $\psi_{Bi} = 0,04$:

1 – повздовжнє ребро; 2 – кільцеве ребро; 3 – циліндричний шип

Висновки

1. Отримано двовимірні розв'язки задач теплопереносу та визначено теплову ефективність повздовжніх ребер, кільцевих ребер і круглих шипів за наявності рівномірного покриття на їх поверхні.

2. Визначено вплив форми ребер на теплову ефективність ребер із покриттям і проведено порівняння результатів розрахунку для ребер із покриттями і «чистих» ребер.

Список літератури

1. Керн Д. Развитие поверхности теплообмена / Д. Керн, А. Краус. – М. : Энергия, 1977. – 452 с.
2. Barker J.J. The efficiency of the composite fins / J.J. Barker // Nucl. Sci. Eng. – 1958. – V. 3. – P. 300–312.
3. Feijoo I. Heat transfer in the composite solids with heat generations / I. Feijoo, H.T. Davis, D. Ramkrishna // J. Heat Transfer. – 1979. – V. 101. – P. 137–143.

4. Huang S.C. Heat conduction in unsteady, periodic, and steady state in laminated composites / S.C. Huang, Y.P. Chang // J. Heat Transfer. – 1980. – V. 102. – P. 742–748.
5. Горобец В. Г. Влияние отложений прямоугольного профиля на тепловую эффективность продольного ребра / В. Г. Горобец, Н. В. Зозуля, В. С. Новиков // Инженерно-физический журнал. – 1982. – Т. 42, № 6. – С. 820–824.
6. Chu H. Transient response of a composite straight fin / H. Chu, C. Weng, C. Chen // J. Heat Transfer. – 1983. – V. 105. – P. 307–311.
7. Ghoshdastidar P.S. Transient heat transfer from a straight composite fin; f numerical solution by ADI / P.S. Ghoshdastidar, A. Mukhopadhyay // Int. Comm. Heat Mass Transfer. – 1989. – V. 19. – P. 257.
8. Mokheimer E.M.A. Analytical and numerical solution along with PC spread-sheets modeling for a composite fin / E/M/A/ Mokheimer, M.A. Antar, J. Farooqi, S.M. Zurair // Heat Mass Transfer. – 1997. – V. 32. – P. 229–238.
9. Lalot S. Fin efficiency of annular fins made of two materials / S. Lalot, C. Tournier, V. Jensen // Int. Journ. Heat Mass Transfer. – 1999. – V. 42, N18. – P. 3461–3468.
10. Xia Y. An exact solution to steady heat condition in a two-dimensional slab on a one-dimensional fin: application to frosted heat exchangers / Y. Xia, A.M. Jacobi // Int. J. Heat Mass Transfer – 2004. – V. 47. – P. 3317–3326.
11. Кошляков И. С. Уравнения в частных производных математической физики / И.С. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов – М. : Высшая школа, 1970. – 707 с.



В. Г. Горобец

Аннотация. Приведена методика расчета процессов теплопереноса для ребер различного типа (продольных ребер, кольцевых ребер и шипов) при наличии на их поверхности защитных или загрязняющих покрытий. Найдены температурные распределения и тепловая эффективность ребер и проанализировано влияние геометрической формы ребер на их тепловые характеристики.

Ключевые слова: *ребро, покрытие, распределение температур, тепловая эффективность*

THERMAL EFFICIENCY OF FINS DIFFERENT TYPE WITH COATING ON HEAT TRANSFER SURFACES

V. Gorobets

Annotation. The paper shows the method of calculating heat transfer processes for different types of fins (longitudinal fins, circular fins and ribs) in the presence of their protective surface coatings or contaminants. It is found the temperature distributions and thermal efficiency of fins and the influence of geometry of fins on their thermal characteristics.

Key words: *fin, coating, temperature distribution, thermal efficiency*

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ЗАМКНЕНИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

А. І. Чміль, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розроблено енергозберігаючу та природоохоронну технологію обробки й утилізації тваринницьких відходів із максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію.

Ключові слова: енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, утилізація тваринницьких відходів

Взаємовідносини людини з природою в процесі виробництва різко ускладнюються. Безперервно зростаючий обмін речовин та енергії, що виявляється в розширеному використанні природних ресурсів і збільшенні тваринницьких та інших видів відходів, які повертаються в навколишнє середовище, значно підсилює загальну дію сільськогосподарського виробництва на природу. Здатність же природи до природного відтворення інтенсивно використовуваних ресурсів та самоочищення від забруднення є обмеженою. Тому проблема запобігання забрудненню природного середовища тваринницькими відходами визначає необхідність створення ЗЕБС, як екологічно замкнених виробничих структур, здатних "вписуватись" у рівноважну систему природного середовища з мінімальними збитками для неї.

Виходячи з екологічних, енергетичних та санітарно-ветеринарних вимог, розроблено інтегровану енергозберігаючу й природоохоронну технологію утилізації органічної маси тваринницьких комплексів і птахофабрик [1].

Мета досліджень – розробка енергозберігаючої та екологічнобезпечної технології обробки й утилізації тваринницьких відходів.

Матеріали та методика досліджень. Суть інтегрованої системи полягає в комбінованій біоконверсії органічних відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи є сировиною, з метою отримання добрив, кормів і палива, інтенсифікації процесу біодеградації, повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах, захисту навколишнього природного середовища та запобігання поширенню епідемій.

Результати досліджень. На першому етапі обробка органічних відходів здійснюється за анаеробних умов у біоенергетичній установці (БЕУ). Це дає змогу отримати біогаз, який на 2/3 складається з метану, калорійністю 20–24 МДж/м³, і може бути використаний не тільки для задоволення власних

енергетичних потреб, але і як паливо для теплоенергетичних потреб тваринницького підприємства. Крім того, знижується загальна мікробна забрудненість, гинуть яйця гельмінтів, втрачає схожість насіння бур'янів, а втрати азоту при цьому не перевищують 5 %.

Для нормального протікання процесу анаеробного розкладання тваринницьких відходів необхідно створити оптимальні умови життєдіяльності бактерій, на які впливають такі фактори: властивість сировини, температура субстрату, концентрація живильних речовин, рН-середовища, анаеробні умови, тривалість зброджування, спосіб та ефективність перемішування субстрату.

Як відомо, метан утворюється в результаті життєдіяльності двох основних груп мікроорганізмів: кислотоутворюючих і метаноутворюючих. На першій стадії кислотоутворюючі (гідролітичні) бактерії перетворюють складні органічні сполуки (білки, ліпіди, полісахариди тощо) у жирні кислоти з виділенням гідролізного газу, який складається переважно з вуглекислого газу й сірководню.

Таким чином, для того щоб зробити процес більш ефективним і економічним, ферментацію в БЕУ бажано здійснювати у дві стадії. Це уможливить підтримання оптимальних умов для кожної групи мікроорганізмів, а також отримання біогазу, який складається на 80% з метану (порівняно з 70 % в одностадійній БЕУ).

Одним із важливих факторів процесу ферментації є температурний режим, найбільш поширеним з яких є мезофільний і термофільний. Більш продуктивним є термофільний процес, проте він потребує значних витрат енергії на підтримання оптимальної температури, що значно здорожчує процес ферментації. З іншого боку, саме термофільний режим зброджування дає можливість після 2–3-добової ферментації зменшити загальну кількість бактерій у тваринницьких стоках на 4 порядки, тоді як у мезофільному режимі навіть після 2-місячної ферментації – лише на 2 порядки. Втрата схожості насіння бур'янів у термофільному режимі відбувається за 1–2 доби, а в мезофільному – за 3–4 тижні. Тому на першій стадії ферментація в БЕУ здійснюється в термофільному режимі протягом 36–48 год, а на другій стадії – у мезофільному режимі – протягом 6–7 діб.

Щоб отримати необхідну для процесу ферментації температуру, потрібно підігрівати субстрат, що подається в метантенк, до температури зброджування і потім підтримувати її на постійному рівні за допомогою системи термостабілізації.

Найбільша частина енергії у вигляді теплоти (75–80 %) потрібна для нагрівання субстрату до температури ферментації. Тому для підвищення ефективності роботи БЕУ використано рекуперативний теплообмінник, який дає змогу утилізувати до 50 % теплоти ефлюента для нагрівання субстрату, що надходить на перший ступінь БЕУ.

У результаті проведених досліджень було визначено такі технологічні параметри БЕУ:

- температура ферментації:
- на першому ступені – 52–54 °C;

- на другому ступені – 32–35 °C;
- вологість субстрату – 90–92 %;
- добова доза завантаження 10–12 %;
- активна реакція субстрату – 6,8–7,3;
- ступінь розкладання органічної речовини – 40–50 %;
- вихід біогазу – 500–1000 м³/т а.с.р.;
- доля метану в газі – 75–80 %.

Оскільки після анаеробної ферментації органічна маса відходів розкладається лише на 40–50 %, її необхідно також утилізувати, що й здійснюється після розкладання ефлюента на тверду й рідку фракції.

На другому етапі тверда фракція використовується для вермикультивування – промислового вирощування дощових черв'яків на відкритих ділянках або в закритих приміщеннях.

Для культивування за штучних умов найбільшої уваги заслуговує черв'як виду *Eisenia foetida*, який найкраще пристосований до життя в неволі, відрізняється коротким періодом дозрівання та високою плодючістю. Основною небезпекою для нього є можливість отруєння надмірною концентрацією протеїну в органічній речовині при незакінченій його ферментації.

Відомий біологічний спосіб переробки за допомогою вермикультури органічних відходів та отриманням біогумусу і біомаси черв'яків, де органічні відходи попередньо було піддано ферментації в бурті, тривалість якої залежала від виду відходів та їх фізико-хімічних властивостей (2–15 міс.). Відомий також спосіб прискореного процесу ферментації. Для цього в бурт закладають повітропровід, через який здійснюється аерація субстрату. При цьому органічні відходи нагріваються до температури 60–70 °C і процес ферментації скорочується до 30 днів. Недоліком обох способів є тривалий період ферментації органічних відходів. Якщо ж зброджування здійснювати в БЕУ, то процес ферментації зменшується до 7 днів.

Перероблений субстрат (біогумус) являє собою, в основному, копроліти дощових черв'яків, скріплених слизовими виділеннями шлунку, містить усі необхідні рослині елементи живлення, а також біологічно активні речовини, що стимулюють ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Дані ряду досліджень свідчать, що біогумус може бути рекомендований під усі сільськогосподарські культури, проте найбільш доцільно його застосовувати в овочівництві, де він забезпечує прибавку врожаю капусти, томатів і перцю до 40 % і виключає накопичення нітратів і важких металів у продукції. Крім того, біогумус має здатність зв'язувати радіонукліди, що знаходяться в ґрунті та органічних відходах. Важливе значення мають і самі черв'яки, в організмі яких міститься 61–71 % протеїну, і які можуть бути використані у тваринництві, птахівництві й рибництві, а також як сировина для фармакологічної та парфюмерної промисловості.

На третьому етапі рідка фракція ефлюента БЕУ використовується для культивування мікроводоростей, таких як хлорела, спіруліна, сценедесмус тощо. За умов достатнього азотного живлення

мікробіодорості містять понад 50% протеїну з набором незамінних амінокислот, 30–35 % вуглеводнів, 7–10 % жиру, вітаміни С, групи В, каротин, антибіотики та мікроелементи. Встановлено також, що спіруліна виводить із організму важкі метали та радіонукліди.

У господарствах України вже тривалий час дефіцит протеїну в раціонах тварин становить 25–30 % від потреби, або близько 1,5–1,8 млн т щорічно і через це не добирається приблизно 32% продукції тваринництва. За допомогою мікробіодоростей можна частково вирішити білкову проблему. Мікробіодорості інтенсивно розвиваються при створенні їм відповідних умов – певних значень температури суспензії, інтенсивності оптичного опромінення, концентрації біомаси в суспензії, складу й концентрації живильного середовища та концентрації вуглекислого газу в повітрі, що подається в культуру.

Визначальною умовою підвищення продуктивності мікробіодоростей є ефективність використання оптичного випромінювання, що забезпечує протікання в клітинах фізіологічних процесів і, перш за все, фотосинтезу. Оскільки суспензія мікробіодоростей являє собою завись світлорозсіюючих, селективно поглинаючих клітин, то зі збільшенням глибини культиватора й густини біомаси відбувається значне падіння оптичної опроміненості, і нижні шари суспензії практично не беруть участі в процесі фотосинтезу.

З метою підвищення продуктивності установки дня вирощування мікробіодоростей, ми запропонували культиватор глибинного типу із зануреними рухомими джерелами оптичного опромінення. Технологічну схему запропонованої інтегрованої системи обробки і утилізації (ICOY) органічних відходів у паливо, добрива і корми наведено на рис. 1.

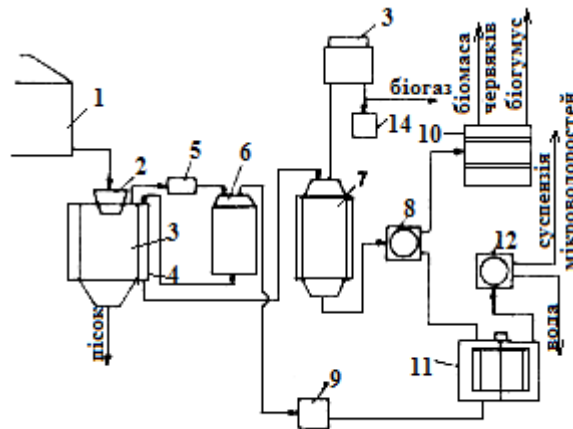


Рис. 1. Технологічна схема ICOY органічних відходів у паливо, добрива і корми: 1 – тваринницьке приміщення; 2 – подрібнювач-відокремлювач; 3 – накопичувач; 4,5 – теплообмінники; 6 – перший ступінь БЕУ; 7 – другий ступінь БЕУ; 8 – фільтр; 9, 12 – центрифуга; 10 – вермикультиватор; 11 – культиватор водоростей; 13 – газгольдер; 14 – газовий водонагрівач

З тваринницького приміщення 1 відходи (фекалії, вода, рештки корму, шерсть, пір'я, пісок тощо) вологістю 86–90 % через подрібнювач 2 надходять у накопичувач 3, де здійснюється відокремлення органічної маси від піску та інших сторонніх предметів. Тут же проходить підігрів відходів, що надійшли, за рахунок рекуперативного теплообмінника 4, що дає змогу утилізувати теплоту суспензії після першого ступеня БЕУ. Після цього органічні відходи йдуть на перший ступінь 6 двоступінчастої БЕУ, попередньо проходячи через теплообмінник 5, де здійснюється доведення субстрату до температури ферментації. На цій стадії утворюється гідролізний газ, який використовується як джерело вуглекислого газу після очищення його від сірководню у фільтрі 8. Після витримування субстрату в першому ступені БЕУ протягом 36–48 год за температури

Схему енергетичних потоків ІСОУ тваринницьких відходів, побудовану на основі схем енергетичного балансу БЕУ, культиватора мікродоростей і вермикультиваційної установки, наведено на рис. 2.

Виходячи зі схем енергетичних потоків, представимо коефіцієнт біоенергетичної ефективності ІСОУ таким чином:

$$\eta_{\text{заг}}^{\text{ІСОУ}} = \frac{E_{\text{Б}} + E_{\text{БГ}} + E_{\text{Б*}} + E_{\text{МК}}}{E_{\text{заг}}^{\text{БЕУ}} + E_{\text{заг}}^{\text{ВК}} + E_{\text{заг}}^{\text{КМ}}} \quad \eta_{\text{БЕЕ}}^{\text{ІСОУ}} =$$

Підставляючи в рівняння числові значення, отримаємо 1,046, що свідчить про енергетичну ефективність ІСОУ тваринницьких відходів.

Екологічна ефективність залежить від глибини утилізації органічних відходів, яка може бути визначена за формулою:

$$E = \frac{L_o + L_t}{L_o}$$

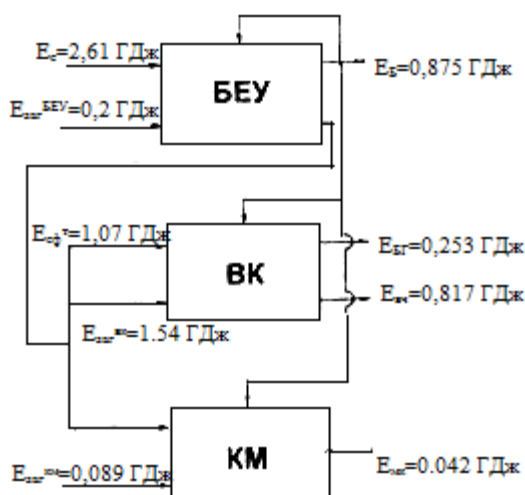


Рис. 2. Схема енергетичних потоків ІСОУ тваринницьких відходів

де E – глибина утилізації органічних відходів;

L_o – концентрація забруднення на вході, г/л;

L_o – концентрація забруднення на виході, г/л.

У таблиці наведено показники ІСОУ тваринницьких відходів відгодівельного комплексу ВРХ.

Показники роботи інтегрованої системи обробки та утилізації тваринницьких відходів

Показник	На вході тваринницького комплексу	На виході БЕУ	На виході КМ	Глибина утилізації ІСОУ
РН	7,0	7,2	7,5	-
БПК5, мг/л	2380	586	154	0,93
ХПК, мг/л	5680	1286	320	0,94
Кількість мікроорганізмів, млн/мл	85	12	0,15	-

Як видно з таблиці, глибина утилізації ІСОУ за ХПК дорівнює 0,94, а за БПК₅ – 0,93, що свідчить про високу екологічну ефективність запропонованої системи обробки та утилізації тваринницьких відходів.

Висновки

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено енергозберігаючу та природоохоронну технологію обробки й утилізації тваринницьких відходів із максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію, яка полягає в комбінованій обробці відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи служать сировиною, з метою отримання органічних добрив, корму й палива, інтенсифікації процесу біоконверсії та можливості повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах.

Список літератури

1. Чміль А. І. Енергетична ефективність і екологічна безпека замкнутих еколого-біотехнічних систем в тваринництві / А. І. Чміль : монографія. – К. : Компрінт, 2015. – 163 с.
2. Чміль А. І. Дослідження енергетичної досконалості біотехнічних систем у тваринництві / А. І. Чміль // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 58–63.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЗАМКНУТЫХ ЭКОЛОГО-БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

А. И. Чмил

Аннотация. Разработана энергосберегающая и природоохранная технология обработки и утилизации животноводческих отходов с максимальным коэффициентом переноса энергии на животноводческую продукцию.

Ключевые слова: энергосбережение, электрифицированные технологии, экология, утилизация животноводческих отходов

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CLOSED ECOLOGICAL AND BIOTECHNICAL SYSTEMS IN LIVESTOCK

A. Chmil

Annotation. Research energy saving and environmental protection technology of processing and disposal of animal waste with a maximum energy transfer factor for livestock products .

Key words: energy, electrical technology, ecology, disposal of animal waste

ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОЗИ ОБРОБКИ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА БІОПОТЕНЦІАЛ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

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

Анотація. *Наведено результати досліджень впливу енергетичної дози обробки в магнітному полі на біопотенціал насіння зернових та овочевих культур. Встановлено залежності біопотенціалу пророслого насіння від енергетичної дози обробки. Визначено оптимальний режим обробки.*

Ключові слова: *магнітна індукція, швидкість, біопотенціал, доза обробки, ячмінь, огірок*

Передпосівна обробка насіння в магнітному полі – перспективна енерго- й ресурсозберігаюча технологія, яка дає змогу підвищити врожайність сільськогосподарських культур, зменшити захворюваність рослин та поліпшити якість товарної продукції [1].

Загальним недоліком існуючих методів електромагнітної стимуляції є відсутність інструментального визначення енергетичної дози обробки. Її оптимальне значення визначають за врожайністю сільськогосподарських культур, яка значною мірою залежить від агрокліматичних факторів, родючості ґрунтів, застосовуваної технології вирощування тощо [2].

Тому при визначенні оптимальних режимів магнітної обробки важливим питанням є індикація її ефекту, яке потребує наукового обґрунтування й вирішення [3]. Для цього найдоцільніше використовувати потенціометричний метод вимірювання біопотенціалу рослин.

Мета досліджень – встановлення впливу енергетичної дози обробки насіння в магнітному полі на зміну його біопотенціалу.

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

Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, створюване чотирма парами постійних магнітів із інтерметалічного композиту NdFeB, встановленими паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю. Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0–0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху насіння через магнітне поле змінювали в межах 0,4–0,8 м/с за допомогою перетворювача частоти Delta VFD004EL43A.

Оброблене в магнітному полі насіння пророщували за ГОСТом 10968-88 і ГОСТом 12038-84 [4, 5].

Біопотенціал паростків огірка та ячменю вимірювали іономіром И-160М в комплекті з вимірювальним електродом, виконаним з платинової пластини із загостреним кінцем, і допоміжним хлорсрібним електродом.

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

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

$$E_{nm} = \frac{\mu(v_n + KB)^2}{2} - \frac{\mu v_n^2}{2} = \frac{\mu(K^2 B^2 + 2KBv_n)}{2}, \quad (1)$$

де μ – зведена маса іонів, кг;

v_n – нормальна складова швидкості руху іона, м/с;

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

B – магнітна індукція, Тл.

Тому в хімічну реакцію вступатимуть іони зі швидкістю, меншою за критичне значення, що викликає зростання швидкості хімічної реакції ω_m [6]:

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

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

v – швидкість руху іонів, м/с;

N_a – число Авогадро, молекул/моль;

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

T – температура, К.

Зростання швидкості хімічних реакцій та розчинності солей і кислот, що знаходяться в рослинній клітині, при обробці насіння в магнітному полі призводить до зміни його окислювально-відновного потенціалу (ОВП), який визначається за рівнянням Нернста [7]:

$$\Delta\varphi = S_t (\lg fC_2 - \lg fC_1) = S_t (\lg \omega_2 - \lg \omega_1), \quad (3)$$

де S_t – 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.

Крутість електродної характеристики визначається за формулою [7]:

$$S_t = 2,3 \frac{RT}{zF}, \quad (4)$$

де z – валентність іона;

F – число Фарадея, Кл/моль.

Тоді зміна ОВП з урахуванням (2) становитиме:

$$\Delta\varphi = \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right) \quad (5)$$

Біопотенціал визначають за формулою:

$$БП = 820 - ОВП. \quad (6)$$

Тоді зміна біопотенціалу становитиме:

$$\Delta БП = -\frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right) \quad (7)$$

Проведені експериментальні дослідження дали змогу встановити вплив енергетичної дози обробки на зміну біопотенціалу насіння зернових і овочевих культур.

Енергетичну дозу обробки визначали за формулою:

$$D = \int \frac{W}{m} dt = \int \frac{w}{\rho} dt, \quad (8)$$

де W – енергія магнітного поля, Дж;

t – час обробки, с;

m – маса насіння, кг;

w – густина магнітного поля, Дж/м³;

ρ – густина насіння, кг/м³.

Виконавши заміну dt на dl , отримаємо:

$$D = \int \frac{w}{\rho v} dl, \quad (9)$$

де l – шлях, який проходить насіння в магнітному полі при обробці, м.

Магнітна індукція змінюється під час руху насіння в магнітному полі. Експериментально встановлену залежність зміни магнітної індукції вздовж стрічки транспортера показано на рис. 1.

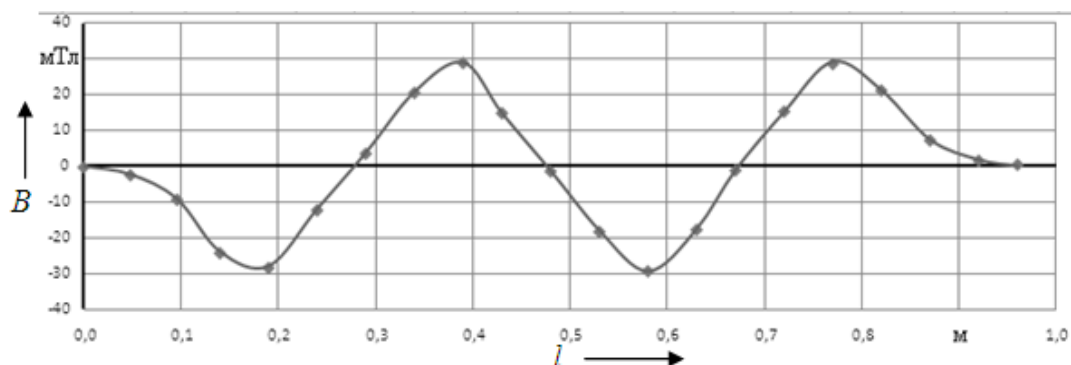


Рис. 1. Зміна магнітної індукції в центрі повітряного зазору уздовж осі транспортера при $B_m = 30$ мТл

Використовуючи цю залежність, можна визначити енергетичну дозу обробки насіння в магнітному полі:

$$D = \int \frac{B^2}{2\mu\mu_0\rho v} dl = \frac{B_m^2 l}{6\mu\mu_0\rho v}, \quad (10)$$

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

Як впливає з (10), енергетична доза обробки насіння в магнітному полі прямо пропорційна квадрату магнітної індукції та обернено пропорційна швидкості руху стрічки транспортера.

Встановлено взаємозв'язок між енергетичною дозою обробки і біопотенціалом насіння. Залежність зміни біопотенціалу пророслого насіння від енергетичної дози обробки наведено на рис. 2. Як впливає з цієї залежності, найбільша зміна біопотенціалу паростків ячменю має місце при енергетичній дозі обробки 2,22 Дж·с/кг, яка відповідає магнітній індукції 65 мТл і швидкості стрічки транспортера 0,4 м / с, а огірка – 2,02 Дж·с/кг.

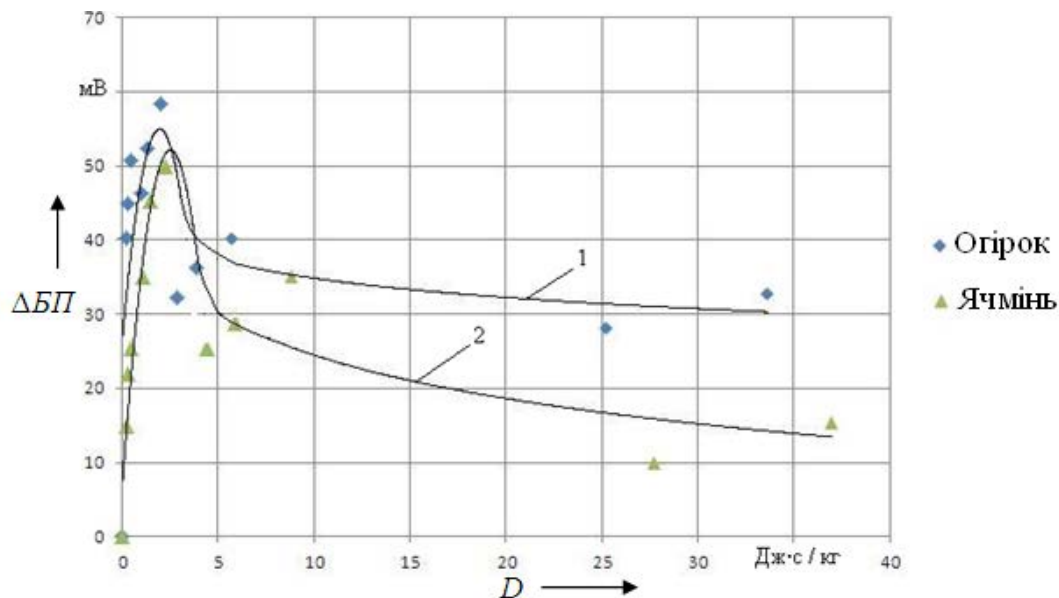


Рис. 2. Залежність зміни біопотенціалу насіння огірка (1) і ячменю (2) від енергетичної дози обробки в магнітному полі

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

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що зміна біопотенціалу насіння залежить від енергетичної дози його обробки в магнітному полі. Оптимальний режим передпосівної обробки насіння в магнітному полі має місце в діапазоні енергетичної дози обробки 1,5–2,5 Дж·с/кг, при магнітній індукції 65 мТл, чотирикратному перемагнічуванні й швидкості руху стрічки транспортера 0,4 м/с.

Список літератури

1. Кутис С. Д. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян / С. Д. Кутис, Т. Л. Кутис, Е. З. Гак // Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе. Ч. 2. – М., 1989. – С. 35–36.
2. Проектирование комплексной электрификации / [Л. Г. Прищеп, А. П. Якименко, Л. В. Шаповалов и др.] ; под ред. Л. Г. Прищеп. – М. : Колос, 1983. – 271 с.
3. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – [2-е изд.]. – М. : Химия, 1982. – 296 с.
4. Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания : ГОСТ 10968-88. – [Введен 1988-07-01]. – М. : Стандартиформ, 2009. – 4 с.
5. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: ГОСТ 12038-84. – [Введен 1986-07-01]. – М. : Стандартиформ, 2011. – 64 с.
6. 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.
7. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство / [Б. П. Никольский, Н. А. Смирнова, М. Ю. Панов и др.] ; под ред. акад. Б. П. Никольского. – Л. : Химия, 1987. – 880 с.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ ОБРАБОТКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА БИОПОТЕНЦИАЛ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. В. Савченко, А. Ю. Синявский

Аннотация. *Приведены результаты исследований влияния энергетической дозы обработки в магнитном поле на биопотенциал семян зерновых и овощных культур. Установлены зависимости биопотенциала проросших семян от энергетической дозы обработки. Определен оптимальный режим обработки.*

Ключевые слова: *магнитная индукция, скорость, биопотенциал, доза обработки, ячмень, огурец*

EFFECT OF ENERGY DOSE OF TREATMENT IN A MAGNETIC FIELD ON BIOPOTENTIAL OF SEEDS OF AGRICULTURAL CROPS

V. Savchenko A. Sinyavsky

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

Key words: *magnetic induction, speed, biopotential, treatment dose, barley, cucumber*

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

С. А. Шворов, доктор технічних наук
Д. С. Комарчук, кандидат технічних наук
П. Г. Охріменко, аспірант*
П. В. Іванов, студент
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто модель системи керування електротехнічним комплексом біогазової установки та методи підвищення ефективності метанотворення при анаеробному зброджуванні біомаси. Проведено дослідження з дозування органічної сировини та її попередньої обробки.

Ключові слова: *інтенсифікація, біогаз, метантенк, біомаса, анаеробне бродіння*

Однією з найважливіших соціальних задач всепланетного масштабу є збереження й поліпшення навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку. Водночас, особливо актуальним на сьогодні є питання енергетичного суверенітету України. Одним із перспективних шляхів вирішення проблеми виходу з енергетичної кризи є залучення до паливно-енергетичного балансу України відновлюваних джерел енергії, зокрема біотрансформації відходів у біогаз [1–4].

Мета досліджень – розробка моделі системи керування електротехнічним комплексом біогазової установки та обґрунтування параметрів інтенсифікації анаеробного бродіння в мінібіореакторах.

Матеріали та методика досліджень. Найбільшими запасами біомаси в Україні є солома, гній, вторинні відходи та деревина. На рис. 1 наведено гістограму енергетичного потенціалу запасів біомаси в Україні. Під теоретичним енергетичним потенціалом розуміється кількість біомаси, яка утворюється на території України, а під технічним потенціалом – біомаса, яку можна використати, враховуючи технічні можливості та економічну доцільність. З рис. 1 видно, що найбільший енергетичний потенціал мають енергетичні рослини, що вирощуються задля отримання енергії. Також, незважаючи на порівняно низькі значення потенціалу відходів сільського господарства, необхідність їх утилізації робить використання даного виду біомаси доцільним.

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

© С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охріменко, П. В. Іванов, 2016

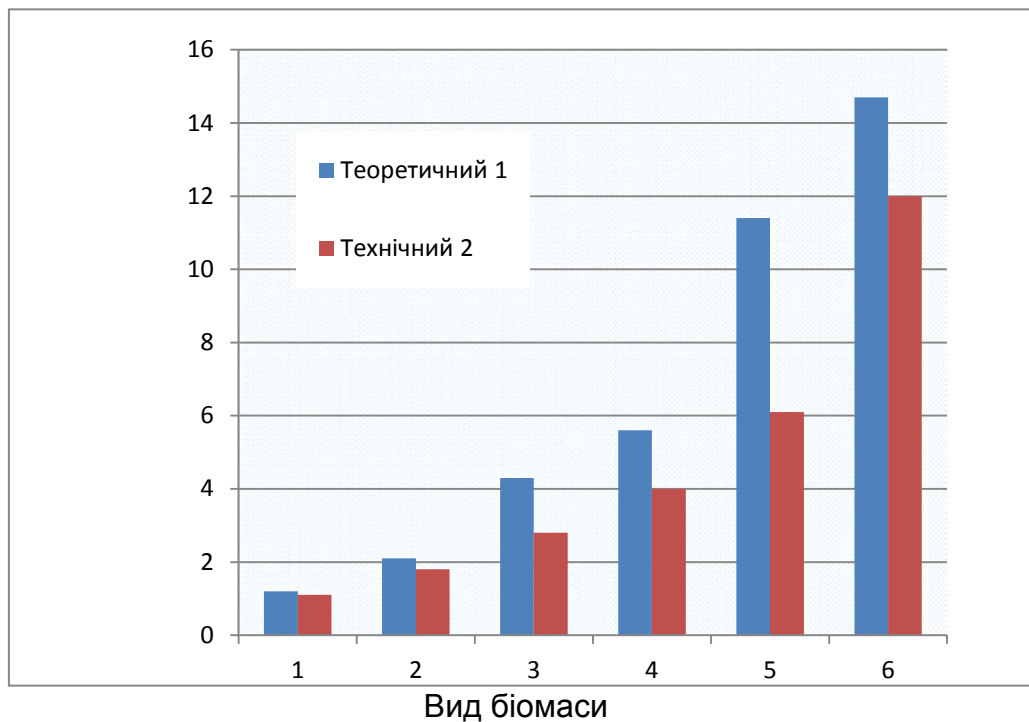


Рис. 1. Потенціальні запаси біомаси в Україні:

1 – первинні відходи сільського господарства; 2 – деревна біомаса; 3 – відходи виробництв соняшників; 4 – вторинні відходи сільського господарства; 5 – солома; 6 – енергетичні рослини

Перевагами анаеробного методу утилізації відходів є низька енерговитратність, висока продуктивність, одержання метану як енергоносія, утворення незначної кількості зброженого осаду, що може бути використаний в якості добрива, невеликі площі для споруд. Недоліками сучасних технологій біоенергетичної утилізації відходів у метантенках є: неефективний процес біотрансформації відходів у біогаз, недостатньо високий рівень метану в біогазі, значна тривалість бродіння, зниження виходу біогазу при лімітуванні біогенних елементів у субстраті.

У перспективних багатомодульних біогазових установках (БГУ) інтенсифікація процесів зброджування буде здійснюватися оптимальним дозуванням та деструкційною (кавітаційною) обробкою різних видів сировини, оптимальним підігріванням і перемішуванням завантаженого субстрату (рис. 2).

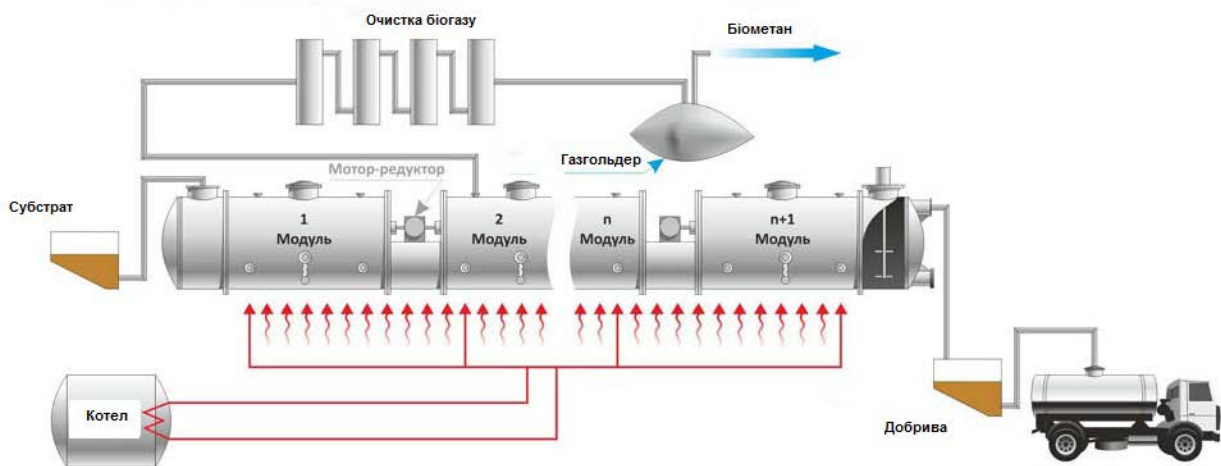


Рис. 2. Багатомодульна БГУ

Перемішування осаду в резервуарах мініметантенків із оптимальною інтенсивністю забезпечує ефективне використання всього об'єму резервуару, виключає утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля та поліпшенню газоутворення.

Термофільне бродіння відходів також сприяє інтенсифікації технологічного процесу. При цьому збільшується завантаження метантенка, а, відповідно, й вихід кінцевого продукту (до 2-х разів).

Інтенсифікація біоенергетичної утилізації приводить не лише до збільшення виходу біогазу, але й до значного зменшення площі, що займають ці споруди. Такі процеси потребують продуктивного управління складними системами метанового бродіння та побудови спеціальної системи керування (СК) електротехнічним комплексом (ЕТК) БГУ.

Результати досліджень. У загальному випадку постановка задачі побудови моделі СК зводиться до наступного: необхідно знайти з множини можливих варіантів такий варіант побудови СК, за якого забезпечується отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив при заданій вартості вхідної біомаси та ензимів (C). При цьому передбачається, що керування БГУ являє собою керований N -етапний динамічний процес, який на кожному (n -му) етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування (ПК) – D_n (об'ємом завантаження кожного виду ензимів та біомаси, ступенем їх кавітації, температурою субстрату в кожному модулі та ін.) і параметрами стану W_n (об'ємом отриманого біогазу та добрив на n -му етапі функціонування БГУ) [4-7]. Як обмеження виступає вартість вхідного субстрату (C). Кінцевою метою керування БГУ – $W_N(D)$ є отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив.

Тоді цільова функція розв'язання задачі адаптивного керування електротехнічним комплексом БГУ може бути подана у вигляді

$$W_N(D) = \max, \quad (1)$$

$$\text{при } C_N \leq C, \quad (2)$$

де C_N – витрати сировини та ензимів протягом всіх етапів функціонування БГУ.

Під час роботи електротехнічного комплексу процес функціонування БГУ може бути розбитий на N часових інтервалів (етапів, кроків), на кожному з яких використовується свій набір параметрів керування (D_n).

Застосування на кожному етапі визначеного набору ПК є керованим впливом на ЕТК як на об'єкт керування, що змінює його параметри стану, тобто показники якості роботи ЕТК $\{U_i\}$. Керування в такому ЕТК має дискретний характер, задається в момент часу $\partial = \frac{(n-1)T}{N}$, $n = \overline{1, N}$ і залишається незмінним у межах кожного етапу (кроку), якщо робота ЕТК проходить згідно з оптимальним планом. Максимальна кількість інтервалів (N) керування ЕТК залежить від мінімального інтервалу управляючих впливів на ЕТК ($\min \Delta t D_{j \min}$) і визначається за формулою

$$N = \frac{T}{\min \Delta t D_{j \min}}. \quad (3)$$

За такого підходу опис усього керованого багатокрокового процесу функціонування ЕТК БГУ може бути поданий у вигляді:

$$\begin{aligned} U(n+1) &= Q(U(n), D(n), n), \\ n &= 0, 1, \dots, N-1; \quad u(0) = u^0, \end{aligned} \quad (4)$$

де $U(n) = (U_1(n), \dots, U_i(n), \dots, U_r(n))$ – значення показників якості роботи ЕТК, що характеризують об'єм виходу біометану та органічних добрив на момент часу n ;

r – число показників, необхідних для оцінки якості роботи ЕТК;

$D(n) = D_1(n), \dots, D_j(n)$ – послідовність управляючих впливів (ПК) на n -му інтервалі роботи БГУ;

$Q(u, D, n)$ – вектор-функція, тобто $Q = (Q_1, \dots, Q_n)$;

$u(0)$ – значення показників якості ЕТК на початку роботи БГУ.

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція (1) може бути подана сумою

$$W_N(D) = \frac{1}{T} \int_0^{T/N} F_1[u_0(t), D_1(t)] dt + \frac{1}{T} \int_{T/N}^{2T/N} F_2[u_1(t), D_2(t)] dt + \\ + \frac{1}{T} \int_{\frac{T(N-1)}{N}}^T F_N[u_{N-1}(t), D_N(t)] dt = \max$$

$$\text{або} \quad W_N(D) = \sum_{n=1}^N G_n[D_n] = \frac{1}{KN} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K F_k[u(n-1), D(n)] = \max, \quad (5)$$

де $G_n[D_n]$ – значення цільової функції на n -ому етапі;

$$F_k = \begin{cases} 1, & \text{при } u_{ik} \in U_T, \\ 0, & \text{при } u_{ik} \notin U_T, \end{cases}$$

u_{ik} – значення i -го показника якості роботи ЕТК на момент часу k ;

$$k = 1, \dots, K; \quad K = \frac{n}{h};$$

h – інтервал дискретизації n -го етапу процесу функціонування БГУ;

U_T – множина нормативних (оптимальних) значень показників якості роботи ЕТК БГУ.

Задача максимізації функціоналу (5) при обмеженні (2) є загальною задачею оптимального керування об'єктом з дискретним часом.

Вибір методу розв'язання задачі оптимізації пов'язаний, насамперед, із особливостями процесу функціонування ЕТК. До таких особливостей, як показує аналіз, належать: процес, який представляє собою функціонування дискретної динамічної керованої системи; змінні U_n і D_n у функціоналі (5) є багатомірними; самі рівняння (4) є векторними; вид функції, що оптимізується – невідомий.

Таким чином, розв'язання даної задачі можна представити як задачу пошуку оптимального режиму функціонування ЕТК БГУ в динамічних дискретних керованих системах.

Специфіка цієї задачі, порівняно із загальною задачею нелінійного програмування, полягає в тому, що існує дві групи невідомих змінних: $U(n)$, $n = 0, 1, \dots, N$, і $D(n)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$.

Якщо ввести нові змінні $h = (U(0), \dots, U(N), D(0), \dots, D(N-1))$, то в цих змінних задача перетворюється в загальну задачу нелінійного програмування. У тому випадку, коли $G_n(D_n)$ – опуклі (або увігнуті) функції, її розв'язання можна знайти, наприклад, методом невизначених множників Лагранжа. Якщо ж функції $G_n(D_n)$ не є такими, то відомі методи знаходження розв'язання задач нелінійного програмування не дають змоги визначити глобальний максимум функції (5). Тоді розв'язання задачі (5) можна знайти за допомогою методу динамічного програмування, основною перевагою якого є те, що він не залежить від виду функції

$G_n(D_n)$ і добре пристосований до розв'язання багатоетапних або багатокрокових задач [5].

Для дослідження роботи системи керування ЕТК розроблено функціональну схему лабораторної установки багатомодульної БГУ. В ній передбачено завантаження різних видів ензимів та сировини (після її кавітації), підтримка постійної температури, наявність ємностей для накопичення газу, який виділяється (рис. 3).

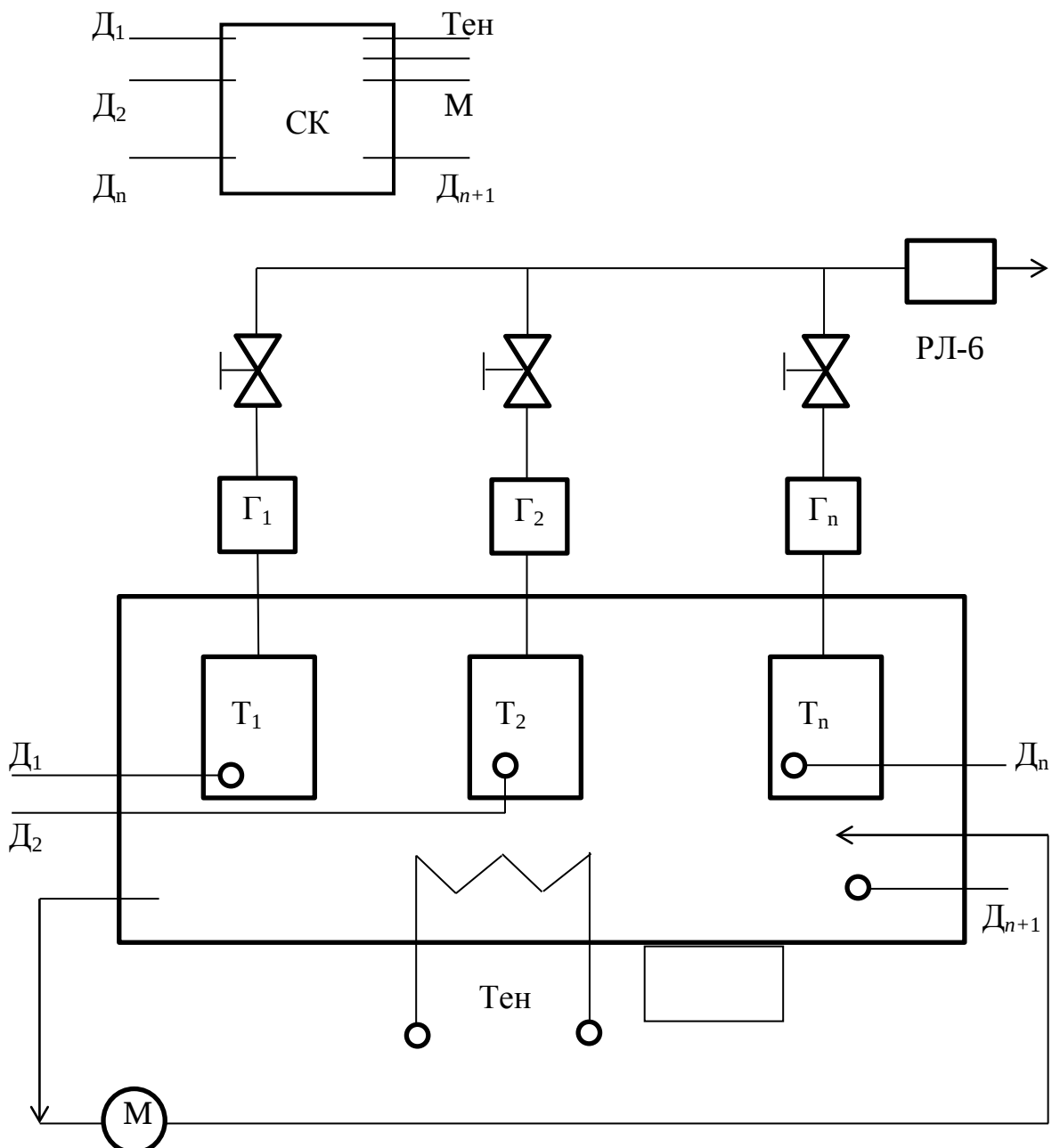


Рис. 3. Функціональна схема дослідження виходу біогазу із субстратів та ензимів різного складу:

$T_1...T_n$ – метантенки; $D_1...D_{n+1}$ – датчики температури (DS18B20); $\Gamma_1... \Gamma_n$ – газгольдини; М – циркуляційний насос нагрівної рідини; РЛ-6 – газовий лічильник; СК – система керування

Дослідження проведені на лабораторній біогазовій установці, яка складається з трьох метантенків об'ємом по 15 дм³. У кожному метантенку розміщений датчик температури субстрату. Динаміка та вихід продукції реєструвалися газовим лічильником РЛ-6. Температурний режим – термофільний (45 °С), підтримувався за допомогою системи автоматичного керування на основі 1-wire шини передачі даних в персональний комп'ютер.

Як керуючий елемент використовувався електронний ключ DS2406 (рис. 4).



Рис. 4. Лабораторна модульна біогазова установка

Як показують результати експериментальних досліджень з точки зору виробництва біогазу, на найбільшу увагу заслуговує оптимальне поєднання рослинної сировини з відходами фермерських господарств. З огляду на це, було проведено дослідження щодо виробництва біогазу шляхом використання певної суміші (в табл. 1).

Експериментально встановлено, що процес зброджування біомаси ефективніше проходив у метантенках БГУ, де сировина складалася із 70% зеленої маси кукурудзи та 30% гною свиней і ВРХ, відповідно. Їх продуктивність була вищою, порівняно з 50% зеленої маси кукурудзи та 50% гною свиней, а також 50% зеленої маси кукурудзи та 50% гною ВРХ.

Основний принцип методики визначення впливу деструкції субстрату на процес метанового бродіння полягав у визначенні динаміки утворення біогазу. Критерієм оцінки процесу є зміна кількості утвореного біогазу порівняно зі стабільним незмінним контролем ПК [6]. В експериментальних дослідженнях анаеробного процесу бродіння обробка сировини відбувалася за такими методами:

- застосування механічного деструктора;
- використання термолізу;
- обробка ультразвуком.

1. Схема досліду

Тривалість досліду (дні)	Співвідношення сировини	Маса сировини при завантажуванні, кг	
		Зелена маса кукурудзи	Гній
6	Зелена маса кукурудзи (70%)+ гній свиней (30%)	0,42	0,18
6	Зелена маса кукурудзи (70%)+ гній ВРХ (30%)	0,42	0,18
6	Зелена маса кукурудзи (50%)+ гній свиней (50%)	0,3	0,3
6	Зелена маса кукурудзи (50%)+ гній ВРХ (50%)	0,3	0,3

При механічній деструкції біомасу обробляли у центрифугі, після чого подавали в реактор. Центрифугування біомаси тривало впродовж 1 хв після набирання нею максимальної кількості обертів. Термоліз субстрату проводили за температурою +90 °С. Нагрівання зброженого субстрату до 90 °С тривало 10 хв, після чого впродовж 1 хв біомасу підтримували за сталої температури. Результати досліджень наведено в табл. 2. При ультразвуковій обробці використовувався ультразвуковий кавітатор потужністю 8 Вт/см². Обробка проводилася протягом 5 хвилин.

2. Інтенсивність виділення біогазу під час попередньої обробки сировини

Час (доба)	Вихід біогазу залежно від способу деструкції, дм ³			
	Без деструкції	Термічний	Механічний	Ультразвук
1	0,43	0,45	0,73	0,55
2	0,48	0,65	1,42	0,64
3	0,53	0,58	1,4	0,68
4	0,34	0,33	1,13	0,45
5	0,32	0,31	0,78	0,4
6	0,3	0,21	0,57	0,38
Σ	2,4	2,53	6,03	3,1

На основі даних таблиці побудовано діаграму, зображену на рис. 5. Під час експериментів було виявлено, що найбільше виділення біогазу відбувалося на 2-гу та 3-тю добу експерименту. Максимальну кількість біогазу було отримано при використанні механічної та ультразвукової обробки субстрату.

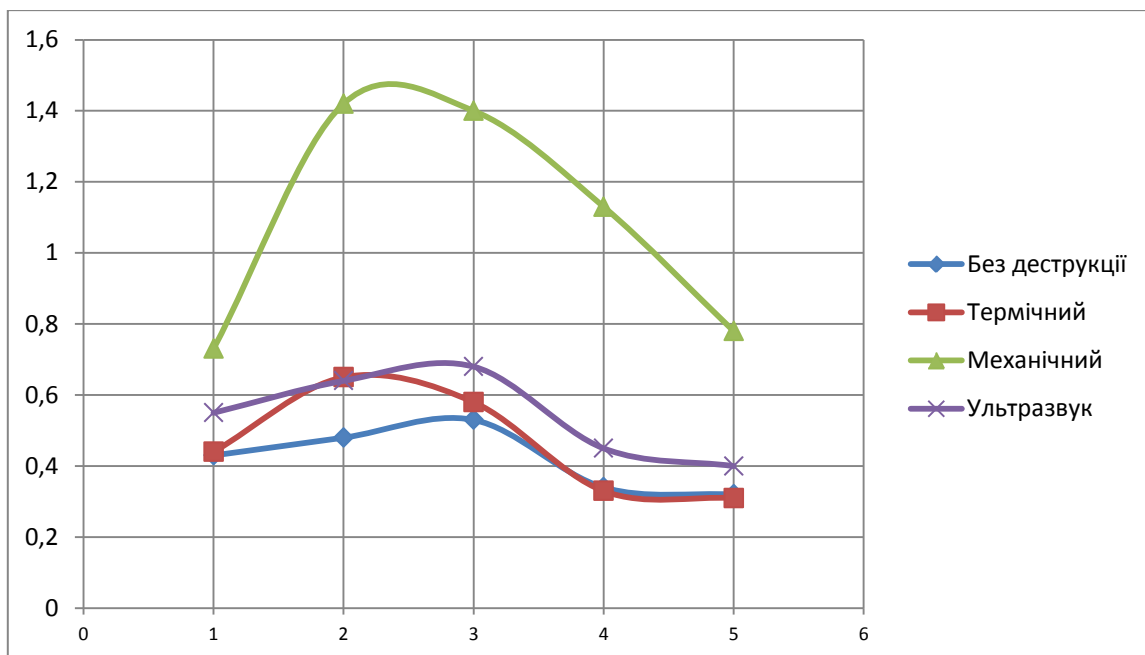


Рис. 5. Інтенсивність виділення біогазу залежно від способів попередньої обробки сировини

Висновки

Розроблено модель системи керування електротехнічним комплексом БГУ та встановлено залежності значення утворення біогазу в анаеробних умовах при застосуванні різних видів сировини та деструктивних методів, що дає змогу прогнозувати вихід біогазу від періоду збродження. Використання рослинної сировини і гною в різних співвідношеннях може бути ефективним чинником збільшення виходу біогазу та зростання корисної дії біогазоенергетичних установок. Найбільшою ефективністю під час виробництва біогазу відзначається сировина, що складається із 70% зеленої маси кукурудзи та 30% гною свиней і великої рогатої худоби, відповідно.

Як показують результати теоретичних та експериментальних досліджень, підвищення ефективності метанового бродіння біомаси забезпечується при застосуванні системи керування електротехнічним комплексом БГУ на основі оптимізації таких параметрів: об'ємів завантаження кожного виду біомаси, ступенем їх деструкції (кавітації), температури, вологості, рН та якості перемішування субстрату в кожному модулі БГУ. Серед методів підвищення ефективності метаноутворення перспективними є механічна та ультразвукова обробка біомаси.

Список літератури

1. Оценка энергетического потенциала биомассы в Украине. Ч. 2. Энергетические культуры, жидкие биотоплива, биогаз / Гелетуха Г. Г., Железная Т. А., Жовмир Н. М., Матвеев Ю. Б. [и др.] // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 57–64.

2. Павліський В. М. Техніко-економічне обґрунтування вибору технологій та сільськогосподарських культур для виробництва біотоплив [Електронний

ресурс] / В. М. Павліський, Ю. П. Нагірний, О. В. Павліська. – Режим доступу : <http://elibrary.nubip.edu.ua/5684/1/10nup.pdf>

3. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату : монографія / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – С. 17.

4. Рябов Г. А. Использование биомассы и отходов производства для решения проблем энергосбережения / Г. А. Рябов // Электрические станции. – 2005. – № 7. – С. 33–38.

5. Шворов С. А. Система керування процесом завантаження біомаси та спеціальних домішок в біореактор для отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив / С. А. Шворов, П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко // Енергетика і автоматика. – 2014. – № 3. – С. 155–161.

6. Шишкин Н. Д. Анализ эффективности биоэнергетических установок / Н. Д. Шишкин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 4. – С. 31–32.

7. Энзимы для биогаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.zorg-biogas.com>

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охрименко, П. В. Иванов

Аннотация. Рассмотрена модель системы управления электротехническим комплексом биогазовой установки и методы повышения эффективности метанообразования при анаэробном сбраживании биомассы. Проведено исследование по дозировке органического сырья и его предварительной обработки.

Ключевые слова: *интенсификация, биогаз, метантенк, биомасса, анаэробное брожение*

ELECTRIC MODEL OF MANAGEMENT AND HARDWARE BIOGAS PLANT

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Okhrimenko, P. Ivanov

Annotation. The model of complex electrical control systems and methods to improve the efficiency of methane during anaerobic fermentation of biomass. A study on dosage organic material and its pretreatment.

Key words: *intensification, biogas digesters, biomass, anaerobic fermentation*

ЭКСЕРГООЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

В. В. Козырский, доктор технических наук

Л. В. Мартынюк, аспирантка*

***Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины***

Т. А. Резакова, кандидат технических наук

Институт технической теплофизики НАН Украины

e-mail: slodkalily@gmail.com

Аннотация. Изложены основы эксергоэкономической оптимизации. Приведены технические и экономические характеристики геотермальной когенерационной установки. Определены эксергоэкономические факторы указанных установок.

Ключевые слова: критерий оптимизации, эксергоэкономический фактор, геотермальная энергетическая система, когенерационная установка

При постоянном росте цен на ископаемое топливо, в т. ч. импортное, использование местных энергоресурсов, которые определяют низкую себестоимость энергоносителей, позволяет быстро и надежно обеспечивать электроэнергией и теплотой различных потребителей. Поэтому экономически эффективным и целесообразным решением указанной проблемы есть создание когенерационных геотермальных установок, где первичным энергоресурсом для получения теплоты и электроэнергии является природный энергоноситель (термальная вода и растворенный в ней газ).

Цель исследований – разработать метод оптимизации энергетических систем по энергетическим и экономическим характеристикам.

Материалы и методика исследований. Приведем пример эксергоэкономической оптимизации конкретной энергетической системы, установленной в АР Крым [1]. Установка геотермальной тепловой электростанции (ГеоТЭС) разработана на базе термальной воды и содержащегося в ней растворенного газа (преимущественно метана) для теплоснабжения и выработки электроэнергии, которые обеспечат базовую нагрузку отопления и горячего водоснабжения, автономное электроснабжение подключенных потребителей, а также для собственных нужд системы циркуляции геотермального теплоносителя и сетевой воды.

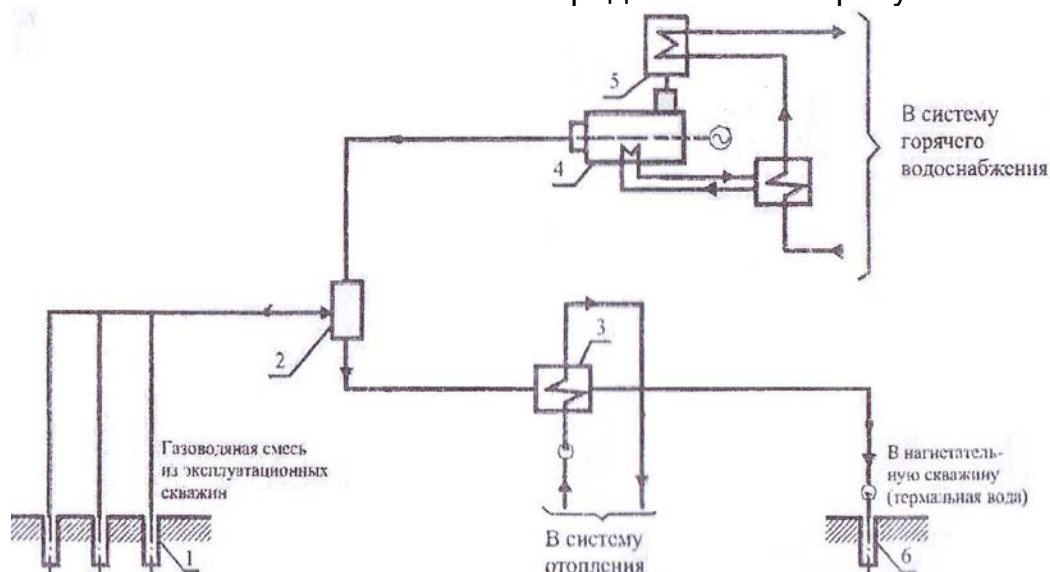
Наличие в пластовой воде большого количества растворенного газа – практически чистого метана, позволяет помимо получения

* Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В. В. Козырский

© В. В. Козырский, Л. В. Мартынюк, Т. А. Резакова, 2016

геотермальной теплоты вырабатывать электроэнергию для обеспечения собственных нужд циркуляционной системы, а также электроснабжения коммунально-бытовых потребителей [1].

Технологическая схема ГеоТЭС представлена на рисунке.



Технологическая схема когенерационной геотермальной установки:

1 – скважины эксплуатационные; 2 – сепаратор; 3 – теплообменник системы отопления; 4 – газовый двигатель; 5 – система утилизации теплоты выхлопных газов и охлаждения двигателя; 6 – нагнетательная скважина

Как показано на схеме, в состав ГеоТЭС входят следующие основные части:

- скважины подъемные, предназначенные для вывода из подземного продуктивного горизонта термальной воды, содержащей растворенный природный газ (глубина – 1769,0 м; дебит воды – 3136,0 м³/сутки; газовый фактор – 0,98 м³/м³; температура на устье – 69,0 °С; статическое давление на устье – 0,05 МПа);

- узел подготовки термальной воды и природного газа к использованию, куда входят: газоотделитель (сепаратор), гидроциклон и устройство очистки и осушки газа (производительность по воде – 132,0 м³/ч, по газу – 123,0 м³/ч);

- геотермальный теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды системы теплоснабжения;

- насосы для возврата охлажденной термальной воды по трубопроводу через нагнетательную скважину в термоводоносный горизонт;

- газовый двигатель, соединенный с электрогенератором, предназначенный для производства электроэнергии, необходимой для обеспечения собственных нужд установки и электроснабжения внешних потребителей (Nэ = 380,0 кВт);

- скважина для возврата охлажденной термальной воды.

Расчет технических показателей выполняется на основании исходных данных установки.

1. Расход термальной воды: $G_{ТВ} = V_{ТВ} \cdot \rho \cdot 3600^{-1} = 36,9$ кг/с.
 2. Расход природного газа: $V_{Г} = 122,4$ м³/ч.
 3. Теплотворная способность газа $Q^p_{Н} = 8300$ ккал/м³ = 34,7 Мдж/м³.
 4. Температура термальной воды на входе в установку $t'_{ТВ} = 69,0^{\circ}\text{C}$.
 5. Температура термальной воды на выходе из установки (принимаем) $t''_{ТВ} = 35,0^{\circ}\text{C}$.
 6. Мощность электрооборудования, необходимого для обеспечения собственных нужд ГеоТЭС: нагнетательный насос – 72 кВт; сетевой насос – 4,9 кВт.
 7. Общая мощность электрооборудования собственных нужд $N_{СН} = 88,3$ кВт.
 8. Расход газа, потребляемого газовым двигателем для производства электроэнергии – 121,6 м³/ч.
 9. Электрическая мощность, обеспечивающая нагрузку внешних потребителей – 29,1 кВт.
 10. Теплопроизводительность установки за счет теплоты термальной воды – 52421 кВт.
 11. Суммарная теплопроизводительность установки – 299,1 кВт.
 12. Теплопроизводительность ГеоТЭС – 261 кВт.
 13. Годовая выработка электроэнергии – 1406 МВт·ч, в том числе затраты на собственные нужды – 326,7 МВт·ч.
 14. Обеспечение нагрузок внешних потребителей – 1079,3 МВт·ч.
 15. Годовое производство теплоты – 20694 МВт·ч.
 16. Удельный расход условного топлива на выработку энергоносителей
 - для электроэнергии $B_{Т} = 0,35$ кг у.т./кВт·ч;
 - для теплоты $B_{Т} = 0,145$ кг у.т./кВт·ч = 168,2 т у.т./Гкал.
- Основные технические и экономические показатели эксплуатации ГеоТЭС приведены в табл. 1.

1. Техничко-экономические показатели эксплуатации ГеоТЭС

№ п/п	Наименование показателей	Значение величин
1	Годовая выработка электроэнергии, МВт·ч, в том числе:	1406,0
	отпущено потребителям	971,4
2	Годовое производство теплоты, Гкал, в том числе:	17792,8
	отпущено потребителям	16013,5
3	Капиталовложения, грн	2042790,6
	Годовые производственные издержки, грн/год, в том числе:	566699
4	- отнесенные к выработке электроэнергии	43637
	- отнесенные к теплоте	52308

Наличие в термальной воде растворенного природного горючего газа позволяет реализовать когенерационную схему ГеоТЭС, которая

предназначена для производства теплоты в тепломеханическом блоке и выработки электроэнергии в электромеханическом блоке энергоустановки.

Производительность установки по теплоте покрывает базовую нагрузку системы теплоснабжения. Мощность ГеоТЭС (380,0 кВт) достаточна для электроснабжения группы внешних потребителей, а также для обеспечения собственных нужд циркуляционной системы. Такая автономность, т. е. независимость работы ГеоТЭС от внешних источников электроснабжения является существенным достоинством предлагаемой схемы.

ГеоТЭС характеризуется достаточно высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями (табл. 2).

2. Технические характеристики когенерационной геотермальной установки

Наименование	Размерность	Значение величин
Расход термальной воды	кг/сек	7,5
Температура термальной воды на устье скважины	°C	64,0
Объем газа, растворенного в термальной воде	м ³ /м ³	1,040
Давление на устье эксплуатационной скважины	атм	1,05
Давление на устье скважины при закачке термальной воды	атм	12,0
Теплотворная способность газа	МДж/м ³	36,4
Температура выхлопных газов на выходе утилизатора	°C	120,0
Расход выхлопных газов	кг/м ³	273,2
Температура обратной сетевой воды системы ГВС на входе в теплообменник	°C	15,0
Температура падающей сетевой воды системы ГВС на выходе из теплообменника	°C	50,0
Температура термальной воды на выходе из установки	°C	35,0

Как было сказано выше, оптимизация исследуемой системы определяется значением эксергоэкономического фактора f , в состав которого входят эксергетические потоки и их стоимость. Тем самым находят значение энергетических и экономических показателей системы в их взаимозависимости.

Сравнительный анализ методом эксергоэкономической оптимизации исследуемых установок ГеоТЭС и когенерационной – будет выполнен для электроснабжения потребителей, как заслуживающего внимания в практическом отношении. В таком случае, нет необходимости рассматривать деструкцию в балансе системы. Кроме того, термоэлектрические потоки и их стоимости анализируются не для компонентов, а для всей системы в совокупности – такой подход в данном случае является более обоснованным.

С учетом сделанных замечаний, эксергоэкономический фактор f записывается так:

Полученные сравнения показывают, что даже при минимальной стоимости газа себестоимость теплоты, вырабатываемой газовой котельной, в 2,5 раза превышает себестоимость теплоты, вырабатываемой геотермальной когенерационной установкой. Производство же электроэнергии автономным газопоршневым двигателем экономически невыгодно.

Выводы

Из выполненного анализа можно сделать вывод, что геотермальные когенерационные установки характеризуются высокими, т. е. выгодными экономическими показателями. Их использование приводит к экономии органического топлива.

Если анализировать вариант одновременного производства электро- и тепловой энергии, то, можно полагать, что предпочтение следует отдавать когенерационной геотермальной установке ГеоТЭС.

Список литературы

1. Резакова Т. А. Теплофизические процессы при использовании газонасыщенных геотермальных вод в когенерационных технологиях / [Б. И. Басок, Т. А. Резакова, Д. А. Коломейко, Ю. Б. Матвеев]. – К. : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2013. – С. 145–283.
2. Began A., Tsatsaronic G., Moran T. Termal Desing and Optimization. – NewYork: Wiley, 1996. – 530 p.
3. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для оптимизации стоимости энергопреобразующих систем / Дж. Тсатсаронис ; науч. перевод с англ. Т. Морозюк. – Одесса : Негоциант, 2002. – 152 с.
4. Лозано М. А. Теория эксергетической стоимости / М. А. Лозано, А. Валеро // Энергия. – 1993. – № 9. – С. 939–960.
5. Драганов Б. Х. Оптимизация энергосберегающих систем методом теоретико-графовых и эксергоэкономических построений // Укр НЭИ. Науково-технологічні пріоритети та їх вплив на розвиток Української економіки. – 2009. – С. 173–192.
6. Долинский А. А. К вопросу эксергоэкономической оптимизации энергетических систем // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 105–108.

ЕКСЕРГОЕКОНОМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

В. В. Козирський, Л. В. Мартинюк, Т. А. Резакова

Анотація. Викладено основи ексергоекономічної оптимізації. Наведено технічні та економічні характеристики геотермальної когенераційної установки. Визначено ексергоекономічні фактори зазначених установок.

Ключові слова: критерій оптимізації, ексергоекономічний фактор, геотермальна енергетична система, когенераційна установка

EXERGY ECONOMIC OPTIMIZATION OF GEOTHERMAL COGENERATION PLANT

V. Kozyrsky, L. Martyniuk, T. Rezakova

Annotation. *The presented fundamentals of eksergoeconomical optimization. The presented technical and economic characteristics of the geothermal cogeneration plant. Eksergoekonomical factors identified these settings.*

Key words: *optimization criterion, eksergoeconomical factor, geothermal energy system, cogeneration installation*

УДК 532 (075.8)

МЕХАНИКА ОДИНОКОЙ СФЕРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

*Б. Х. Драганов, доктор технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины*

*А. А. Вергезова, студентка
Национальная академия изобразительного искусства
и архитектуры
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Аннотация. *Приведена математическая модель многокомпонентных сред. Выполнен анализ гетерогенных сред. Определена интенсивность обмена энергией между фазами. Изложены основы определения сил, действующих на одинокую сферу.*

Ключевые слова: *гетерогенная среда, межкомпонентная среда, инерционный эффект, интенсивность обмена импульсом, эффект Магнуса*

Объект исследования состоит из двух сфер: большой (внешней) и меньшей (внутренней). Между двумя сферами находится вода и воздух, которые попадают туда через трехкомпонентные краны. Конструкция этих пробок будет обеспечивать необходимое количество жидкости и кислорода для поддержания внутренней сферы на плаву и оптимального уровня кислорода для жизни человека. Устройство будет изготовлено из прочного, прозрачного, тонкого материала, который способен выдерживать большие значения внешней нагрузки.

Установка работает следующим образом. Когда людям станет известно о возникающем цунами, один или несколько человек, в

EXERGY ECONOMIC OPTIMIZATION OF GEOTHERMAL COGENERATION PLANT

V. Kozyrsky, L. Martyniuk, T. Rezakova

Annotation. *The presented fundamentals of eksergoeconomical optimization. The presented technical and economic characteristics of the geothermal cogeneration plant. Eksergoekonomical factors identified these settings.*

Key words: *optimization criterion, eksergoeconomical factor, geothermal energy system, cogeneration installation*

УДК 532 (075.8)

МЕХАНИКА ОДИНОКОЙ СФЕРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

*Б. Х. Драганов, доктор технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины*

*А. А. Вергезова, студентка
Национальная академия изобразительного искусства
и архитектуры
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Аннотация. *Приведена математическая модель многокомпонентных сред. Выполнен анализ гетерогенных сред. Определена интенсивность обмена энергией между фазами. Изложены основы определения сил, действующих на одинокую сферу.*

Ключевые слова: *гетерогенная среда, межкомпонентная среда, инерционный эффект, интенсивность обмена импульсом, эффект Магнуса*

Объект исследования состоит из двух сфер: большой (внешней) и меньшей (внутренней). Между двумя сферами находится вода и воздух, которые попадают туда через трехкомпонентные краны. Конструкция этих пробок будет обеспечивать необходимое количество жидкости и кислорода для поддержания внутренней сферы на плаву и оптимального уровня кислорода для жизни человека. Устройство будет изготовлено из прочного, прозрачного, тонкого материала, который способен выдерживать большие значения внешней нагрузки.

Установка работает следующим образом. Когда людям станет известно о возникающем цунами, один или несколько человек, в

зависимости от размера внутренней сферы, через соответствующие входное отверстие входят внутрь сферы, которая плотно закрывается. Поток, обусловленный цунами, перемещает устройство до безопасного места на земной поверхности, где люди могут выйти из этой сферы.

В статье приведены закономерности движения одинокой сферы под действием действующих сил.

Цель исследований – определить силы, действующие на одинокую сферу (большого размера или в виде дисперсных частиц) при обмывании потоком жидкости.

Результаты исследований. Морскую волну, настилающуюся по поверхности Земли, следует рассматривать как поток разной интенсивности, характеризующийся неустойчивостью, связанной с флуктуациями различного рода. Данный поток следует рассматривать как гетерогенную среду, состоящую из дисперсных смесей с каплями жидкости и с твердыми частицами.

$$\frac{\partial \bar{\rho}_i}{\partial t} + \nabla \bar{\rho}_i v_i = \sum_{j=1}^N J_{ji}; \quad (1)$$

$$\bar{\rho}_i \frac{\partial v_i}{\partial t} = -\beta_i \nabla p + \nabla^k \tau_i^k + \bar{\rho}_i g_i + \sum_{j=1}^N \left[F_{ji} + J_{ji} (v_{ij} - v_i) \right]; \quad (2)$$

$$\bar{\rho}_i \frac{\partial u_i}{\partial t} = \frac{\beta_i p}{\rho_i} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^N \left[F_{ji} (v_{ij} - v_i) + J_{ji} \frac{(v_{ij} - v_i)^2}{2} + J_{ji} (u_{ij} - u_i) + Q_{ji} \right] + \tau_i^{kl} e_i^{kl} - \nabla^k q_i^k \quad (3)$$

$$p_1(\rho_1, T_1) = p_2(\rho_2, T_2) = \dots = p_N(\rho_N, T_N); \quad (4)$$

$$u_i = u_i(\rho_i, T_i);$$

$$\sum_{i=1}^N \beta_i = 1, \quad \rho_i = \frac{\bar{\rho}_i}{\beta_i}; \quad (5)$$

$$J_{ji} = -J_{ij}$$

$$F_{ji} = -F_{ij}$$

$$v_{ji} = v_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{i-1} \left[Q_{ji} + Q_{ij} + J_{ji} (h_{ji} - h_{ij}) \right] = 0; \quad (6)$$

$$h_{ji} = u_{ji} + \frac{p}{\rho_i}; i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i. \quad (7)$$

Выполним анализ основных физических параметров, входящих в систему уравнений (1) – (3).

Интенсивность обмена импульсом между компонентами выражается отношением

$$P_{ji} = -P_{ij} = R_{ji} + J_{ji}v_{ji}; i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i. \quad (8)$$

В этой формуле R_{ji} – межкомпонентная (межфазная) сила, отнесенная к единице объема смеси и обусловленная силами трения, давления, сцепления между компонентами. Так как фазовые превращения имеют место на границе между фазами (компонентами), то величину v_{ji} следует рассматривать как скорость i -й фазы на границе с j -й фазой. В гетерогенных системах с вязкими жидкостями на межфазовых границах отсутствуют скачки скорости и поэтому $v_{ij} = v_{ji}$. В таком случае

$$R_{ji} = -R_{ij}. \quad (9)$$

Интенсивность обмена энергией между фазами представляется в виде уравнения

$$E_{ji} = W_{ji} + Q_{ji} + J_{ji} \left(u_{ji} + \frac{1}{2} v_{ji}^2 \right). \quad (10)$$

При этом $E_{ji} = -E_{ij}$ ($i, j = 1, 2, \dots, N; j \neq i$).

В этом уравнении первый член выражает приток энергии в i -ю фазу за счет работы W_{ji} межфазных (межкомпонентных) сил, а именно: трения, давления, взаимного сцепления и др.; второй член уравнения – приток энергии за счет теплообмена Q_{ji} на границе фаз. Последний член уравнения выражает перенос внутренней u_{ji} и кинетической $\frac{1}{2} v_{ji}^2$ энергий вместе с переносом массы из одной фазы в другую. Внутренняя энергия на межфазной границе терпит разрыв

В уравнениях (1) – (12) приняты обозначения:

ρ_i – истинная плотность i -го компонента, равная массе i -го компонента в единице объема i -го компонента, кг/м^3 ;

$\bar{\rho}_i$ – приведенная плотность i -го компонента, равная массе данного компонента в единице объема смеси, кг/м^3 ;

T – время, с;

$\mathbf{v}$ – вектор массовой скорости, м/с;

J_{ji} – интенсивность фазовых переходов или переносы массы в единице объема смеси из j -ой фазы в i -ю, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;

β_i – объемная концентрация i -ой фазы;

τ_i^{kl} – тензор сдвиговых напряжений, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$;

V_{ji} – скорость массы, претерпевающей фазовый переход, м/с;

g – ускорение внешних массовых сил, в частности свободного падения, м/с^2 ;

F_{ji} – работа межфазных сил, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^2)$;

u – внутренняя энергия, $\text{м}^2/\text{с}^2$;

p – давление, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;

Q_{ji} – интенсивность передачи тепла от j -ой фазы к i -ой фазе в единице объема смеси, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^3)$;

q^k – вектор потока тепла k -ой фазе, $\text{кг}/\text{с}^3$;

e_i^{kl} – тензор скоростей деформации;

h – энтальпия, $\text{м}^2/\text{с}^2$;

P_{ji} – интенсивность обмена импульсом между j -ой и i -ой фазами;

R_{ji} – полная межфазная сила со стороны j -ой фазы на i -ю и отнесенная к единице объема смеси, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^2)$;

W_{ji} – работа межфазных сил i -ой фазы на межфазной границе с j -ой фазой, отнесенная к единице объема смеси, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^3)$;

E_{ji} – интенсивность обмена энергией между j -ой и i -ой фазами в единице объема смеси в единицу объема времени, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^3)$;

x – пространственная декартова координата, м.

Индексы: i – номер фазы ($i = 0, 1, 2, \dots, N$); j – то же, что i ; k, l – номер декартовой координаты ($k, l = 1, 2, 3$).

Рассмотрим основные эффекты, возникающие при обтекании одиночной сферы бесконечным потоком жидкости. Эти эффекты, конечно, сохраняются и в дисперсных смесях, а в смесях с малой объемной концентрацией дисперсной фазы α_2 количественно описываются формулами, полученными для обтекания одиночной сферы (см. рисунок).

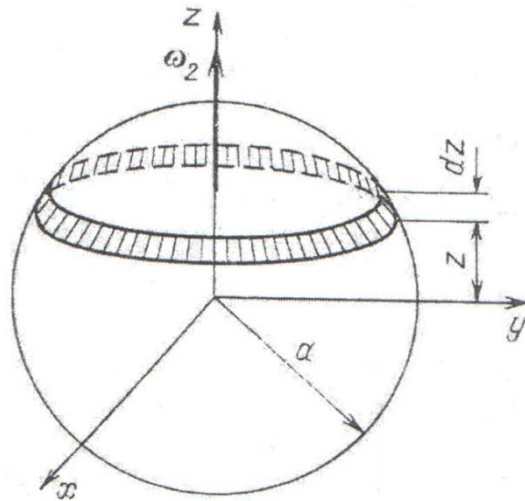


Схема плоских сечений для вращающейся вокруг оси z сферы

Влияние вращения сферы на силу f , действующую на нее со стороны обтекаемого потока, проявляется за счет совместного действия вязких и инерционных сил. При анализе в рамках идеальной жидкости вращение обтекаемой сферы не может передаться несущей жидкости без вязкости, а при анализе в рамках ползущего (стоксового) течения влияние вращения на силу f не проявляется при полном неучете инерционных эффектов.

Для того, чтобы выявить влияние вращения на силу f , вдали от сферы учитывались нелинейные инерционные члены. Методом сращиваемых асимптотических разложений указанное внешнее решение «сращивалось» с внутренним (около сферы) стоксовым решением в результате чего получена следующая формула:

$$f = f_S + f_\omega, \quad (13)$$

где f_S – продольная стоксовая сила;

f_ω – поперечная сила из-за вращения сферы, которая иногда называется силой Магнуса.

Рассмотрим другой режим с вращением сферы, когда можно использовать модель идеальной жидкости. При этом в работе М. А. Гольдштика [5] для случая перпендикулярности оси вращения и скорости обтекания предложено использовать гипотезу плоских сечений и схему плоского потенциального обтекания круга с циркуляцией, когда предполагается, что в каждом плоском сечении, перпендикулярном к оси вращения z (рис. 1), распределение скоростей такое же, как при плоском потенциальном обтекании круга радиусом $r = \sqrt{a^2 - z^2}$ с циркуляцией $\Gamma(z) = 2\pi r^2(z)\omega_2$, где ω_2 – круговая скорость.

Выводы

Экспериментальное исследование механики одинокой сферы при обтекании потоком жидкости представляет собой непростую задачу. Математическое моделирование позволяет с достаточной степенью точности определить силы, действующие на сферу и скорость ее движения.

Список литературы

1. Рахматуллин Х. А. Основы газовой динамики взаимопроникающих сплошных сред / Х. А. Рахматуллин // ПММ. – 1956. – Т. 30, № 2.
2. Драганов Б. Х. К исследованию динамики взаимопроникающих движений многокомпонентных сред / Б. Х. Драганов // Труды III конференции по теплообмену и гидравлическому сопротивлению. – 1967. – С. 51–54.
3. Нигматуллин Р. И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. / Р. И. Нигматуллин. – М. : Наука, 1987. – 464 с.
4. Долинский А. А. Гидродинамика техногенных выбросов в окружающую среду : монография / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // К. : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2015. – 104 с.
5. Гольдшик М. А. Процессы переноса в зернистом слое / М. А. Гольдшик // Новосибирск : ИТФ, 1984. – 163 с.

МЕХАНІКА ОДИНОКОЇ СФЕРИ ПРИ ДІЇ ПОТОКУ РІДИНИ

Б. Х. Драганов, А. А. Вергезова

Анотація. Наведено математичну модель багатоконпонентного середовища. Виконано аналіз гетерогенних середовищ. Визначено інтенсивність обміну енергією між фазами. Викладено основи визначення діючих сил на сферу.

Ключові слова: гетерогенне середовище, міжкомпонентне середовище, інерційний ефект, інтенсивність обміну імпульсом, ефект Магнуса

MECHANICS OF LONELY AREA AT FLUID FLOW

B. Draganov, A. Verhezova

Annotation. Presented the mathematical model multi dimensional environment. The analysis of heterogeneous environments. Determined the intensity of energy exchange between the phases. Bases determination of the forces on the field.

Key words: heterogeneous environment, between the component environment, inertial effect, exchange intensity impulse, Magnus effect

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ТРИФАЗНОГО РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ІЗ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

І. М. Голодний, кандидат технічних наук
*О. В. Санченко, аспірант**
e-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Наведено комп'ютерну модель напівпровідникового перетворювача напруги для регульованого трифазного асинхронного електропривода та показано її працездатність.

Ключові слова: *комп'ютерна модель, вищі гармоніки, напівпровідникові перетворювачі напруги, спектральний аналіз, форма кривої напруги*

У попередніх працях [1] показано, що для регульованого малопотужного асинхронного електропривода за собівартістю перевагу мають напівпровідникові перетворювачі напруги. Недолік таких пристроїв у тому, що вони генерують у мережу живлення імпульси напруги та вищі гармоніки. Якість електроенергії залежить від способу керування перетворювачами. Для підтвердження цього положення в *MatLab* було створено моделі однофазного регульованого асинхронного електропривода [2] з перетворювачами напруги з різними алгоритмами керування і проведено порівняльний аналіз спектрального складу вихідної напруги (напруги на навантаженні). У даній статті розглянуто можливість побудови комп'ютерної моделі трифазного електропривода з регулювання вихідної напруги за принципом широтно-імпульсного перетворювача [3].

Мета досліджень – поліпшення якості гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів регульованого трифазного асинхронного електропривода.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження трифазного напівпровідникового перетворювача напруги із широтно-імпульсним керуванням проводилося з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму та комп'ютерного моделювання в системі *MatLab*.

Результати досліджень. Для аналізу форми кривої вихідної напруги створено комп'ютерну модель трифазного перетворювача напруги із широтно-імпульсним керуванням (рис. 1).

*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. М. Голодний

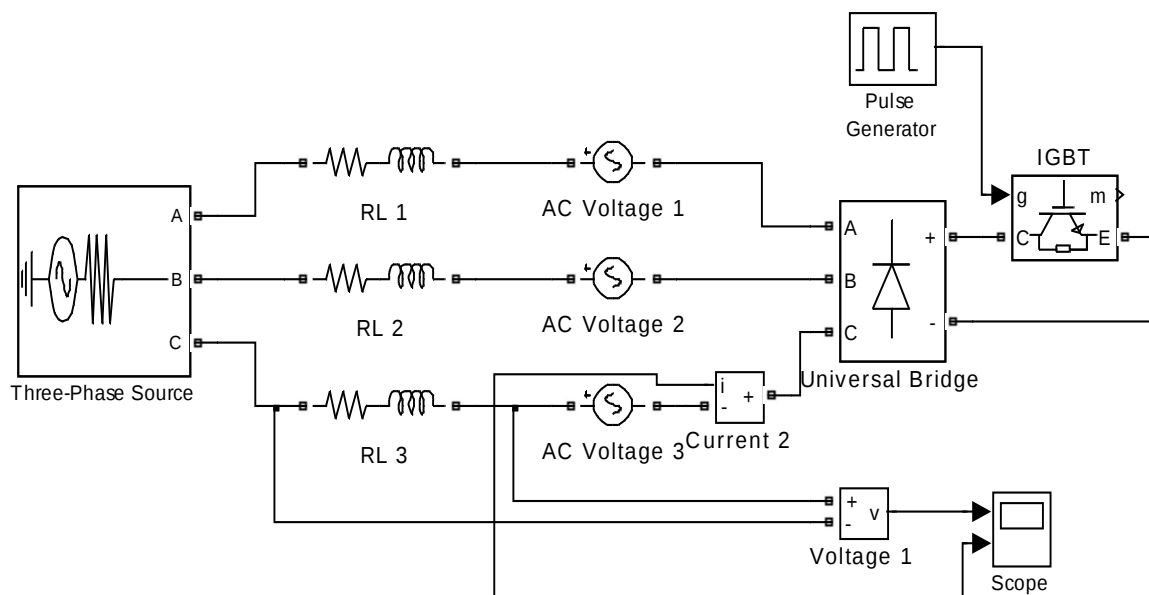


Рис. 1. Модель трифазного перетворювача напруги із широтно-імпульсним керуванням

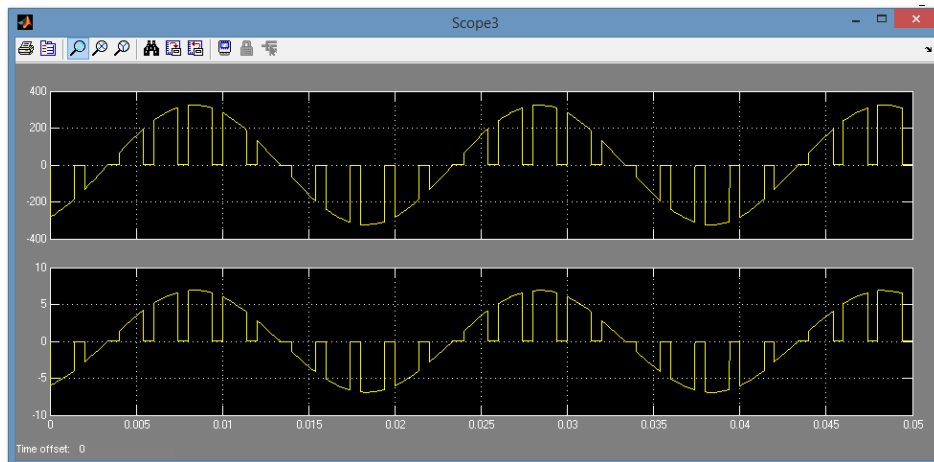
У складі силового блоку перетворювача є трифазне джерело живлення *Three-Phase Source*, у кожній фазі якого увімкнено активно-індуктивне навантаження *RL* та джерело змінної напруги *AC Voltage*, трифазний діодний міст *Universal Bridge*. Блоками *RL* та *AC Voltage* імітується активний опір, індуктивність та *EPC* обмотки статора електродвигуна. У коло постійної напруги діодного моста увімкнено силовий транзистор *IGBT*, який виконує роль ключа для вмикання й вимикання силового кола.

Керування роботою транзистора здійснюється блоком *Pulse Generator*, в якому задається частота комутації та час увімкненого стану транзистора.

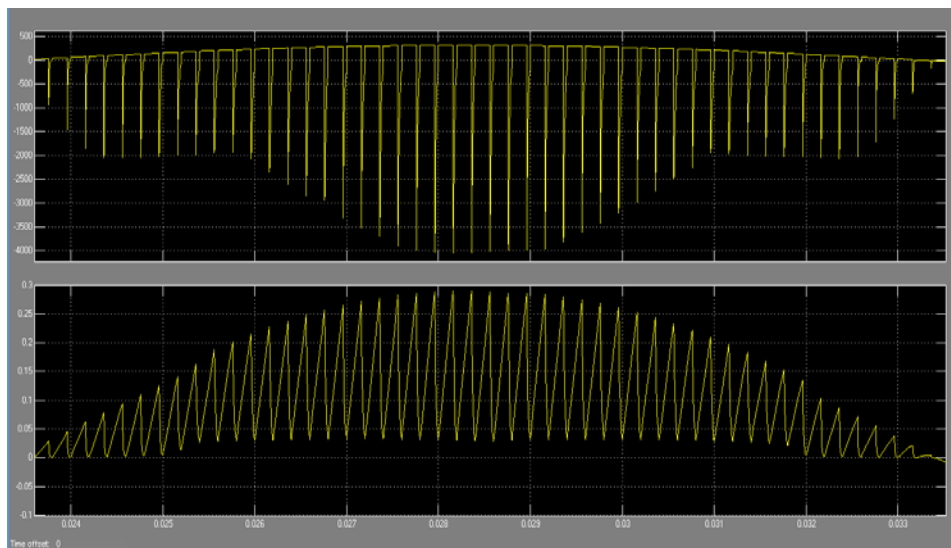
Решта блоків моделі є допоміжними і використовуються для визначення миттєвих значень напруги та струму в навантаженні.

Результати роботи трифазного перетворювача напруги наведено на рис. 2. Значення напруги в блоці *AC Voltage* задано нульове.

Як видно з осцилограми, синусоїда вихідної напруги перетворювача з широтно-імпульсним керуванням порізана з періодом, який складається з часу ввімкненого й вимкненого стану силового транзистора. Таким чином, створена модель трифазного перетворювача напруги працездатна й відтворює задані параметри вихідної напруги живлення електродвигуна. Крім того, при комутації транзисторного ключа через індуктивність у навантаженні виникають імпульси зворотної напруги в силовому колі (рис. 2, б), що потрібно враховувати при виборі силових електронних елементів перетворювача. За активного навантаження форми миттєвих значень напруги і струму подібні.



а



б

**Рис. 2. Осцилограми миттєвих значень напруги (верхня)
і струму (нижня) у навантаженні:
а – активному; б – активно-індуктивному**

Висновки

Створена модель регульованого трифазного електропривода на базі широтно-імпульсного перетворювача напруги моделює задану форму вихідної напруги перетворювача.

Під час дослідження даного перетворювача необхідно проводити не тільки аналіз спектрального складу вихідної напруги, а й враховувати зворотні імпульси напруги при комутації транзисторного ключа.

Список літератури

1. Голодний І. М. До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2011. – Вип. 166, ч. 4. – С. 64–70.

2. Голодний І. М. Порівняльний аналіз на моделі в MatLab гармонічного складу вихідної напруги електронних перетворювачів з різними способами керування при роботі на активне навантаження / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Вісник Харківського технічного університету ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 129 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Х. : ХНТУСГ, 2012. – С. 74–78.

3. Регульований електропривод. : підруч. для студ. вищ. навч. закладів] / І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський та ін. ; за ред. І. М. Голодного. – К. : Компрінт, 2015. – 509 с.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО РЕГУЛИРОВАННОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

И. М. Голодный, А. В. Санченко

Аннотация. *Приведена компьютерная модель полупроводникового преобразователя напряжения для регулируемого трехфазного асинхронного электропривода и показана ее работоспособность.*

Ключевые слова: *компьютерная модель, высшие гармоники, полупроводниковые преобразователи напряжения, спектральный анализ, форма кривой напряжения*

COMPUTER MODEL OF THREE-PHASE REGULATED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PWM CONVERTER

I. Golodnyi, A. Sanchenko

Annotation. *Shows the computer model of the semiconductor voltage converter for the controlled three-phase asynchronous motor and shows its efficiency.*

Key words: *computer model, harmonics, voltage converters semiconductor, spectral analysis, voltage waveform*

РОЗРЯДНО-ІМПУЛЬСНА СИСТЕМА ВИРОБНИЦТВА ІСКРОЕРОЗІЙНИХ ПОРОШКІВ МЕТАЛІВ ІЗ ВИСОКОЮ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ

***А. В. Жильцов, доктор технічних наук
В. В. Коробський, кандидат технічних наук
С. О. Лапшин, Г. А. Гранкін, аспіранти*
e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru***

Анотація. Наведено результати роботи зі створення експериментального комплексу для здійснення об'ємного електроіскрового диспергування струмо-провідних електроконтактних матеріалів. Досліджено вплив енергетичних параметрів розрядного контуру на дисперсність мікро- та нанофракцій порошку.

Ключові слова: *фізика електричного розряду, об'ємне електроіскрове диспергування, електроіскровий синтез, плазма, порошки металів*

Електроіскрові технології отримання наноструктурних і ультрадисперсних порошків металів і сплавів нині є одними з найефективніших і можуть задовольняти вимоги поставленої наукової та прикладної задачі. Багаторічні дослідження електроіскрових процесів [2, 5], діагностика плазмового каналу розряду [1], вивчення фізичних явищ, що супроводжують електричний розряд, встановлення взаємозв'язків між електрофізичними параметрами та ерозією металів, дали змогу виокремити їх у самостійний технологічний процес.

Мета досліджень – встановлення механізмів та вивчення особливостей процесу електроіскрового диспергування струмопровідних електроконтактних матеріалів, а також матеріалів для модифікування металевих сплавів.

Матеріали та методика досліджень. Для реалізації електроіскрового синтезу порошків металів, які мають високу електропровідність (порошок міді, заліза, алюмінію тощо), було розроблено структурну схему комплексу об'ємного електроіскрового диспергування струмопровідних гранул [5], яка включає в себе генератор іскророзрядних імпульсів, розрядну камеру та технологічну систему (рис.1). Головними блоками генератора є напівпровідникові формувачі постійної напруги та формувач розрядних імпульсів, а також система керування режимами генератора, розрядної камери і технологічної системи.

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

© А. В. Жильцов, В. В. Коробський, С. О. Лапшин, Г. А. Гранкін

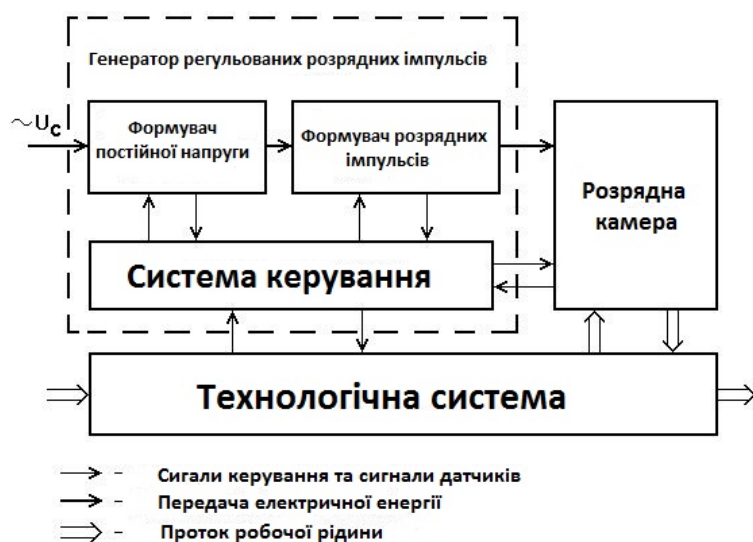


Рис. 1. Структурна схема комплексу об'ємного електроіскрового диспергування струмопровідних гранул

Реалізація електроіскрового процесу здійснюється на експериментальному комплексі, загальний вигляд якого наведено на рис. 2, а його робочі параметри наведено в таблиці.

Робочі параметри експериментального комплексу

Індуктивність розрядного контуру, мкГн	Напруга заряджання конденсатора, В	Ємність конденсатора, мкФ	Електропровідність камери, мС/см	Опір камери, Ом	Частота імпульсів, кГц
~ 1	40...200	25...100	0,001...0,02	0,15...1,5	0,2...2

Силова частина комплексу складається з тиристорного генератора (2), як накопичувач енергії використовуються конденсатори (1) ємністю від 25 до 100 мкФ. Особливістю реалізації методу об'ємного електроіскрового диспергування, є наявність струмопровідного шару гранул (3), що розташований між основними електродами (4). Процес відбувається в реакційній камері (5), заповненій слабопровідною деіонізованою водою (6). Подача напруги на основні електроди викликає проходження струму по колу вільно розміщених гранул у режимі стохастичної комутації. Використання низьких напруг та невеликих міжелектродних проміжків, дає змогу забезпечувати режими, в яких до 85% усієї накопиченої енергії на конденсаторі використовується для локального розігрівання поверхні контактуючих гранул.

Реакційна камера в перерізі має вигляд піщаного годинника продовгуватої форми, завдовжки 500 мм, що складається з двох зон. У верхній робочій зоні камери розташовані два електроди. Міжелектродний простір заповнений шаром струмопровідних гранул. Нижня частина камери призначена для сепарації, осаджування та збирання одержуваного матеріалу необхідного розміру.

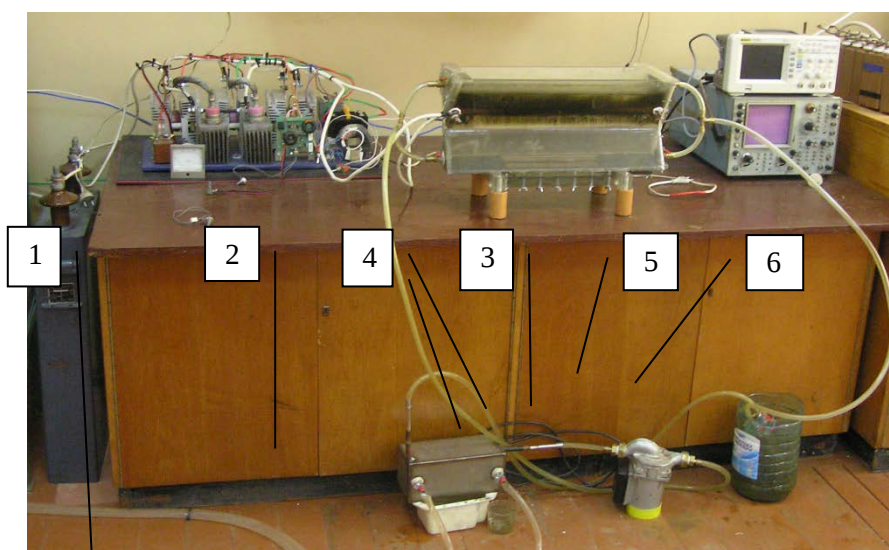


Рис. 2. Загальний вигляд експериментального комплексу для електроіскрового диспергування

В зоні утворення імпульсних плазмових каналів шару струмопровідних гранул електричний опір, який залежить від напруги і частоти розрядних імпульсів, є незначним за величиною і нелінійно та стохастично змінюється. Тому, для стабілізації цих параметрів запропоновано оновлення струмопровідного шару новими гранулами, у міру їх спрацьовування, що є додатковим каналом стабілізації електричних розрядів. Крім того, утилізація продуктів електричної ерозії, за рахунок запропонованої конструкції розрядної камери, забезпечує стабільність опору струмопровідного шару та, у кінцевому підсумку, призводить до стабільності основних електрофізичних параметрів процесу електроіскрового диспергування.

Результати досліджень. Для експериментальної розрядної камери об'ємного електроіскрового диспергування шару струмопровідних гранул у процесі проведення експериментів встановлено, що основними параметрами, які впливають на дисперсність мікро- та нанofракцій є параметри розрядного контуру: ємність, активний опір, індуктивність і напруга на ємності.

Так, крім основних параметрів розрядного кола, безпосередньо впливають на ймовірний маршрут перерозподілу енергії параметри струмопровідного шару, а саме: геометрія та стан поверхні, матеріал гранул металу (теплофізичні характеристики) та опір шару гранул. Небажаним режимом є випадок, коли на всій ділянці кола виникає активний опір і енергія конденсатора за законом Джоуля-Ленца трансформується у теплоту нагрівання робочого середовища. Регулярними складовими процесу є омичні втрати енергії контуру та енергії іонізації міжелектродного проміжку. Безпосередній внесок в утворення дисперсної фази дає теплова енергія каналу. Одночасно,

частина енергії, що подається в канал, використовується на випромінювання, розширення та генерацію ударної хвилі.

Вивчення впливу електричних параметрів розрядного кола на механізм руйнування електродів і шару контактуючих гранул та утворення нанорозмірної фракції в продуктах ерозії, дає змогу виокремити як головні чинники процесу напруги заряджання конденсатора U_0 та його ємність C . Разом з тим, враховуючи специфіку струмопровідного шару, набуває не менш значного впливу характер розміщення металевих гранул, які впливають на інтегральний опір реакційної камери R_k . Забезпечення мінімального значення опору камери та виконання умови

$R_{kmin} \geq 2\sqrt{L/C}$, дає змогу уникнути критичного режиму енерговведення.

Одночасно, значення R_{kmax} повинно забезпечувати уникнення режиму неробочого (холостого) ходу джерела живлення.

Очевидно, що зі збільшенням U_0 збільшується запас енергії, що є на конденсаторі:

$$W_c = 0,5 \cdot U_0^2 C \quad (1)$$

де U_0 – напруга заряджання конденсатора, В;

C – ємність конденсатора, Ф.

Відповідно до схеми (рис. 1), перетворення енергії електроіскрового процесу відбувається так, що до розрядного (плазмового) каналу вводиться енергія W_k , результуюча складова якої дорівнює:

$$W_k = \int I(t) U(t) dt, \quad (2)$$

де $I(t)$ – потокове значення струму, А;

$U(t)$ – потокове значення напруги, В.

Енергія W_k є більшою частиною запасеної енергії на конденсаторі і пропорційно енергії W_c збільшується енергія W_k . Якщо знехтувати омичними втратами розрядного контуру (W_r), омичним нагріванням контактів (W_R) та прийняти, що енергія іонізації міжелектродного проміжку W_i не є визначальною в енергетичному балансі процесу, то зі збільшенням U_0 збільшується тепловий вплив на поверхні контактуючих гранул і, відповідно, посилюється їх руйнування внаслідок плавлення та випаровування у локальних об'ємах.

Збільшення ємності C конденсатора до величини 300...500 мкФ не тільки підвищує загальну енергію процесу руйнування, але й суттєво подовжує тривалість розряду, що, разом зі збільшенням напруги заряджання U_0 , викликає переважно плавлення поверхонь гранул та утворення мікрофракції з розмірами частинок 10...500 мкм. Зменшення ємності конденсатора до величини 25 мкФ і нижче, помітно зменшує енергію розряду, при цьому випаровування практично не відбувається, а руйнування поверхонь гранул здійснюється тільки за рахунок локального плавлення.

Висновки

1. Розроблена експериментальна розрядна камера для отримання порошкових матеріалів дає змогу досліджувати особливості підводних низьковольтних розрядів. У процесі експериментів встановлено, що основними чинниками, які впливають на дисперсність мікрофракцій є параметри розрядного контуру: ємність (переважно 300...500 мкФ), активний опір, індуктивність, і напруга на ємності, а також електрофізичні процеси, що протікають у розрядній камері.

2. У процесі експериментальних досліджень було встановлено параметри розрядного контуру, що забезпечують необхідні розміри мікрота нанофракцій для виготовлення електроконтактних матеріалів.

Список літератури

1. Бабіч І. Л. Спектроскопія плазми електродугового розряду між композитними електродами Ag–Cu / І. Л. Бабіч, В. Ф. Борецький, А. М. Веклич та ін. // Электрические контакты и электроды. – К. : Ин-т пробл. Материаловедения НАН Украины, 2010. – С. 82–115.

2. Золотых Б. Н. О физической природе электроискровой обработки металлов / Б. Н. Золотых // Электроискровая обработка металлов. – М. : Наука, 1957. – Вып. 1. – С. 38–69.

3. Лопатько К. Г. Структура та властивості наночастинок, отриманих електроіскровою обробкою міді та срібла / К. Г. Лопатько, Є. Г. Афтандіянц, Я. В. Зауличний, М. В. Капець // Металознавство та обробка металів. – 2009. – № 3. – С. 57–62.

4. Щерба А. А. Анализ методов повышения эффективности электроэрозионной коагуляции при очистке водных сред / А. А. Щерба, С. Н. Захарченко, К. Г. Лопатько, Є. Г. Афтандіянц // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. Ч. 2. – 2008. – С. 120–125.

5. Щерба А. А. Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом ОЭИД / А. А. Щерба, С. Н. Захарченко, К. Г. Лопатько [и др.] // Праці ін.-ту електродинаміки НАН України. – 2010. – Вип. № 26. – С. 152–160.

РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА ИСКРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ С ВЫСОКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬЮ

А. В. Жильцов, В. В. Коробский, С. А. Лапшин, Г. А. Гранкин

Аннотация. Приведены результаты работы по созданию экспериментального комплекса для осуществления объемного электроискрового диспергирования токопроводящих электроконтактных материалов. Исследовано влияние энергетических параметров разрядного контура на дисперсность микро- и нанофракций порошка.

Ключевые слова: электрический разряд, объемное электроискровое диспергирование, электроискровой синтез, плазма, порошки металлов

DISCHARGE PULSE SYSTEM FOR SPARK EROSION POWDERS OF METALS WITH A HIGH ELECTRICAL CONDUCTIVITY

A. Zhiltsov, V. Korobsky, S. Lapshin, G. Grankin

Annotation. *The results of work on creation of the experimental complex for dispersion of the bulk electric-conductive materials. The influence of the energy parameters of the discharge circuit to dispersing micro- and fractions of nanosized powder.*

Key words: *electric discharge, dispersing volume-tension, electric spark synthesis, plasma, metal powders*

УДК 631.3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ КЕРУВАННЯ ВПЛИВОМ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ФОТОРЕАКТИВАЦІЇ

Л. С. Червінський, доктор технічних наук

Т. С. Книжка, кандидат технічних наук

О. І. Романенко, асистент

*Я. М. Луцак, аспірант**

e-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. *Розглянуто теорію пояснення первинного механізму процесу фотореактивації, яка дає змогу прогнозувати цей процес та використовувати його реальних умовах одержання продукції тваринництва й птахівництва.*

Ключові слова: *фотореактивація, фотон, біологічні об'єкти, оптичне випромінювання*

Нещодавно встановлене явище фотореактивації, яке проявляється в зменшенні дії на біологічні системи та організми від короткохвильового оптичного випромінювання подальшим опроміненням більш довгохвильовим випромінюванням, привертає дедалі більшу увагу вчених фотобіологів усіх країн світу [1, 2].

Мета досліджень – визначення фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання, як методу кількісного регулювання впливу на біологічний об'єкт.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються методи оптичного аналізу в межах квантово-механічної теорії.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Л. С. Червінський

© Л. С. Червінський, Т. С. Книжка, О. І. Романенко, Я. М. Луцак, 2016

DISCHARGE PULSE SYSTEM FOR SPARK EROSION POWDERS OF METALS WITH A HIGH ELECTRICAL CONDUCTIVITY

A. Zhiltsov, V. Korobsky, S. Lapshin, G. Grankin

Annotation. *The results of work on creation of the experimental complex for dispersion of the bulk electric-conductive materials. The influence of the energy parameters of the discharge circuit to dispersing micro- and fractions of nanosized powder.*

Key words: *electric discharge, dispersing volume-tension, electric spark synthesis, plasma, metal powders*

УДК 631.3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ КЕРУВАННЯ ВПЛИВОМ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ФОТОРЕАКТИВАЦІЇ

Л. С. Червінський, доктор технічних наук

Т. С. Книжка, кандидат технічних наук

О. І. Романенко, асистент

*Я. М. Луцак, аспірант**

e-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. *Розглянуто теорію пояснення первинного механізму процесу фотореактивації, яка дає змогу прогнозувати цей процес та використовувати його реальних умовах одержання продукції тваринництва й птахівництва.*

Ключові слова: *фотореактивація, фотон, біологічні об'єкти, оптичне випромінювання*

Нещодавно встановлене явище фотореактивації, яке проявляється в зменшенні дії на біологічні системи та організми від короткохвильового оптичного випромінювання подальшим опроміненням більш довгохвильовим випромінюванням, привертає дедалі більшу увагу вчених фотобіологів усіх країн світу [1, 2].

Мета досліджень – визначення фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання, як методу кількісного регулювання впливу на біологічний об'єкт.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються методи оптичного аналізу в межах квантово-механічної теорії.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Л. С. Червінський

© Л. С. Червінський, Т. С. Книжка, О. І. Романенко, Я. М. Луцак, 2016

Результати досліджень. Аналіз явища фотореактивації дають можливість реалізувати пояснення механізму фотореактивації з позицій квантово-механічної теорії, суть якого полягає в залежності від енергії кванта оптичного випромінювання ($h\nu$), що діє на біологічний об'єкт. Відбувається поглинання кванта на визначеному «дозволеному» енергетичному рівні сприймаючої структури об'єкта. Кванти великої енергії поглинаються атомарними електронами, менш енергетичні фотони – поглинаються електронними оболонками молекул [3].

В основу пояснення процесу фотореактивації доцільно покласти механізм двоетапного фотонного поглинання оптичного випромінювання при ступінчастому або кооперативному збудженні електронів опромінюваного об'єкта. Можливість такого поглинання теоретично обґрунтували й експериментально довели академіки В. В. Овсянкін і П. П. Феофілов ще на початку 1970 р. [4, 5] та активно досліджував у подальші роки академік Д. М. Нікогосян.

З квантово-механічної теорії будови матерії відомо, що при дії кванта (фотона) оптичного випромінювання на молекулу речовини відбувається зміна її енергетичного внутрішнього стану в таких напрямках [9]:

1. Збільшується її електронна енергія, тобто електрони збуджуються на більш високі (дозволені) енергетичні рівні й зростає реакційна спроможність молекули.

2. Збільшується коливальна енергія молекули, зумовлена коливаннями атомів усередині молекули від перерозподілу поглиненої енергії та зростає температура молекулярного комплексу.

3. Змінюється ротаційна енергія, що відповідає за обертання всієї молекули або її частин і дещо змінюється просторова структура молекули.

У символічному вигляді викладене вище можна записати

$$h\nu = (E_e + E_k + E_p)_{\text{кін}} - (E_e + E_k + E_p)_{\text{нач}}, \quad (1)$$

де $h\nu$ – енергія кванта випромінювання, що поглинається;

E_e – енергія збудження електрону на більш високий орбітальний рівень;

E_k – енергія, що витрачається на коливання атомів у молекулі;

E_p – енергія, що витрачається на зміну ротаційного обертання молекули або її частин.

Якщо позначити частоти, що відповідають електронним, коливальним і ротаційним переходам молекули через ν , то можна записати квантовані значення розподілу енергії поглиненого молекулою фотона оптичного випромінювання

$$h\nu = h\nu_e + h\nu_k + h\nu_p \quad (2)$$

Експериментальними дослідженнями встановлено, що, залежно від складності структурної будови молекули і місця дії на неї фотона, частота фотонів ν_e відповідає ультрафіолетовому і, частково, видимому випромінюванню, ν_k – інфрачервоному випромінюванню і ν_p – мікрохвильовому випромінюванню.

Оскільки пояснення процесу фотореактивації з урахуванням трьох енергетичних складових взаємодії молекули є громіздким у викладенні, вважаємо допустимим подати пояснення первинного механізму дії оптичного випромінювання на тваринний організм (на рівні біомолекули) по взаємодії квантів випромінювання лише з електронними орбіталями молекули [6, 7].

Тобто, для спрощення пояснення механізму фотореакції приймаємо, що енергія поглинутих фотонів оптичного випромінювання, при опроміненні біомолекул, споживається лише електронами «дозволених» енергетичних рівнів.

Виходячи з даного припущення, механізм процесу фотореактивації пояснюється так:

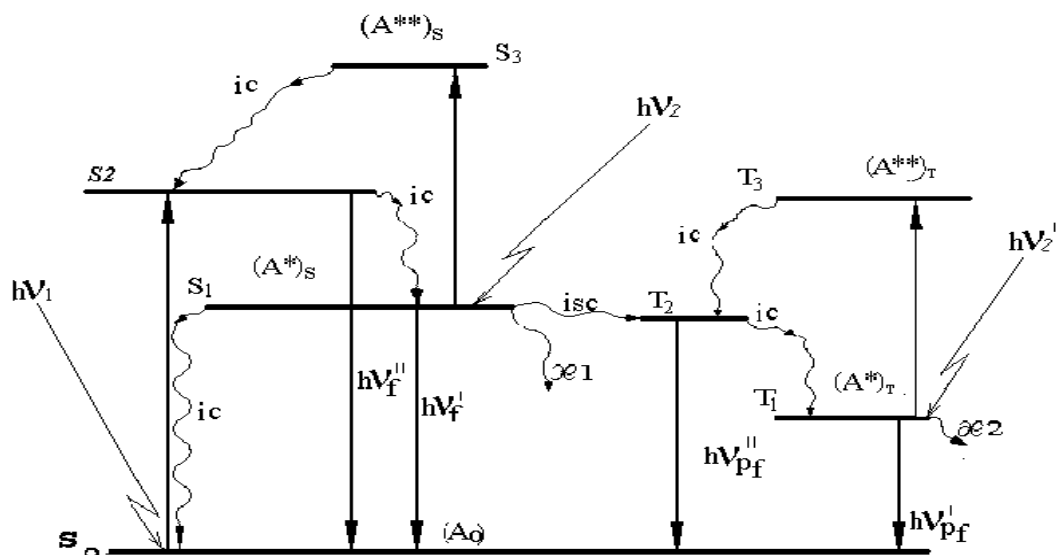
1. При опроміненні об'єкта, поглинена енергія квантів збуджує електрони атомів чи молекул на відповідні вищі «дозволені» енергетичні рівні, з яких відбувається деякий перерозподіл цієї енергії (за період $\tau \sim 10^{-10}$ с) і тому атоми (молекули, або їхній комплекс – клітина) переходять у більш стійкий збуджений стан, але з меншим рівнем енергії.

2. Якщо на цей об'єкт знову впливати випромінюванням, але більш довгохвильовим (із меншою енергією квантів), то можливе повторне збудження електронів на новий вищий енергетичний рівень, з якого електрони мають імовірність повернення на свій початковий енергетичний рівень із віддачею поглиненої (за два етапи збудження) енергії ближнім структурам або, випромінюючи її фотонами відповідної енергії. Таким чином, спостерігається фотореактивація первинного збудження біомолекули.

Дещо складніше описується процес реактивації, якщо молекула має тісніші зв'язки з іншими сусідніми і встигає вступити у фотохімічну реакцію, що спостерігається у високоорганізованих біооб'єктів при інтервалі часу між первинним і реактивуючим актами опромінювання більше, ніж 10^{-3} с) [8].

У цьому випадку, частина енергії реактивуючого фотона випромінювання витрачається на розрив міжмолекулярних електронних зв'язків, що утворилися в первинній фотореакції, полегшуючи відновлення молекул у початковий енергетичний стан.

Наочне уявлення про механізм ступінчастого двофотонного збудження молекули при фотореактивації надає узагальнююча схема передачі енергії по електронних рівнях біоорганічної молекули, розробленої нами на основі аналізу теоретичних матеріалів та енергетичної схеми запропонованої *K. Smith* [8]. Схему подано на рисунку:



Структурна схема взаємодії квантів оптичного випромінювання з електронами опромінюваної молекули

де $h\nu_1$ – енергія поглинання первинного (збуджуючого) кванта випромінювання

$h\nu_2, h\nu_3$ – енергія поглинання реактивуєного кванта випромінювання;

$h\nu_f$ – енергія випромінювання можливої первинної флуоресценції;

$h\nu_f^I$ – випромінювання можливої флуоресценції при фотореактивації;

$h\nu_{ph}$ – енергія випромінювання можливої первинної флуоресценції (із триплетного метастабільного енергетичного рівня);

$h\nu_{ph}^I$ – енергія випромінювання флуоресценції при кооперативному процесі фотореактивації;

S_1, S_2, S_3, S_0 – основні синглетні дозволені енергетичні рівні (орбіталі) біомолекули;

T_1, T_2, T_3 – метастабільні триплетні дозволені енергетичні рівні (орбіталі) біомолекули.

Перерозподіл поглиненої енергії збудження безвипромінювальним шляхом позначений

ν_r – між «дозволеними» наявними підрівнями енергетичного рівня біомолекули;

i_c – між однойменними енергетичними рівнями молекули;

i_{sc} – між різнойменними енергетичними рівнями (синглет-триплетний або триплет-синглетний) молекули;

χ – витрати енергії на фотохімічну реакцію з іншою молекулою або її реструктуризацію (при неповній реактивації).

На схемі позначені всі ймовірно можливі зміни енергетичного стану біоорганічної молекули з трьома енергетичними рівнями збудження електронів.

Розглянемо процес ступінчастої двофотонної фотореактивації. При поглинанні фотона первинного випромінювання $h\nu_1$ молекула переходить

із вихідного (нейтрального) стану з енергією A_0 в збуджений (достатньо тривалий) стан A^* .



У цьому стані молекула поглинає квант вторинного (реактивуючого) випромінювання $h\nu_2$ і переходить у стан зі ще більшою енергією A^{**} .



Ймовірний час життя τ^{**} молекули в цьому стані малий і вона переходить у початкове енергетичне становище, випромінюючи короткохвильовий квант $h\nu_f$ (причому $h\nu_f \geq h\nu_1 > h\nu_2$, але $h\nu_f < h\nu_1 + h\nu_2$),

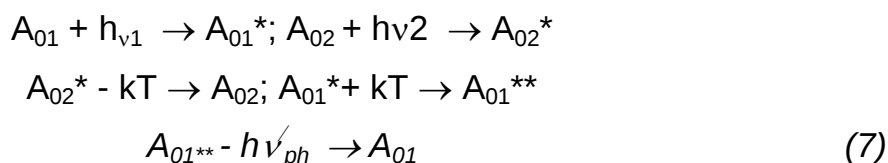


або безвипромінювально – віддаючи енергію збудження в сусідні молекули резонансним, індукційним або екситонним шляхом.



Сучасні дослідження підтверджують можливість також кооперативного двоквантового поглинання. У цьому випадку, первинний фотон випромінювання поглинається однією молекулою, а фотон реактивуючого випромінювання – іншою молекулою. Поглинена двома молекулами енергія мігрує до однієї з них, переводячи її в більш високий збуджений енергетичний стан, із якого ця молекула легко повертається в початковий, незбуджений стан A_0 з випромінюванням сумарно поглиненої енергії.

Цей процес записується таким чином :



Згідно із законом квантової еквівалентності Ейнштейна, число реагуючих молекул M пропорційно квантовому виходу фотореакції η

$$M = \eta N_\phi, \quad (8)$$

де N_ϕ – кількість поглинених квантів випромінювання,

η – квантовий вихід фотореакції.

Тоді залежність кількості молекул, що беруть участь у фотопроцесі, від інтенсивності збуджуючого випромінювання з достатньою точністю можна описати такими виразами:

При ступінчастому збудженні молекули

$$\frac{dn^{**}}{dt} = n^* B_{23} \rho_{23} - n^{**} \frac{1}{\tau^{**}}, \quad (9)$$

$$\frac{dn^*}{dt} = n_0 B_{12} \rho_{12} - n^* (B_{23} \rho_{23} + \frac{1}{\tau^*}) , \quad (10)$$

де n^* , n^{**} – число молекул у збудженому стані, відповідно, на первинному і реактивуючому енергетичних рівнях (A^* , A^{**});

B_{12} і B_{23} – ймовірності збудження електронів молекул, відповідно, на енергетичні рівні $S_1(T_1)$ і $S_3(T_3)$;

S_i , T_i – дозволені синглетний та триплетний енергетичні рівні збудження;

ρ_{12} і ρ_{23} – щільності потоку фотонів збуджуючого випромінювання, відповідно, з першого на другий та з другого на третій енергетичні рівні;

τ^* і τ^{**} – період часу знаходження молекул у першому і другому збуджених станах.

Розв'язок цих рівнянь дає можливість визначити кількість реактивованих молекул

$$n^{**} = n_0 \frac{B_{12} B_{23} \rho_{23} \tau^* \tau^{**} \rho_{12}}{1 + B_{23} \rho_{23} \tau^*} . \quad (11)$$

Аналіз рівняння (11) свідчить, що у випадку $B_{23} \rho_{23} \geq \frac{1}{\tau^*}$, число молекул у стані реактиваційного збудження визначатиметься спрощеним виразом

$$n^{**} = n_0 B_{12} \rho_{12} B_{23} \rho_{23} \tau^* \tau^{**} , \quad (12)$$

тобто число молекул у вищому фотореактивованому збудженому стані є пропорційним добутку щільності потоків випромінювання обох ступенів збудження (добутку інтенсивностей потоків фотонів збуджуючого і реактивуючого випромінювань).

Навпаки, якщо $B_{23} \rho_{23} \ll \frac{1}{\tau^*}$, то

$$n^{**} = n_0 B_{12} \tau^{**} \rho_{12} , \quad (13)$$

тобто число фотореактивованих молекул лінійно залежить від інтенсивності потоку випромінювання первинного збудження.

У випадку кооперативного механізму збудження фотореактивації, рівняння (12) і (13) записуються так

$$\frac{dn^{**}}{dt} = \alpha(n^*) - n^{**} \frac{1}{\tau^{**}} , \quad (14)$$

$$\frac{dn^*}{dt} = n_0 B_{12} \rho_{12} - n^* \frac{1}{\tau^*} - 2\alpha(n^*)^2 , \quad (15)$$

де $\alpha(n^*)$ – кількість збуджених до першого енергетичного рівня молекул, які віддають енергію збудження сусіднім молекулам для переведення їх на другий збуджений рівень (коефіцієнт кооперативної взаємодії);

n^{**} – кількість молекул, у яких фотореактивується первинне збудження.

Аналогічно двофотонному збудженню, можна констатувати, що у випадку $\frac{n^*}{\tau} \gg 2\alpha(n^*)^2$ кількість збуджених до першого енергетичного рівня молекул визначається з виразу

$$n^* = n_0 B_{12} \rho_{12} \tau^* ; \quad (16)$$

збуджених на другий (реактивований) енергетичний рівень

$$n^{**} = \alpha n_0^2 B_{12}^2 \rho_{12}^2 (\tau^*)^2 \tau^{**} , \quad (17)$$

тобто кількість збуджених до фотореактивованого стану молекул у квадратичній степені залежить від інтенсивності збуджуючого випромінювання.

Якщо $\frac{n^*}{\tau} \ll 2\alpha(n^*)^2$, то кількість молекул, збуджених на обидва енергетичні рівні, визначається лінійною залежністю від інтенсивності потоку фотонів лише збуджуючого випромінювання

$$n^* = \frac{1}{2\alpha} n_0 B_{12} \rho_{12} , \quad (18)$$

$$n^{**} = \frac{1}{2} n_0 B_{12} \rho_{12} \tau^{**} . \quad (19)$$

Оскільки в процесі фотореактивації значна ймовірність відновлення початкового стану збуджених молекул із випромінюванням фотонів оптичного випромінювання (флуоресценції), енергія яких відповідає повній енергії на фотореактивацію, то кількість фотореактивованих молекул біооб'єкта можна визначити за інтенсивністю потоку цих фотонів, тобто за інтенсивністю флуоресценції, або в загальному випадку – за інтенсивністю і спектром люмінесценції.

Так, для випадку, коли випромінювальна дезактивація високоенергетичного збудженого стану (A^{**}) здійснюється за час, значно менший, ніж періоди життя проміжних станів (протилежний випадок – поки що неінформативний) вирази для визначення випромінювання люмінесценції при ступінчатому або кооперативному механізмі збудження мають такий вигляд:

- при ступінчатому збудженні молекул процес зміни інтенсивності їх люмінесценції, після припинення дії реактивууючого збудження, буде відповідати експоненціальному закону

$$n^{**}(t) = n_0^{**} \cdot e^{-t/\tau^{**}} \quad (20)$$

- залежність для визначення інтенсивності люмінесценції, у випадку кооперативного механізму фотореактивації, має вигляд

$$n^{**}(t) = n^{**} \frac{e^{-2t/\tau^{**}}}{[1 - 2\alpha\tau^{**} n^{*}(1 - e^{-t/\tau^{**}})]^2} \quad (21)$$

З (21) очевидно, що при кооперативному механізмі процес реактивації молекул другого збудженого стану є складною функцією від часу життя молекул у першому збудженому стані τ^{*} та кількості (концентрації) молекул у цьому стані, n^{*} .

Наявність у біологічних об'єктах, при їхньому опроміненні, двоквантового процесу поглинання енергії опромінювання, тобто практичне підтвердження запропонованого пояснення механізму фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання можна визначити експериментальним шляхом за такою методикою:

- після первинного акту опромінення досліджуваного об'єкта короткохвильовим оптичним випромінюванням (необхідної біологічної дії) заміряти спектр його вимушеної люмінесценції;

- послідовно за першим опроміненням, вчинити керований акт опромінення об'єкта довгохвильовим випромінюванням, змінюючи час і інтенсивність цього реактивуючого випромінювання, і знову визначити спектр люмінесценції;

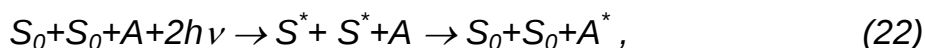
- у випадку виявлення двоквантового процесу поглинання, у спектрі люмінесценції буде спостерігатися зсув максимуму інтенсивності випромінювання у більш короткохвильову область (порівняно зі спектром люмінесценції від первинного опромінювання).

Варто зазначити, що основна складність виконання експериментів полягає в необхідності застосування джерел опромінення, що працюють як у безперервному, так і в імпульсному режимі, причому, тривалість імпульсів повинна бути сумісною з тривалістю міжмолекулярних процесів (близько 10^{-6} с). Іншою важливою особливістю експерименту є необхідність використання швидко реєструючих спектрофотометрів із високою чутливістю і широким спектральним діапазоном можливості вимірювання випромінювання оптичного діапазону.

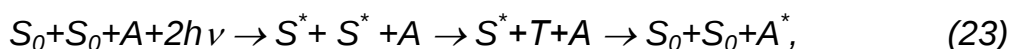
Класичні експериментальні дослідження, що підтверджують наявність ступінчастого й кооперативного двоквантового збудження молекул біологічних об'єктів, довели академіки В. В. Овсянкін і П. П. Феофілов [3] у дослідженнях на різноманітних рослинах. Автори відзначають переважно кооперативне збудження молекул, зумовлене високою організацією і складністю рослинних молекул.

Автори вирізняють такі основні схеми процесу фотореактивації поглиненої енергії

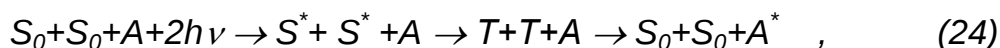
синглет-синглетна кооперація



синглет-триплетна кооперація



триплет-триплетна кооперація



де S_0 – основний енергетичний стан біологічної молекули;

S^* – збуджений синглетний енергетичний рівень (орбіталь) молекули;

T – триплетний (метастабільний) рівень збудження молекули;

A – акцептор (кооперативний приймач) енергії збудження (ним може бути аналогічна молекула або молекула-пігмент, реагуюча на випромінювання).

Отримана акцептором енергія може бути віддана у вигляді випромінювання люмінесценції з відновленням основного енергетичного стану збуджуваної молекули.

Висновки

При відомій будові органічних складових у біологічних об'єктах і визначених їх оптичних характеристиках: спектрах поглинання, відбивання, люмінесценції і т. д., із достатнім ступенем точності можна прогнозувати вплив тієї або іншої ділянки спектра оптичного випромінювання. При цьому можна підсилювати або зменшувати цей вплив більш довгохвильовим випромінюванням. Таким чином, створюються передумови оптичного регулювання дією фотобіологічного процесу (наприклад, можливо регулювати процеси утворення листя або квітів у рослин, строку їх дозрівання та інше).

Список літератури

1. Левин В. Л. Современное состояние проблемы фотореактивации / В. Л. Левин // Фотобиология животной клетки. – Л. : Наука. – 1979. – С. 96–107.
2. Мельник И. Л. Сравнительное действие УФ и ИК радиации на организм некоторых сельскохозяйственных животных / И. Л. Мельник // Ультрафиолетовое излучение и его применение в биологии. – Пущино-на-Оке : Изд-во АН СССР. – 1973. – С. 182–192.
3. Овсянкин В. В. Кооперативная сенсбилизация фотофизических и фотохимических процессов / В. В. Овсянкин, П. П. Феофилов // Молекулярная фотоника. – Л. : Наука. – 1970. – С. 86–105.
4. Посудин Ю. И. Применение оптических стимулов в биологических исследованиях / Ю. И. Посудин, Л. С. Червинский // Методы и средства повышения надежности силового электрооборудования в условиях с. х. производства. – К. : УСХА. – 1984. – С. 62–70.
5. Самойлова К. А. Ослабление видимым светом эритемообразующего действия УФ-излучения на кожу человека / К. А. Самойлова, Н. В. Сущенко, С. М. Витушкина // Проблемы практической фотобиологии. – Пущино-на-Оке : Изд-во АН СССР. – 1977. – С. 25–30.

6. Шевель С. С. Действие ОИ на кожно-шерстный покров сельскохозяйственных животных / С. С. Шевель, Л. С. Червинский // Механизмы и оценка эффективности действия оптического излучения на биологические системы. – Пуццо : Изд. АН СССР. – 1985. – С. 77–85.

7. Chervinsky L. About the mechanism of photoreactivation of the biological objects / L. Chervinsky // The European Biomedical Optics Week. – Sanremo : BIOS. – 1997. – P. 28–30.

8. Smith K. The science of Photobiology / K. Smith. – N.Y. : Pl. Press, 1977. – 430 p.

9. Stieve H. The molecular mechanism of photoreception / H. Stieve. – Berlin : Springer-Verlag, 1986. – 506 p.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕАКТИВАЦИИ

Л. С. Червинский, Т. С. Книжка, А. И. Романенко, Я. Н. Луцак

Аннотация. *Рассмотрена теория объяснения первичного механизма процесса фотореактивации, позволяющая прогнозировать данный процесс и использовать его реальных условиях получения продукции животноводства и птицеводства.*

Ключевые слова: *фотореактивация, фотон, биологические объекты, оптическое излучение*

THEORETICAL BASIS OF THE MECHANISM OF ACTION OF OPTICAL RADIATION ON BIOLOGICAL SYSTEMS BASED ON PHOTOREACTIVATION

L. Chervinskiy, T. Knizhka, A. Romanenko, Y. Lutsak

Annotation. *The article deals with the theory explaining the primary mechanism of photoreactivation process that allows to predict the process and use of its real conditions producing meat and poultry products.*

Key words: *photoreactivation photon, biological objects, optical radiation*

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ СУЛЬФАТІВ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ

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 спектральні властивості сульфатів лужних металів – спектри поглинання, фотолюмінесценції, рентгенолюмінесценції, фотозбудження люмінесценції та спектри комбінаційного розсіяння як монокристалічних зразків, так і порошків сульфатів лужних металів.

Ключові слова: спектри фотолюмінесценції та рентгенолюмінесценції, центр люмінесценції, сульфати лужних металів

Дослідження спектральних властивостей сульфатів лужних металів викликають як науковий, так і практичний інтерес. Так, належний до сульфатів лужних металів сульфат калію K_2SO_4 є представником структури великої групи кристалів типу A_2BX_4 – так званого сімейства сульфату калію, яке налічує понад 300 сполук. Наявність ряду температурних структурних фазових переходів (ФП) різної природи, можливість існування співмірно та неспівмірно-модульованих фаз із сегнетоелектричними, сегнетоеластичними і суперіонними властивостями є характерною ознакою сульфату калію та інших кристалів цієї групи. Серед них кристали сульфатів і, зокрема,

K_2SO_4 характеризуються високою оптичною прозорістю, є термічно стійкими. Такі властивості дають змогу на їх прикладі вивчати фізичні процеси, характерні для кристалів усього сімейства. Існують також певні перспективи практичного застосування кристалів сульфатів лужних металів. Пов'язано це з їх сегнетоелектричними характеристиками, а також з властивим їм явищем екзоemisії електронів.

Мета досліджень – визначити спектральні властивості сульфатів лужних металів – спектри поглинання, фотолюмінесценції, рентгенолюмінесценції, фотозбудження люмінесценції та спектри комбінаційного розсіяння монокристалічних зразків і порошків сульфатів лужних металів. Такі дослідження мають не тільки науковий інтерес із позиції фізики люмінесцентних процесів у таких матеріалах, але й дають інформацію щодо структури центрів поглинання та випромінювання в матеріалах, що відомі своїми практичними застосуваннями. Тому такі дослідження є актуальними та перспективними.

Матеріали та методика досліджень. Досліджували монокристалічні та полікристалічні зразки сульфатів лужних металів (наприклад K_2SO_4). Під полікристалічними зразками розуміються як такі,

що мають вигляд мозаїчних блоків, які складаються з невеликого розміру монокристалів, так і дрібнодисперсні порошки сульфатів лужних металів. Усі зразки готувалися з попередньо осушених у форвакуумі (0,05 мм. рт. ст.) за температури ~ 100 С вихідних солей Me_2SO_4 фабричного виробництва. Саме за таких температур солі сульфатів, зокрема сульфату калію, ефективно втрачають воду. Монокристали сульфату калію вирощували випаровуванням із водного розчину солі.

Мозаїчні зразки одержували з розплаву шихти осушених солей сульфатів. Шихта розплавлялася у відкачаних до форвакууму кварцевих ампулах. За температур, що приблизно на 50 °С перевищували температури плавлення відповідних солей сульфатів, розплав витримувався близько 30 хвилин. Потім його повільно (~ 14 годин) охолоджували. Одержані зразки мали вигляд композиції блоків із окремих монокристалів розмірами ~ 10 мм³. Дрібнодисперсні порошки одержували розтиранням осушених вихідних солей сульфатів та в деяких випадках – розтиранням мозаїчних зразків.

Люмінесценцію досліджували за $T = 4,2$, 77 та 300 К. Зразки розміщували в гелієвому або азотному кріостатах, в 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 $300\text{--}650$ нм), яке розкладали у спектр за допомогою подвійного призмового монохроматора ДМР – 4. Спектрометр ДФС – 12 (обернена лінійна дисперсія 10 Å/мм) використовували для реєстрації спектрів люмінесценції.

Спектри люмінесценції при збудженні в області вакуумного ультрафіолету та спектри, збуджені в цій області, вимірювалися на станції SUPERLUMI синхротрону DESY в м. Гамбург (Німеччина). Спектри люмінесценції записувалися в діапазоні довжин хвиль $275\text{--}950$ нм і спектри збудження люмінесценції – у діапазоні $50\text{--}334$ нм за температур від низьких (гелієвих) 10 К до 300 К.

Спектри рентгенолюмінесценції реєструвалися за одночасного опромінення неперервним рентгенівським джерелом приблизно впродовж 1200 с, за кімнатної температури й за температури рідкого азоту ($T = 300$ і 77 К відповідно).

Результати досліджень. Досліджувані монокристали K_2SO_4 характеризувалися пропусканням в області $12000\text{--}32000$ см⁻¹ (рис. 1, крива 6). У цій самій області розташовуються й смуги РЛ такого кристала (рис. 1, крива 1). За температури 77 К спостерігаються такі самі смуги синьо-зеленого випромінювання, але при деякій зміні співвідношення їх інтенсивностей (рис. 1 б). З цього ж рисунку видно, що спектр РЛ для монокристала практично співпадає зі спектром порошку вихідної солі сульфату калію з тією особливістю, що короткохвильова смуга з максимумом в околі 400 нм тут послаблена.

При фотозбудженні (потужний ультрафіолет: сфокусоване лазерне випромінювання з $\lambda_{36}=337,1$ нм) ця остання смуга практично зникає (це

особливо стосується монокристалічних зразків); послаблюється при цьому й смуга з $\lambda_{\text{мак}} \approx 470$ нм (22275 см^{-1}) (рис. 1 в).

Відпал порошоків у вакуумі в діапазоні відносно низьких температур (до 400 С) не призводить до суттєвих змін у спектрах випромінювання, однак при подальшому підвищенні температури відпалу зазначене раніше свічення практично зникає і виникає інтенсивне зелене свічення, що, порівняно з описаним вище, характеризується відносно вузькою спектральною смугою з $\lambda_{\text{мак}} \approx 485$ нм при $T = 77 \text{ К}$.

Подальше підвищення температури відпалу призводить до зникнення зазначених “зеленої” та “жовтої” смуг, натомість з’являється інтенсивне “оранжево-червоне” свічення. Спектр цього випромінювання, як правило, має “тонку” структуру як регулярні смужки, що проявляються на безструктурному фоні. Подібні ж спектри мають зразки одержані після кристалізації розплавлених солей (рис. 1, крива 7).

Розглянуті вище на прикладі сульфату калію люмінесцентні характеристики стосуються також і сульфатів інших лужних металів: натрію, калію та рубідію. Отже, сукупність вихідних та оброблених певним чином зразків сульфатів характеризується трьома типами свічення: а) “синьо-зелене” широкосмугове випромінювання невідпалених зразків; б) “зелене” вузькосмугове та “жовте” випромінювання зразків, відпалених низьких температур; в) структурне “оранжево-червоне” випромінювання зразків одержаних за високих температур відпалу та з розплаву.

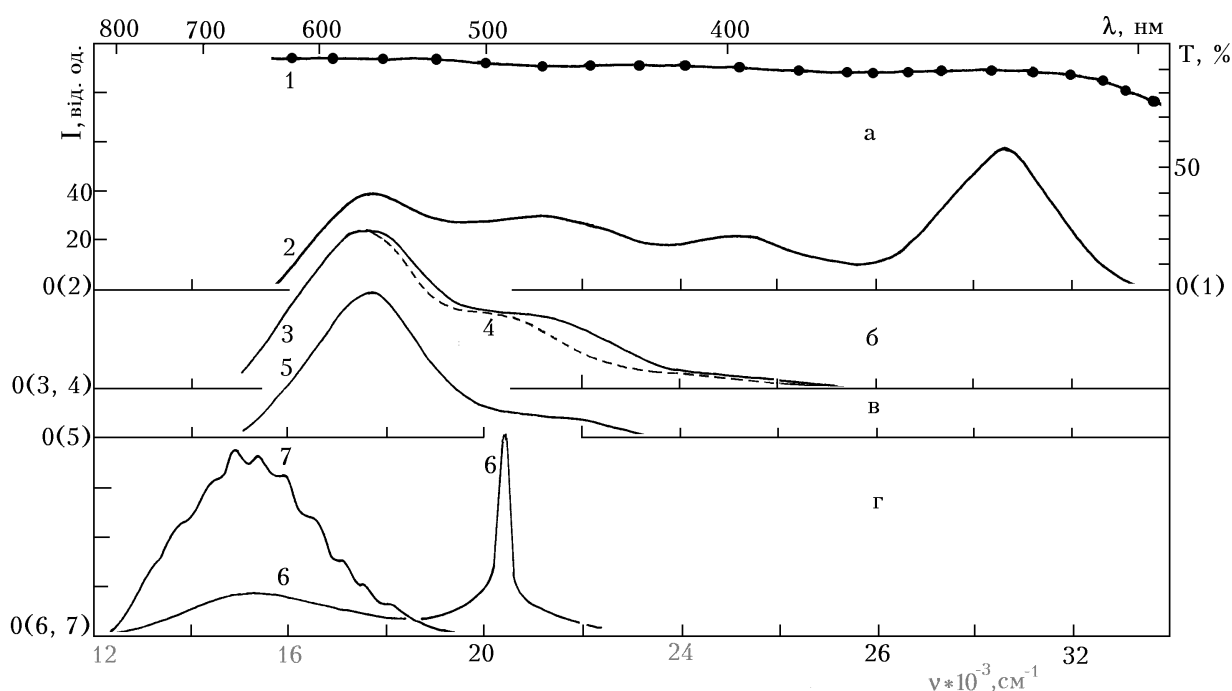


Рис. 1. Спектр пропускання (1), РЛ (2-4) і ФЛ (5-7) сульфату калію при $\lambda_{36} = 337,1$ нм і за температури 4,2 (1, 2) та 77 К (3-7):

1–3 – монокристал; 4–7 – полікристалічні зразки; 3–5 – вихідні, тобто не відпалені, зразки; 6 – зразок відпалений при $T = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 7 – відпал при $T \geq 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ та кристалізація з розплаву

Усі три смуги, що характеризують це свічення (рис. 2), певною мірою залежать від наявності спеціально введених домішок типу катіонів лужно-земельних елементів, катіонів талію, свинцю, нікелю та ін.

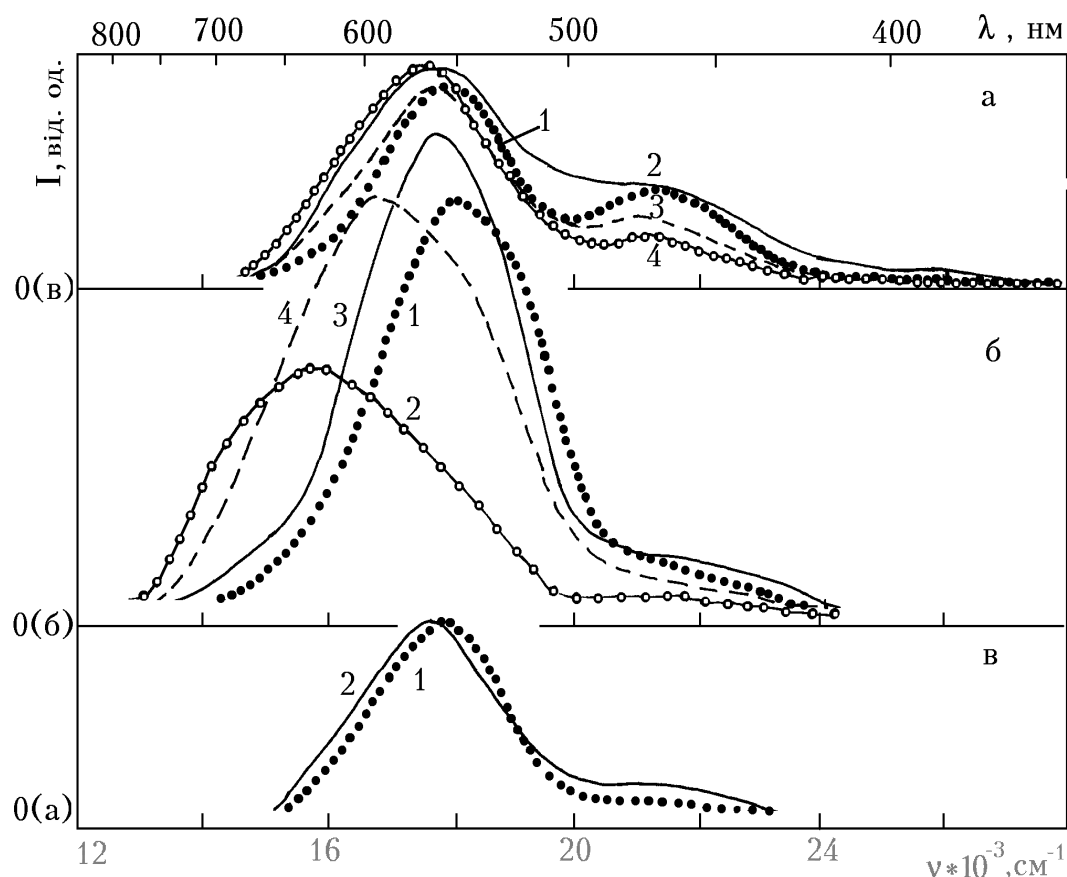


Рис. 2. Спектри невідпалених зразків сульфатів натрію (1), калію (2), рубідію (3) і цезію (4) при рентгенівському (а) та фотозбудженні ($\lambda_{\text{зб}} = 337,1$ нм) (б, в). Температура зразків 77 (а, б) і 4,2 К (в)

При цьому спостерігається деяка невідтворюваність положення максимумів, форми контуру, співвідношення інтенсивностей характеристик від зразка до зразка. Однак, хоча в поведінці різних смуг і виявляються певною мірою однотипні залежності, але, слід відрізняти за характером короткохвильові смуги від найбільш довгохвильової.

Сині смуги в діапазоні $20000\text{--}28000\text{ см}^{-1}$. У цьому діапазоні спостерігалися дві смуги випромінювання. За своєю поведінкою вони також між собою дещо відрізняються. Короткохвильова має невелику інтенсивність навіть при рентгенівському збудженні. У ФЛ вона практично відсутня. Більш довгохвильова смуга з цих двох ($\lambda_{\text{мак}} \cong 475$ нм) (рис. 1 в) спостерігалася як при рентгенівському, так і при УФ збудженні. Вона існує для кристалів сульфатів із різними катіонами ґратки; її інтенсивність відносно інших смуг значно зростає при рентгенівському збудженні й залежить від дози опромінення (збільшується зі зростанням), а форма та положення її максимуму зазнають при цьому незначних змін.

Таким чином, можна говорити, що ці смуги належать центрам, що не пов'язані між собою. За своїми характеристиками вони подібні до

розглянутих у роботах, де мали справу з нелегованими кристалами сульфатів. Їх можна, враховуючи наведені вище ознаки та висновки зазначених робіт, приписати центрам забарвлення, що, можливо, утворюються на основі радикалів SO_2^- , SO_3^- , S_2O_3^- , або ж з одно- та двоелектронними F та F_2 центрами. Більш конкретну інтерпретацію цієї смуги дати поки що неможливо, враховуючи, зокрема, відому подібність властивостей одно- та двозарядових молекулярних радикалів сульфатів.

«Зелена» смуга. Цю смугу, за аналогією з центрами CrO_4^{2-} , можна віднести до випромінювання молекулярних груп SO_4^{2-} , що сильно zdeформовані внаслідок взаємодії з дефектами й утворюють з ними комплексні центри. Дефектами можуть бути, наприклад, вакансії або домішки. Така точка зору узгоджується з виявленою залежністю максимуму цієї смуги від типу катіона, а її інтенсивності – від способу одержання кристала, наявності домішок та їх концентрацій. Форма контуру цієї смуги за температури 77 K без сумніву свідчить про те, що вона складається з декількох смуг, що напевно відповідають випромінюванню різного типу комплексних центрів. Якщо за низьких ($\sim 4,2$ K) температур світлом збуджується тільки окремий тип центрів, то при підвищенні температури енергія від дефектів, що її поглинули, передається на молекулярні центри різного типу, що й призводить до складного вигляду відповідних спектрів (рис. 1 б).

Суттєвим, однак, є і факт зростання інтенсивності довгохвильової смуги при переході від рентгенівського до УФ збудження. Це означає, що її збудження відбувається за рахунок переходів у забороненій зоні.

Разом з тим помічена аналогія в температурній залежності інтенсивності як при рентгенівському, так і при фотозбудженні (рис. 3) свідчить про подібність механізмів збудження: захоплення електрона центром свічення. Тобто не виключено, що центром свічення є молекулярний сульфатний аніон SO_4 , зарядовий стан якого відрізняється від стану 2-.

Відзначимо, що подібна інтерпретація довгохвильових смуг люмінесценції, як таких, що належать дефектним МА кристалів, узгоджується також із результатами досліджень теплового гасіння синьо-зеленої ФЛ кристалів сульфатів (рис. 3).

Для смуг РЛ та ФЛ було можливим провести дослідження температурної залежності інтенсивності довгохвильової смуги окремо та сумарної інтенсивності для всіх більш короткохвильових. Як видно, нормовані залежності РЛ для монокристалів та порошків практично ідентичні. Для ФЛ виділяються дві ділянки температур: 0 - 60 K та $T > 60$ K. На першій з них спостерігається зростання інтенсивності люмінесценції, причому для довгохвильової смуги воно сильно виражене, тоді як для короткохвильового випромінювання таке зростання ледь помітне.

Для смуг РЛ та ФЛ було можливим провести дослідження температурної залежності інтенсивності довгохвильової смуги окремо та сумарної інтенсивності для всіх більш короткохвильових. Як видно,

нормовані залежності РЛ для монокристалів та порошків практично ідентичні. Для ФЛ виділяються дві ділянки температур: 0 - 60 К та $T > 60$ К.

На першій з них спостерігається зростання інтенсивності люмінесценції, причому для довгохвильової смуги воно сильно виражене, тоді як для короткохвильового випромінювання таке зростання ледь помітне.

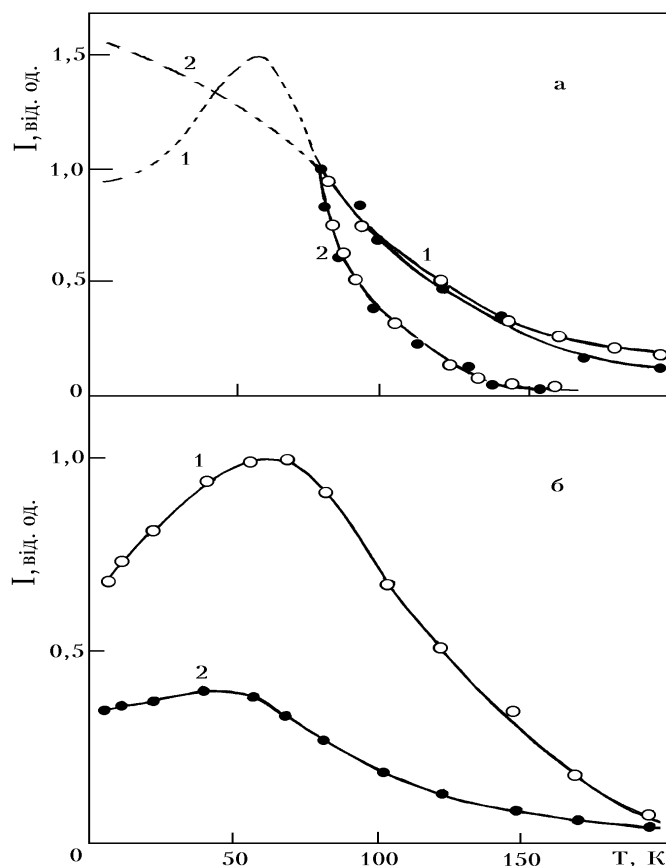


Рис. 3. Температурні залежності інтенсивності довгохвильової (1) та сумарної інтенсивності короткохвильових смуг (2) рентгено- (а) та фотолюмінесценції (б) монокристала (світлі точки) та порошка (чорні точки) сульфату калію

Високотемпературна ділянка гасіння непогано описується формулою Мотта з енергіями активації ΔE_a : 380 ± 40 і 400 ± 40 см^{-1} при рентгенівському та фотозбудженні відповідно і, як видно, ці значення близькі до частот ($420\text{--}650$ см^{-1}) деформаційних коливань сульфат-аніонів у сполуках M_2SO_4 .

Висновки

1. Відпалені полікристалічні сульфати лужних металів за низьких температур виявляють помітну ФЛ, яка практично не спостерігається за тих самих умов для відповідних монокристалів.

2. Характер люмінесценції залежить від умов термообробки. Очевидно, залежно від них, змінюється співвідношення кількості центрів, що відповідають за те чи інше свічення.

3. “Синьо-зелена” люмінесценція невідпалених зразків пов’язана з дефектністю їх структури. Такими дефектами можуть бути сульфатні молекулярні групи типу SO_2^- , SO_3^- , S_2O_3^- і основна сульфатна група матриці – сульфатний аніон SO_4^{2-} з надлишковим зарядом.

Збудження центрів “синьо-зеленої” люмінесценції може відбуватися як напряму, так і за рахунок переносу енергії, або заряду від дефектів матриці.

Список літератури

1. Гринев Б. В. Оптические монокристаллы сложных оксидных соединений / Гринев Б. В., Дубовик М. Ф., Толмачев А. В. – Х. : Институт монокристаллов, 2002. – 265 с.
2. Blasse G. Luminescent materials. – Amsterdam: Elsevier, 1996. – 214 p.
3. Крэбс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений / Г. Крэбс. – М. : Мир, 1971. – 304 с.
4. Ребане К. К. Элементарная теория колебательной структуры спектров примесных центров кристаллов / К. К. Ребане. – М. : Наука, 1968. – 231 с.
5. Цяченко Ю. П. Статическое и динамическое взаимодействие примесных молекулярных анионов XO_4^{2-} ($\text{X} = \text{Cr}, \text{Se}, \text{Mo}, \text{W}$) с кристаллическими решетками K_2SO_4 и Na_2SO_4 / Ю. П. Цяченко, Г. Е. Краснянский, В. М. Запорожец // ФТТ. – 1977. – Т. 19, N 4. – С. 1144–1149.
6. Структура центров поглощения и люминесценции в кристаллах галоидных солей калия и цезия с примесью тетраэдрических анионов / М. У. Белый, В. В. Бойко, Ю. Д. Глинка и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. – 1989. – Т. 53, № 9. – С. 1778–1782.
7. Бойко В. В. ИК-спектры поглощения примесных тетраэдрических анионов в кристаллах CsCl / В. В. Бойко, И. Я. Кушнirenко, Х. К. Максимович // Оптика и спектроскопия. – 1981. – Т. 50, № 6. – С. 778–785.
8. Бойко В. В. Влияние внешнего окружения на колебательные спектры примесных анионов SO_4^{2-} и SO_3^{2-} в кристаллах KCl и KBr / В. В. Бойко, И. Я. Кушнirenко, В. И. Вайданич // Физика твердого тела (ФТТ). – 1983. – Т. 25, № 3. – С. 861–869.
9. Бойко В. В. Локальная симметрия примесных анионов SeO_3^{2-} в кристаллах CsCl , CsBr , CsI / В. В. Бойко, И. Я. Кушнirenко, В. И. Вайданич // Журнал Прикладной Спектроскопии (ЖПС). – 1983. – Т. 39, № 6. – С. 803–809.
10. Бойко В. В. Низкотемпературные ИК спектры высокого разрешения кристаллов KCl и KBr в области полносимметричного колебания аниона SO_4^{2-} / В. В. Бойко, И. Я. Кушнirenко, В. П. Щербацкий // Оптика и спектроскопия – 1987. – Т. 63, вып. 1. – С. 222 – 224.
11. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М. : Мир, 1966. – 411 с.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СУЛЬФАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. В. Бойко, О. В. Гоменюк, С. Г. Недилько

Аннотация. *Исследованы спектральные свойства сульфатов щелочных металлов – спектры поглощения, фотолюминесценции, рентгенолюминесценции, фотовозбуждения люминесценции и спектры комбинационного рассеяния как монокристаллических образцов, так и порошков сульфатов щелочных металлов.*

Ключевые слова: *спектры фотолюминесценции и рентгенолюминесценции, центр люминесценции, сульфаты щелочных металлов*

LUMINESCENT PROPERTIES OF SULFATES OF ALKALINE METALS

V. Boyko, O. Gomenyuk, S. Nedilko

Annotation. *Spectral properties such as spectra of absorption, photoluminescence, X-rays luminescence, photo excitation, raman spectra of single crystal and powders of sulfates of alkaline metals have been investigated.*

Key words: *spectra of photoluminescence, X-rays luminescence, center of luminescence, sulfates of alkaline metals*

**ЕНЕРГОАУДИТ ХЛІБОКОМБІНАТУ – ОСНОВА РОЗРОБКИ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ І СТВОРЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ**

***В. В. Момотюк, інженер
Мирогощанський аграрний коледж
В. В. Козирський, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. *Проведено енергоаудит хлібокомбінату. Показано, що розробка інтелектуальної системи управління енергоефективністю хлібокомбінату дасть змогу заощадити енергоресурси, сировину й трудові витрати.*

Ключові слова: *енергоаудит, хлібокомбінат, інтелектуальна система управління, електротехнологічний комплекс*

Нині в хлібопекарській промисловості України необхідна ефективна й грамотна політика модернізації галузі. Одним із таких напрямів є впровадження у виробництво нових енергоощадних і ресурсозберігальних технологій.

Основою ефективності роботи хлібопекарського підприємства є якість продукції, мінімальний час виробничого циклу, а також зниження матеріальних, енергетичних і трудових витрат. На сьогодні, у зв'язку зі зростанням тарифів на енергоносії енергетична складова суттєво впливає на собівартість продукції. Одним зі шляхів підвищення ефективності виробництва є використання інтелектуальних систем управління, що уможливають швидку та ефективну реалізацію складних обчислювальних процедур енергоефективного керування при забезпеченні якості продукції.

Ключовою передумовою для енергоефективного управління електротехнологічним комплексом хлібокомбінату є така техніко-економічна залежність: якщо енергетичні витрати хлібозаводу становлять 2,5 % від сукупних витрат, а його прибуток становить 5 % від обороту, то зниження енергетичних витрат на 10 % еквівалентно зростанню прибутку на 5%.

Початковим етапом впровадження енергоефективних технологій на підприємствах хлібопекарської галузі є енергоаудит підприємства.

Мета досліджень – проведення енергоаудиту електротехнологічного комплексу хлібозаводу для зниження собівартості виробленої продукції за рахунок виявлення та реалізації техніко-технологічного потенціалу енергозбереження.

Матеріали та методика досліджень. Основні етапи робіт енергетичного аудиту:

1. Збір та аналіз вихідних даних по об'єкту:

- договори енергопостачання; дані по основному енергетичному устаткуванню і режимах його роботи;
- дані з технологічного устаткування, технологічні карти;
- проекти модернізації та реконструкції;
- виробничий план підприємства.

2. Обстеження системи енергопостачання підприємства:

- Котельня підприємства, складання балансової схеми;
- система електропостачання підприємства, тепловізійна діагностика електрообладнання;
- система водопостачання підприємства, аналіз ефективності роботи насосних груп;
- система холодопостачання;
- система виробництва стисненого повітря;
- система вентиляції та кондиціонування;
- система освітлення виробничих цехів і адміністративних приміщень.

3. Обстеження електротехнологічного обладнання:

- обладнання для зберігання та підготовки борошна;
- обладнання для охолодження дріжджів і води;
- тістоприготувальні машини;
- розстійні шафи;
- хлібопекарські печі;
- комплекс охолодження і зберігання готової продукції.

4. Заключний етап – формується звітна документація за результатами проведеного енергетичного обстеження:

- звіт (пояснювальна записка) за результатами проведеного енергетичного обстеження;
- енергетичний паспорт підприємства;
- комплект техніко-економічних обґрунтувань щодо підвищення енергетичної ефективності підприємства.

Саме на основі даних, зібраних під час проведення енергоаудиту підприємства надалі розроблюється проект модернізації виробництва.

Результати досліджень. Типовий електротехнологічний комплекс хлібозаводу складається з основного електротехнологічного обладнання та системи енергопостачання підприємства (рис. 1).

Провівши огляд літератури та проаналізувавши існуючі розробки з підвищення енергоефективності хлібокомбінату, можна зробити висновок, що підприємства намагаються частково чи повністю модернізувати технологічне обладнання, впровадити автоматизовані системи управління хлібокомбінатом, вживають заходи економії енергоресурсів в технологічному процесі на вже існуючих апаратах.

Однак існує низка факторів, які впливають на режими споживання електроенергії, теплової енергії інших енергоресурсів. В умовах

виробництва, що розглядається, надзвичайну актуальність має когенерація тепла, використання акумуляторів тепла та ін. Врахування кількості факторів, ефективне управління процесами виробництва, прогнозування впливу на ефективність виробництва можливо при використанні інтелектуальних систем автоматики [4, 5].

Проте не існує теорії і практики впровадження інтелектуальних систем управління енергоефективністю електротехнологічних комплексів хлібокомбінатів. Тільки інтелектуальні системи управління можуть якісно та оперативно виконувати функцію взаємодії електротехнологічних підсистем між собою, використовувати максимально ефективно потенціал системи в цілому та окремо кожної підсистеми. І в кожний конкретний момент часу, врахувавши особливості процесу виробництва, динаміку зовнішніх і внутрішніх факторів, забезпечити стабільну якість продукції та економію енергоресурсів в умовах змінюваних параметрів об'єкта.

Основними організаційно-економічними факторами, що впливають на собівартість і збут готової продукції є: організація управління, закупівля сировини та контроль за її витрачанням, енергоефективне управління виробничим процесом, а також необхідність швидко реагувати на змінювані умови роботи.



Рис. 1. Типовий електротехнологічний комплекс хлібозаводу

Аналізуючи процес випікання хліба з точки зору системного аналізу, відзначаємо наявність ознак, які характерні для складних систем:

- у цій системі виділяється структурна сукупність підсистем, які взаємодіють між собою;
- кожна із систем може входити як підсистема в більш складну, у свою чергу, підсистеми можуть представлятись як системи молодшого рангу;
- складні системи взаємодіють із зовнішнім середовищем також як одне ціле;
- процес функціонування складних систем включає різні аспекти (перетворення речовини, енергії, інформації);
- ефективність діяльності системи може оцінюватись як співвідношення результатів перетворення сировини в готову продукцію або ступінь зменшення невизначеності або зменшення складності проблеми;
- мета функціонування складних систем управління полягає в підтриманні оптимальних режимів та адаптації до змінюваного зовнішнього середовища;
- процес функціонування складних систем управління – це сукупність процесів основного призначення та допоміжних (адаптація, розвиток, реконфігурація та ін.);
- у складних системах процеси управління реалізуються як із використанням зворотних зв'язків, так і з формуванням комплексу цілей, кожна з яких розв'язується своїм методом;
- у складних системах управління на кожному з етапів має свої особливості (збір інформації, її аналіз, вироблення управляючих дій, реалізація).

Технологічні передумови створення інтелектуальної системи управління виробництвом хлібокомбінату:

- нерозривність технологічної лінії;
- перспективи підвищення якості випічки – випічка хліба найвищої якості з мінімізацією трудомісткості;
- необхідність розширення асортименту хліба – можливість випічки різного асортименту хліба в окремих печах комплексу;
- економічність виробництва – можливість роботи тільки необхідної кількості печей залежно від вимог експедиції (асортименту);
- необхідність мінімізації енергетичних витрат.

Для опису зв'язків між підсистемами використовуємо один із методів математичного опису – теорію графів. Графові моделі поєднують у собі властивості графічного та множинного представлення з формуванням допоміжних матриць, які зручно використовувати для задач аналізу, синтезу та управління.

Електротехнологічний комплекс хлібокомбінату у повній комплектації являє собою складну систему, що складається з таких елементів:

1. Зберігання та дозування інгредієнтів (борошно, дріжджі, цукор, сіль і т. д.).
2. Заміс і оброблення тіста.
3. Розстійна шафа.
4. Хлібопекарська піч.
5. Охолодження готових виробів.
6. Упаковка.
7. Зберігання готової продукції.
8. Система водопостачання.
9. Пароконденсатна система, котельня.
10. Система повітропостачання.
11. Система холодопостачання.

Кожна з виокремлених підсистем являє собою важливу складову електротехнологічного комплексу, аналіз якого приведе до найбільш повного уявлення про сам процес і про можливість його регулювання. Додатковою складовою електротехнологічного комплексу вважаємо систему освітлення виробничих цехів та адміністративних приміщень. На основі технологічного аналізу складено повний потоковий граф хлібокомбінату (рис. 2), де вершинами є його функціональні елементи, а дугами – зв'язки між ними.

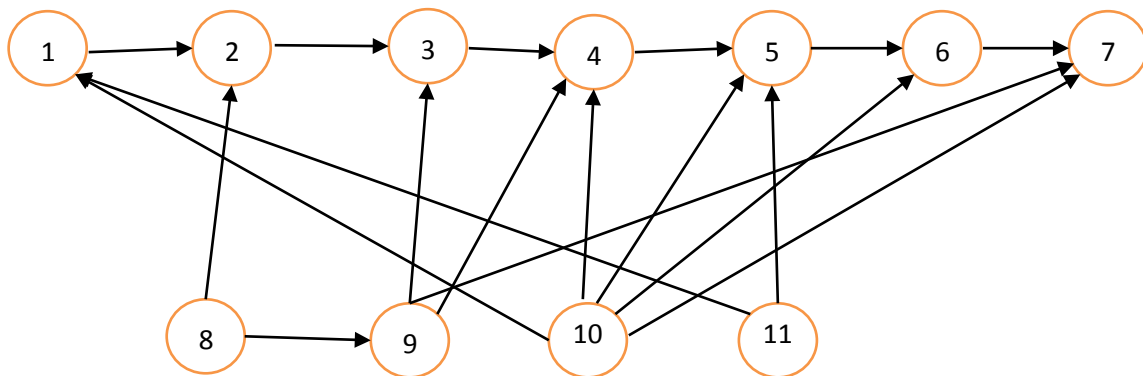


Рис. 2. Повний потоковий граф хлібокомбінату

Далі на основі повного потокового графу складаємо матрицю шляхів (табл. 1). Матриця є квадратною, кількість стовпців відповідає кількості елементів у складі технологічного комплексу. Якщо на графі є шлях будь-якої довжини з вершини i у вершину j , то на пересіченні i -го рядка та j -го стовпця ставиться одиниця, у протилежному випадку – 0.

На основі матриці шляхів P будується допоміжна матриця S (див. табл. 2).

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } p_{ij} = p_{j1} = 1 \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{cases}$$

1. Матриця шляхів Р

		Номер вершини графа, i										
Номер вершини графа, j		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	8	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	9	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	10	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
	11	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

2. Допоміжна матриця S

		Номер вершини графа, i										
Номер вершини графа, j		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	щ
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

На основі матриці S визначаються комплекси, які входять до складу системи. Якщо в i -му рядку є лише один ненульовий елемент S_{ii} (на головній діагоналі), то елемент системи з номером i можна вважати окремим комплексом.

Отже, проаналізувавши повний потоковий граф хлібокомбінату, матрицю шляхів та допоміжну матрицю, можна зробити висновок, що всі виділені підсистеми, які входять до електротехнологічного процесу виготовлення хлібобулочних виробів, з'єднані послідовно. А підсистеми енергопостачання підприємства впливають на окремі підсистеми електротехнологічного процесу. Таким чином, хлібокомбінат має всі ознаки складної системи з можливістю виокремлення окремих підсистем. Оскільки кожна з виокремлених підсистем має свої локальні цілі, то при функціонуванні системи в цілому, можуть виникнути конфліктні ситуації. Таким чином, виникає задача координації роботи підсистем. Розв'язком

задачі є визначення взаємодії підсистем, при цьому управління мають бути оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем та оптимальними за загальним критерієм для процесу в цілому.

Висновки

Нині провідну роль у вирішенні завдань підбору режимів і вибору оптимальних параметрів роботи підсистем та комплексу в цілому відіграє кваліфікація персоналу. Проте введення в технологічний процес сучасних інтелектуальних засобів комп'ютерної техніки дасть змогу підвищити оперативність і якість прийнятих рішень та дозволить враховувати як мету управління всієї системи, так і кожної підсистеми окремо.

Нині при вирішенні завдань автоматизації дедалі ширше застосування отримали засоби комп'ютерної техніки та сучасні інформаційні технології. Автоматизація інформаційних завдань дає змогу у виробничих умовах підвищити оперативність і якість прийнятих рішень.

Проблема якості готових виробів і зниження витрат енергоресурсів частково вирішуються за рахунок використання новітнього закордонного обладнання. Однак існуючі системи автоматизації технологічних процесів хлібопекарського виробництва не забезпечують оперативного комплексного керування процесом випікання хліба за умови енергоефективності роботи підприємства в цілому.

Рішення щодо зміни тих чи інших параметрів приймається системою після певного запізнювання в отриманні інформації. Сировина в процесі цього запізнювання вже встигає пройти частину виробничого циклу і на якомусь відрізку часу може бути випущена бракована продукція. При цьому виникає суперечність між тенденцією ускладнення об'єктів керування, що веде до збільшення числа контрольованих параметрів, і вимогою оперативності управління.

Отже, задача розробки інтелектуальної системи управління енергоефективністю хлібокомбінату є актуальною, а створення такої системи управління дасть змогу заощадити енергоресурси, сировину й трудові витрати.

Список літератури

1. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва / В. І. Дробот. – К. : Логос, 2002. – 365 с.
2. Кравчук Р. К. Автоматизация предприятий хлебопекарной промышленности Украины // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2014. – № 17. – С. 29–32.
3. Звіт Міжнародної фінансової корпорації (IFC) “Зниження енергетичних витрат на підприємствах хлібопекарської промисловості” – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ifc.org/rsefp
4. Лисенко В. П. Інтелектуальний електротехнічний комплекс для енергоефективного управління в теплиці / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, Т. І. Лендел // Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта : міжнар. наук.-практ. конф., 15–16 листоп. 2012 р. : тези доп. – К., 2012. – С. 64–65.

5. Дудник А. О. Побудова систем керування мікрокліматом у теплицях з використанням інтелектуальних складових / А. О. Дудник, В. П. Лисенко, Т. І. Лендел // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування : наук.-практ. конф., 16–18 жовт. 2013 р. : тези доп. – К., 2013. – С. 171–172.

**ЭНЕРГОАУДИТ ХЛЕБОКОМБИНАТА – ОСНОВА РАЗРАБОТКИ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И СОЗДАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ**

В. В. Момотюк, В. В. Козырский

Аннотация. *Проведен энергоаудит хлебокомбината. Показано, что разработка интеллектуальной системы управления энергоэффективностью хлебокомбината позволит сэкономить энергоресурсы, сырье и трудовые затраты.*

Ключевые слова: *энергоаудит, хлебокомбинат, интеллектуальная система управления, электротехнологический комплекс*

**ENERGY AUDIT BAKERY – BASIS OF DEVELOPMENT
OF THE ENERGY SAVING TECHNOLOGIES
AND INTELLECTUAL MANAGEMENT SYSTEM
BY ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX**

V. Momotyuk, V. Kozyrsky

Annotation. *Energy audit bakery was spendened. So far, that the development of intellectual energy efficiency bakery management system will save energy, raw materials and labor costs.*

Key words: *energy audit, Bakery, intelligent control system, electro-technological complex*

УПРАВЛЯЕМЫЙ АВТОНОМНЫЙ СИНХРОННЫЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР С МАГНИТНЫМ ШУНТОМ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

***В. В. Чумак, кандидат технических наук
Национальный технический университет Украины
«Киевский Политехнический Институт»***

***А. В. Петренко, кандидат технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины***

М. А. Коваленко, кандидат технических наук

А. И. Пономарев, инженер

***Национальный технический университет Украины
«Киевский Политехнический Институт»***

e-mail: chumack_kpi@ukr.net, petrenko@nubip.edu.ua

Аннотация. Рассмотрена работа синхронного генератора с постоянными магнитами с управляемым магнитным шунтом для автономной энергоустановки. На основании расчетов и экспериментальных исследований получены внешние характеристики для различных режимов работы генератора и характеров нагрузки: активного, активно-индуктивного и активно-ёмкостного ($\cos\varphi = 0,95$). Показана целесообразность дальнейших исследований по разработке мер для стабилизации внешней характеристики.

Ключевые слова: автономный энергетический комплекс, сельскохозяйственная техника, синхронный генератор, постоянные магниты, индуцированная ЭДС, характер нагрузки

Современный этап развития сельского хозяйства в Украине характеризуется ростом спроса на автономные источники электропитания, особенно в случае отсутствия централизованного электроснабжения.

Важным для практики, но достаточно тяжелым режимом для электрических машин является совместная работа в автономной системе несоизмеримых по величине мощностей генератора и двигателя, различных по характеру нагрузки. Считается, что процесс пуска и разгона асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от генератора переменного тока протекает в обычном режиме и провалы напряжения незначительные. Отсутствует необходимость компенсации реактивной мощности в потребляемом двигателе при пуске.

Использование синхронного генератора при резком снижении напряжения и набросе нагрузки компенсируется потреблением большой реактивной мощности для ее компенсации в нагрузке и возбуждения

самого генератора. Сложность регулирования и поддержания стабильности напряжения практически исключается в автономных системах электроснабжения с нагрузкой в виде нагревательных элементов или осветительной сети. В этих условиях нагрузка для синхронного генератора представляется как активная или активно-индуктивная.

Обеспечить автономное электроснабжение разработанный синхронный магнитоэлектрический генератор с магнитным шунтом может при наличии тракторной техники, в качестве навесного на трактор электрогенератора с приводом от коробки отбора мощности. Работа генератора в автономной системе усложняется, если речь идет о нагрузке в виде асинхронного двигателя различных исполнительных механизмов, которому свойственны пусковые токи. Также актуальны исследования синхронных магнитоэлектрических генераторов с магнитным шунтом для электроснабжения систем тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, таких случаях генераторы должны быть оборудованы выпрямителями напряжения на 14 или 28 В.

Во всех перечисленных случаях синхронные генераторы с постоянными магнитами имеют как свои преимущества, так и недостатки, которые сказываются на режимах работы автономной системы электроснабжения.

Поэтому актуальным является исследование режимов работы автономного электромеханического комплекса с синхронным магнитоэлектрическим генератором на постоянных магнитах с магнитным шунтом в этих режимах. Магнитный шунт выполняет функцию стабилизации напряжения и увеличения пусковой мощности.

Цель исследований – установление режимов работы автономного синхронного магнитоэлектрического генератора на постоянных магнитах с магнитным шунтом в различных режимах работы генератора и нагрузки потребителя.

Материалы и методика исследований. В качестве объекта исследования выбраны электромагнитные и электромеханические процессы в синхронном генераторе (СГ) с магнитным шунтом на роторе, который выполнен на базе серийного асинхронного двигателя (АД) АИР100L4.

Предмет исследования: влияние зависимостей нагрузочных режимов СГ на работу автономного электромеханического комплекса.

Выбор АД в качестве базового обуславливается несколькими причинами: во-первых АД – являются серийными, что, в свою очередь, означает, что они оптимизированы; во-вторых, использование статоров АД для СГ означает унификацию генераторов. Используется данный генератор для высокоэффективных автономных энергоустановок переменного тока. На рис. 1 приведены фотографии магнитоэлектрического генератора с магнитным шунтом [1].

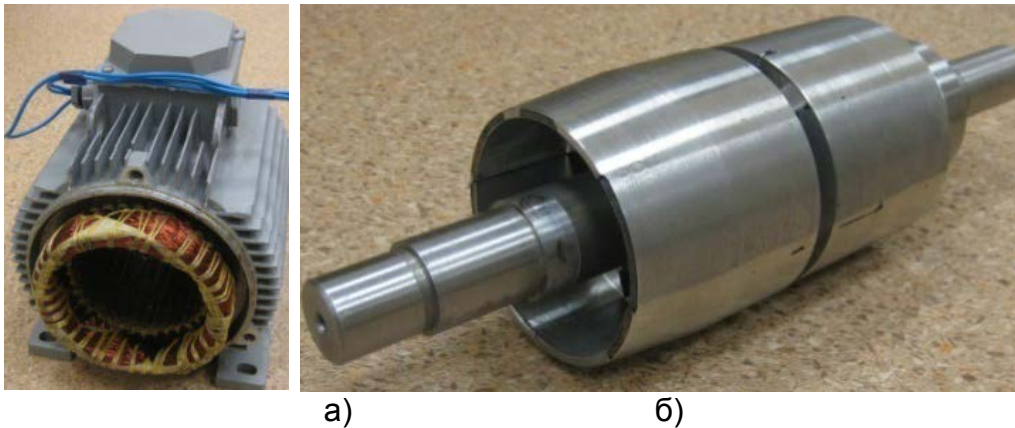


Рис. 1. Фотографии магнитоэлектрического генератора с магнитным шунтом:
а – статор генератора; б – ротор генератора

Исследуемый магнитоэлектрический генератор характеризуется следующими номинальными данными: мощность $P_H = 4,0$ кВт, номинальное фазное напряжение $U_H = 220$ В, число пар полюсов $p = 4$, частота вращения $n = 1500$ об/мин, частота выходного напряжения $f = 50$ Гц, материал постоянных магнитов NdFeBr-H-38.

Испытание исследуемого генератора для автономного сельскохозяйственного комплекса производилось от привода ДВС мощностью 7 кВт. Схема электрическая принципиальная показана на рис. 2.

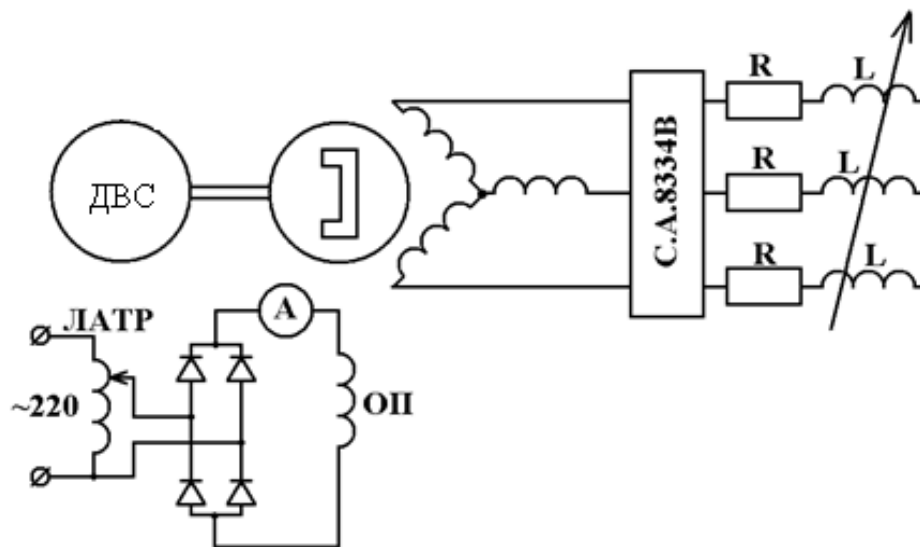


Рис. 2. Принципиальная схема испытательной установки

Испытание магнитоэлектрического генератора проводилось согласно приведенной ниже программе, позволяющей исследовать методы регулирования напряжения генератора при изменении нагрузки при различных вариантах управления системой возбуждения. При этом считается, что скорость вращения приводного ДВС остается постоянной и не зависит от нагрузки (т. е. $f = \text{const}$).

Программа испытаний состоит из следующих этапов:

1. Снятие характеристики холостого хода при работе с постоянными магнитами и изменении тока подмагничивания.
2. Снятие внешней характеристики при работе с постоянными магнитами и активной и активно-индуктивной нагрузке.
3. Снятие внешней характеристики при работе с постоянными магнитами и различных токах подмагничивания для активной и активно-индуктивной нагрузки.
4. Снятие регулировочной характеристики при изменении тока нагрузки при постоянном напряжении генератора.

Для проверки адекватности разработанной ранее двумерной полевой математической модели исследуемого генератора [2] в работе выполнено экспериментальное исследование генератора при различном характере нагрузки.

Результаты исследований. В результате проведённой работы осуществлена серия экспериментальных исследований с применением современной вычислительной техники (3-фазный анализатор качества энергии С.А.8334В) получены и построены основные характеристики магнитоэлектрического генератора с магнитным шунтом для автономной энергетической установки сельскохозяйственного комплекса.

На рис. 3 приведено сравнение экспериментально полученной внешней характеристики генератора при активно-индуктивной нагрузке с коэффициентом мощности $\cos\varphi \approx 0,8$ и расчетной характеристики.

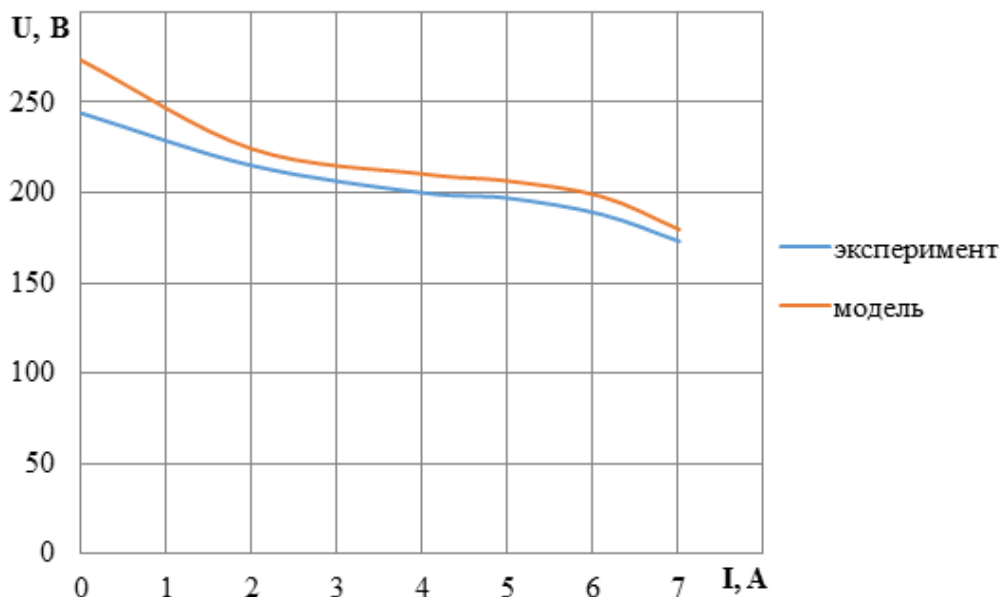
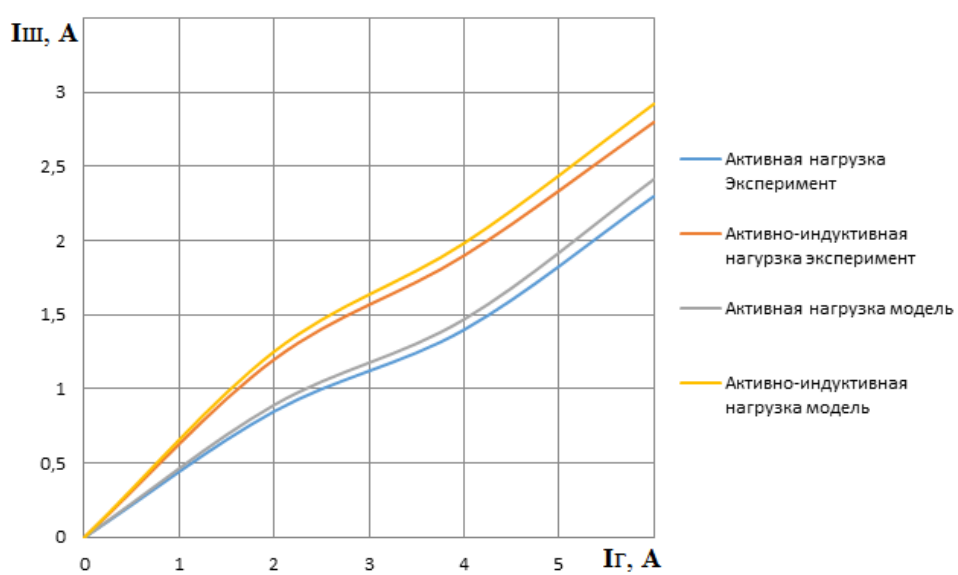
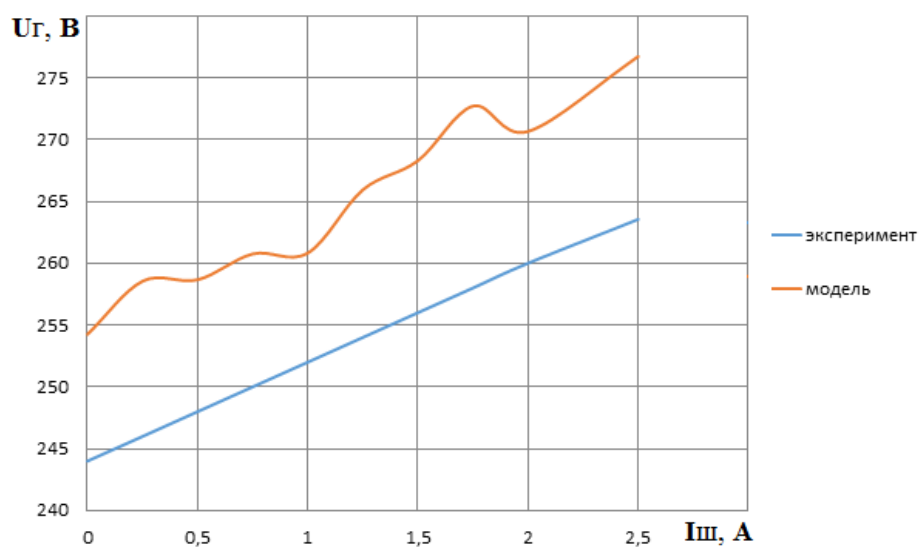


Рис. 3. Внешняя характеристика при активно-индуктивной нагрузке

Напряжение на холостом ходу составляет 244 В, при номинальном токе напряжение на генераторе составляет 188 В, что значительно ниже допустимого отклонения и требует дополнительных мер по стабилизации внешней характеристики.

На рис. 4 показано экспериментальную и расчетную регулировочную характеристику генератора при отсутствии нагрузки и при отсутствии тока в подмагничивающей обмотке



При активно-индуктивной нагрузке необходимо увеличивать на 10–15% ток подмагничивающей обмотки для компенсации продольной размагничивающей реакции якоря.

Выводы

Экспериментальные исследования магнитоэлектрического генератора с обмоткой подмагничивания показали, что такой комплекс целесообразно использовать в качестве автономного источника питания для сельскохозяйственной техники, поскольку он обеспечивает широкие пределы регулирования выходного напряжения при постоянстве мощности и различных вариантах нагрузки (активной, индуктивной или ёмкостной).

Сходимость расчетных и экспериментальных данных находится в пределах 4...5 %, что подтверждает адекватность разработанной ранее полевой математической модели.

Список литературы

1. Чумак В. В. Математическое моделирование генератора с комбинированным возбуждением автономной энергоустановки / В. В. Чумак, М. А. Коваленко, А. И. Пономарев // Электромеханические и энергосберегающие системы. – 2015. – № 31. – С. 76–84.
2. Чумак В. В. Синхронный генератор с комбинированным возбуждением / В. В. Чумак, А. И. Пономарев // Энергия – XXI век. – 2013. – № 1. – С. 28–34.

КЕРОВАНІЙ АВТОНОМНИЙ СИНХРОННИЙ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІЗ МАГНІТНИМ ШУНТОМ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ

В. В. Чумак, А. В. Петренко, М. А. Коваленко, А. І. Пономарьов

Анотація. Розглянуто роботу синхронного генератора на постійних магнітах із керованим магнітним шунтом для автономної електроустановки. На підставі розрахунків та експериментальних досліджень отримано зовнішні характеристики для різних режимів роботи генератора й характеру навантаження: активного, активно-індуктивного і активно-ємнісного ($\cos\varphi = 0,95$). Показано доцільність подальших досліджень із розробки заходів для стабілізації зовнішньої характеристики.

Ключові слова: автономний енергетичний комплекс, сільськогосподарська техніка, синхронний генератор, постійні магніти, індукована ЕРС, характер навантаження

THE OPERATED INDEPENDENT SYNCHRONOUS PERMANENT MAGNET GENERATOR WITH THE MAGNETIC SHUNT FOR POWER SUPPLY OF THE AGRICULTURAL COMPLEX

V. Chumak, A. Petrenko, M. Kovalenko, A. Ponomarev

Annotation. It is considered operation of the synchronous generator with permanent magnets with the operated magnetic shunt for the independent power station. On the basis of calculations and pilot studies it is received

external characteristics for various operating modes of the generator and characters of loading: active, active and inductive and resistive-capacitive ($\cos\varphi = 0,95$). Expediency of further researches on development of measures for stabilization of the external characteristic is shown.

Key words: *autonomous power complex, agricultural machinery, synchronous generator, permanent magnets, the induced EMF, character of loading*

UDC 535.37

THE OPTICAL ABSORPTION AND PHOSPHORESCENCE OF THE DNA MACROMOLECULE

V. Yu. Kudrya, PhD

V. M. Yashchuk, Dr.Sci.

A. P. Naumenko, PhD

National Taras Shevchenko University

I. Yu. Dubey, PhD

Institute of Molecular Biology and Genetics of NAS of Ukraine

V. V. Boyko, Ya. O. Gumenyuk, PhD

National University of Life Sciences and Environmental of Ukraine

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Annotation. *It was shown the nucleotides were practically independent absorbing centers in the DNA macromolecule. The phosphorescent measurements showed the capturing centers of triplet electronic energy excitations in the DNA are the complex like exciplex formed by neighbor adenosine (A) and thymidine (T) cells.*

Key words: *the DNA macromolecule, Absorbing Centers, Phosphorescence, Optical Absorption*

1. Introduction

The polymeric macromolecules can be classified according their energy structure and optical properties. The knowledge of the nature and peculiarities of electronic processes in these macromolecules is necessary for their optimal and successful functional usage. The main attention of modern science is paid to π -electron containing macromolecules. Electronic properties of organic π -electron containing macromolecules are manifested in the optical wavelength range that gives the ground to apply optics spectroscopy for their electronic structure study. The biological macromolecules of the ribonucleic acids, DNA and RNA, belong to the π -electron containing macromolecules due to the presence of π -electrons in the nucleotides cells in their chains and their electronic structure can be studied by optics spectroscopy methods. Our paper

external characteristics for various operating modes of the generator and characters of loading: active, active and inductive and resistive-capacitive ($\cos\varphi = 0,95$). Expediency of further researches on development of measures for stabilization of the external characteristic is shown.

Key words: *autonomous power complex, agricultural machinery, synchronous generator, permanent magnets, the induced EMF, character of loading*

UDC 535.37

THE OPTICAL ABSORPTION AND PHOSPHORESCENCE OF THE DNA MACROMOLECULE

V. Yu. Kudrya, PhD

V. M. Yashchuk, Dr.Sci.

A. P. Naumenko, PhD

National Taras Shevchenko University

I. Yu. Dubey, PhD

Institute of Molecular Biology and Genetics of NAS of Ukraine

V. V. Boyko, Ya. O. Gumenyuk, PhD

National University of Life Sciences and Environmental of Ukraine

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Annotation. *It was shown the nucleotides were practically independent absorbing centers in the DNA macromolecule. The phosphorescent measurements showed the capturing centers of triplet electronic energy excitations in the DNA are the complex like exciplex formed by neighbor adenosine (A) and thymidine (T) cells.*

Key words: *the DNA macromolecule, Absorbing Centers, Phosphorescence, Optical Absorption*

1. Introduction

The polymeric macromolecules can be classified according their energy structure and optical properties. The knowledge of the nature and peculiarities of electronic processes in these macromolecules is necessary for their optimal and successful functional usage. The main attention of modern science is paid to π -electron containing macromolecules. Electronic properties of organic π -electron containing macromolecules are manifested in the optical wavelength range that gives the ground to apply optics spectroscopy for their electronic structure study. The biological macromolecules of the ribonucleic acids, DNA and RNA, belong to the π -electron containing macromolecules due to the presence of π -electrons in the nucleotides cells in their chains and their electronic structure can be studied by optics spectroscopy methods. Our paper

is devoted to the peculiarities of optical absorption and phosphorescent properties of the DNA macromolecule, the identification of absorbing centers and traps of the triplet electronic excitations in the DNA macromolecule.

2. Optical Absorption. The Nature of Absorbing Centers in the DNA Macromolecule

The optical absorption of the DNA were described by us in [1–5]. The optical absorption spectra of DNA (fig.1) are close to the sum (in equimolar concentrations) of corresponding nucleotides absorption spectra that is typical for organic non-conjugated π -electron containing compounds. This means that nucleotides are practically independent absorbing centers in the DNA are determined mainly by the individual properties of elementary cells – nucleotides π -electron systems. This gives us the ground to build the system energy levels of the DNA using the positions of energy levels of model compounds.

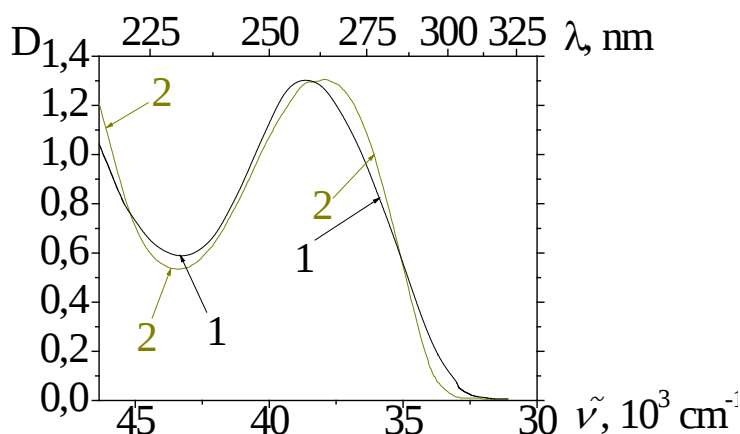


Fig. 1. The optical absorption spectra of: DNA (1) and the sum (in equimolar concentrations) of nucleotides absorption spectra – dAMP, dTMP, dGMP, dCMP (2)

3. Phosphorescence. The Nature of Capturing Centers of Triplet Electronic Excitations in the DNA Macromolecules

It was shown by us, in contrast to the absorption the phosphorescence of the DNA is not the emission of one separate nucleotide-cell. It is shown by us this is the result of the deactivation of a complex like exciplex formed between neighboring adenosine (A) and thymidine (T) cells. This was proved by comparative phosphorescence studies of a number of the compounds containing AT-sequence: the phosphorescence spectra curves of the DNA are very close to the double-stranded polymer poly(dAdT)_2 , oligomer d(CCCGGGTTTAAA) and trimer d(ATC) correspondent spectra curves (previously investigated by us [1–3]) (fig. 2).

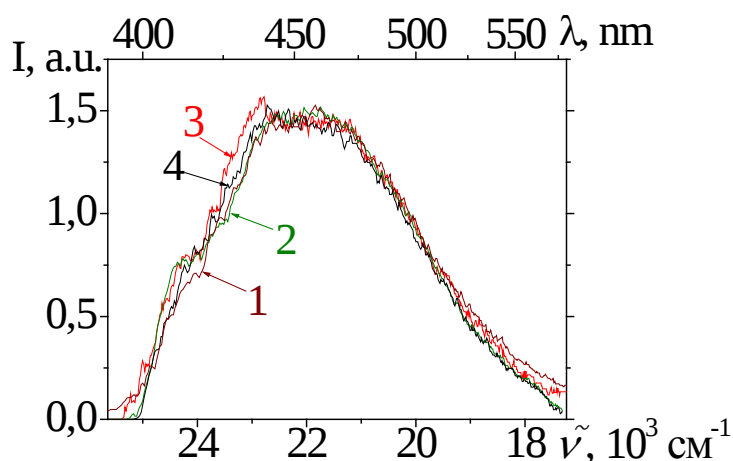


Fig. 2. The phosphorescence spectra of: DNA (1), d(CCCGGGTTTAAA) (2), poly(dAdT)₂ (3), and d(ATC) (4). Excitation 300 nm. Water solutions, C=10⁻⁴M (T=4,2K)

Conclusions

1. The nucleotides are practically independent absorbing centers in the DNA and can be used to build the scheme of the energy levels hierarchy of this macromolecule.

2. The capturing centers of triplet electronic energy excitations in the DNA are the complex like exciplex formed by neighbor adenosine (A) and thymidine (T) cells.

References

1. V. Yashchuk, V. Kudrya, M. Losytskyy, H. Suga, T. Ohul'chanskyy. The nature of the electronic excitations capturing centres in the DNA // *Journal of Molecular Liquids*. – 2006. – Vol.127, Iss.1–3. – P. 79–83.
2. V. M. Yashchuk, V. Yu. Kudrya, M. Yu. Losytskyy, I. Ya. Dubey, H. Suga. Electronic Excitation Energy Transfer in DNA. Nature of Triplet Excitations Capturing Centers // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 2007. – Vol. 467. – P. 311–323.
3. V. Yu. Kudrya, V. M. Yashchuk. The Spectral Properties and Photostability of the DNA, RNA and Oligonucleotides // *Ukr. Phys. J.* – 2012. – Vol. 57, N 2. – P.187–192.
4. V. Yu. Kudrya, V. M. Yashchuk, S. M. Levchenko, V. I. Mel'nik, L. A. Zaika, D. M. Govorun. The Peculiarities of the RNA Luminescence // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 2008. – Vol. 497. – P. 93–100.
5. V. Yu. Kudrya, K. I. Kovalyuk, V. M. Yashchuk, I. Ya. Dubey, A. P. Naumenko. The Spectral Properties of the Telomere Fragments // XXII Galyna Puchkovska International School-Seminar "Spectroscopy of Molecules and Crystals". – September 27 – October 4, 2015, Chynadiyovo, Zakarpattia, Ukraine. – Book of Abstracts. – 312 p. – P-16, P. 49.

ОПТИЧНЕ ПОГЛИНАННЯ ТА ФОСФОРЕСЦЕНЦІЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ДНК

***В. Ю. Кудря, В. М. Ящук, А. П. Науменко,
І. Ю. Дубей, В. В. Бойко, Я. О. Гуменюк***

Анотація. Показано, що нуклеотиди є практично незалежними центрами поглинання в макромолекулі ДНК. Вимірювання спектрів фосфоресценції, показали, що центри триплетних електронних збуджень енергії в ДНК – комплекс, сформований сусіднім аденозином (А) і комірками (Т) тимідину

Ключові слова: макромолекула ДНК, центри поглинання, оптичне поглинання, фосфоресценція

ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ И ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ДНК

***В. Ю. Кудря, В. М. Ящук, , А. П. Науменко,
І. Ю. Дубей, В. В. Бойко, Я. О. Гуменюк***

Аннотация. Показано, что нуклеотиды являются практически независимыми центрами поглощения в макромолекуле ДНК. Измерения спектров фосфоресценции показали, что центры электронных возбуждений энергии в ДНК – комплекс, сформированный соседним аденозином (А) и ячейками (Т) тимидина.

Ключевые слова: макромолекула ДНК, центры поглощения, оптическое поглощение, фосфоресценция

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА РЕЖИМІВ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В. Є. Василенков, кандидат технічних наук
e-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. Досліджено теплові потоки залежно від температури зовнішнього повітря. Наведено результати дослідження на конкретному районі та їх графічне відображення для обґрунтування системи теплопостачання й режимів її експлуатації.

Ключові слова: система теплопостачання, тепловий потік, температура, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання.

Витрати тепла наочно зображують як графіки, які будують для різних часових проміжків та залежно від кліматичних умов. Такі графіки необхідні для вирішення ряду питань централізованого теплопостачання: визначення витрат палива, вибору устаткування джерел теплоти, режиму завантаження та графіка ремонту обладнання, вибору параметрів теплоносія, а також для техніко-економічних розрахунків під час проектування та експлуатації системи теплопостачання. Тому актуальною задачею є практичне застосування методики побудови таких графіків, що дасть змогу розширити коло й глибину питань при обґрунтуванні системи теплопостачання та режимів її експлуатації.

Мета досліджень – застосування методики досліджень витрат теплоти для побудови графіка зміни теплових потоків за тривалістю опалювального періоду для конкретного об'єкта.

Матеріали та методика досліджень. Для натурного зразка району жилої забудови м. Миколаєва з розрахунковою температурою зовнішнього повітря для проектування систем опалення $t_{p.o} = -19\text{ }^{\circ}\text{C}$. і розрахунковими тепловими потоками кварталу міста: на опалення $Q_{o.max} = 3200\text{ кВт}$, на вентиляцію $Q_{в.max} = 410\text{ кВт}$, на гаряче водопостачання $Q_{г.в.сер.} = 1200\text{ кВт}$ виконати розрахунок і побудувати графіки споживання теплоти від зовнішніх температур.

Результати досліджень. Для побудови графіка витрати теплоти, залежно від температури зовнішнього повітря, опорними точками на шкалі температур є температура для проектування опалення $t_{p.o} = -19\text{ }^{\circ}\text{C}$ і температура $t_3 = +8\text{ }^{\circ}\text{C}$. За наведеними формулами для температури $t_3 = +8\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначають витрати теплоти на опалювання й вентилявання, кВт:

$$Q_o^{+8} = Q_{o.max} \left(\frac{t_g - t_3}{t_g - t_{p.o.}} \right) = 3200 \cdot \left(\frac{20 - 8}{20 - (-19)} \right) = 985 ;$$

$$Q_o^{+8} = Q_{o.\max} \left(\frac{t_o - t_3}{t_o - t_{p.o.}} \right) = 410 \cdot \left(\frac{20 - 8}{20 - (-19)} \right) = 126 ;$$

де t_3 – будь-яка температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду, $^{\circ}\text{C}$;

t_o – середня температура внутрішнього повітря опалюваних будівель, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{p.o.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення та вентиляції, $^{\circ}\text{C}$.

Будують координатні осі й наносять на них в зручному масштабі три шкали (рис.1):

а) на вісь абсцис зліва від початку координат наносять шкалу температур зовнішнього повітря. За початок шкали приймають розрахункову температуру зовнішнього повітря для проектування опалення $t_{p.o.} = -19^{\circ}\text{C}$ за кінець шкали температуру $t_3 = +20^{\circ}\text{C}$;

б) на вісь абсцис справа від початку координат наносять шкалу тривалості стояння зовнішніх температур від нуля в початку координат до кінця року (табл. 1);

в) на осі ординат вверх від початку координат відкладають шкалу витрат теплоти для теплоносія води.

З опорних точок на шкалі температур будують перпендикулярні лінії і на них відкладають відповідні значення витрат теплоти на опалення: $Q_{o.\max} = 3200$ кВт, $Q_o^{+8} = 985$ кВт. З'єднавши ці точки прямою лінією отримують графік залежності витрати теплоти від температури зовнішнього повітря $Q_o = f(t_3)$. Аналогічно будують пряму для витрат теплоти на вентиляцію $Q_v = f(t_3)$ (рис. 1).

Для побудови графіка витрати теплоти на гаряче водопостачання визначають за формулою середню витрату в неопалювальний період, кВт

$$Q_{z.v.\text{сep}}^{\text{л}} = Q_{z.v.\text{сep}} \cdot \frac{55 - t_{x.\text{л.}}}{55 - t_{x.\text{з.}}} \cdot \beta = 1200 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1,5 = 1440$$

Графік середньої витрати теплоти на гаряче водопостачання не залежить від температури зовнішнього повітря. Він буде двоступеневим, паралельним осі абсцис з ординатою 1200 кВт для опалювального періоду і з ординатою 1440 кВт для неопалювального періоду.

Для кожної опорної точки знаходять сумарну витрату теплоти, кВт:

$$\sum Q^{-19} = Q_{o.\max} + Q_{v.\max} + Q_{z.v.\text{сep}} = 3200 + 410 + 1200 = 4810 ,$$

$$\sum Q^{+8} = Q_o^{+8} + Q_v^{+8} + Q_{z.v.\text{сep}}^{\text{л}} = 985 + 126 + 1440 = 2551 ,$$

За цими точками будують лінію сумарних витрат теплоти $\sum Q = f(t_3)$, яка для температур, вищих за $+8^{\circ}\text{C}$, буде співпадати з лінією витрати теплоти на гаряче водопостачання.

Для побудови річного графіка тривалості теплового навантаження визначають тривалість стояння температур зовнішнього повітря в годинах із інтервалом 5°C і тривалість опалювального періоду для м. Миколаєв (табл. 1).

1. Тривалість стояння температур зовнішнього повітря

Інтервал температур, $^{\circ}\text{C}$	Тривалість стояння, год.	Зовнішня температура, $^{\circ}\text{C}$	Сумарна тривалість стояння, год.
Від -24,9 до -20	7	-20 і менше	7
Від -19,9 до -15	36	-15 і менше	43
Від -14,9 до -10	163	-10 і менше	206
Від -9,9 до -5	433	-5 і менше	639
Від -4,9 до 0	885	0 і менше	1524
Від +0,1 до +5	1555	+5 і менше	3079
Від +5,1 до +8	1929	+8 і менше	4008

Графік тривалості теплового навантаження (рис. 1) будують на підставі сумарного графіка $\sum Q = f(t_z)$. На шкалі абсцис відкладають тривалість стояння різних температур зовнішнього повітря з табл. 1, наприклад, для температури -15°C і менше $n = 7 + 36 = 43$ год.; а температури -5°C і менші стоятимуть у м. Миколаєв

$$n = 7 + 36 + 163 + 433 = 639 \text{ год.}$$

Для отриманих значень n будують лінії перпендикулярні осі абсцис і проектують на них відповідне сумарне навантаження з графіка залежності витрат теплоти від температури зовнішнього повітря. Наприклад, на перпендикуляр з точки $n = 43$ год. – витрату при $t_z = -15^{\circ}\text{C}$, а на перпендикуляр з точки $n = 639$ год. – витрату при $t_z = -5^{\circ}\text{C}$. З'єднуючи знайдені точки плавною кривою, будують графік тривалості теплового навантаження в опалювальний період, який у м. Миколаєві триває 4008 годин.

В неопалювальний період тепло витрачають лише на приготування гарячої води, а тому графік перейде в пряму, паралельну осі абсцис, з ординатою рівною $Q_{\text{г.в.сер.}}^{\text{п}} = 1440$ кВт до кінця розрахункової тривалості роботи системи тепlopостачання, яка становить 8400 годин.

Річний графік тривалості теплового навантаження показано на рисунку справа. У табл. 2 наведено середні місячні температури зовнішнього повітря для даного району будівництва (м. Миколаєв). Визначено витрати теплоти на опалювання й вентилявання для кожного місяця із середньою температурою нижче за $+8^{\circ}\text{C}$. Наприклад, для січня, кВт:

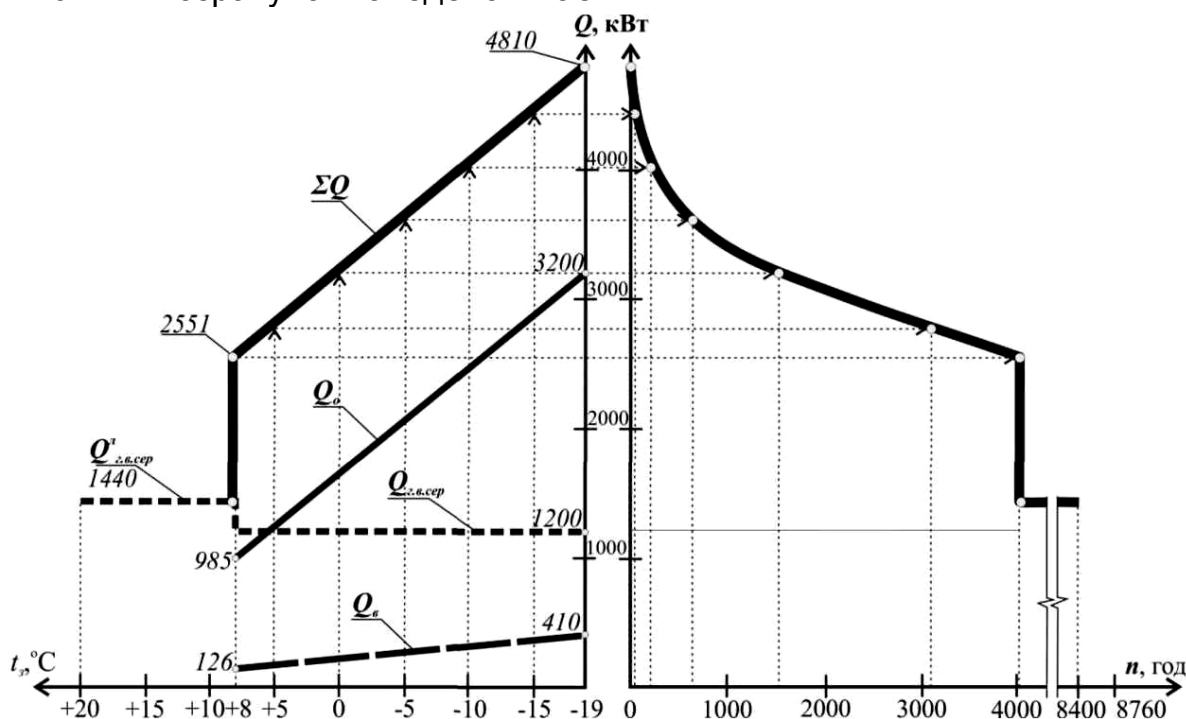
$$Q_o^{ciq} = Q_{o.\text{max}} \cdot \left(\frac{t_{\text{г}} - t_z^{ciq}}{t_{\text{г}} - t_{p.o.}} \right) = 3200 \cdot \left(\frac{20 - 2,5}{20 - (-19)} \right) = 1846 ;$$

$$Q_o^{ciq} = Q_{\text{г.в.сер.}}^{\text{п}} \cdot \left(\frac{t_{\text{г}} - t_z^{ciq}}{t_{\text{г}} - t_{p.o.}} \right) = 410 \cdot \left(\frac{20 - 2,5}{20 - (-19)} \right) = 237 ;$$

Сумарна витрата тепла в січні, кВт:

$$\sum Q^{січ} = Q_{o.}^{січ} + Q_{в.}^{січ} + Q_{г.в.сер.} = 1846 + 237 + 1200 = 3283$$

Аналогічно виконують розрахунки й для інших місяців опалювального періоду. Для неопалювального періоду сумарна витрата теплоти буде рівна середній витраті на гаряче водопостачання $Q_{г.в.сер.}^л = 1440$ кВт. Розрахунок наведено в табл. 2.



Графік зміни теплових потоків за тривалістю опалювального періоду (справа) і витрат тепла для різних температур зовнішнього повітря (зліва)

1. Середні витрати тепла за місяцями року

Місяць року	Середня температура повітря, $^\circ\text{C}$	Середня витрата теплоти, кВт			
		Q_o	$Q_{в.}$	$Q_{г.в.сер.}$ ($Q_{г.в.сер.}^л$)	Разом
I	-2,5	1846	237	1200	3283
II	-1,6	1772	227	1200	3199
III	+2,8	1411	181	1200	2792
IV	+10,1	-	-	1440	1440
V	+16,1	-	-	1440	1440
VI	+20,0	-	-	1440	1440
VII	+22,4	-	-	1440	1440
VIII	+21,6	-	-	1440	1440
IX	+16,5	-	-	1440	1440
X	+10,1	-	-	1440	1440
XI	+4,3	1288	165	1200	2653
XII	-0,2	1657	212	1200	3069

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що максимальні теплові навантаження в місті Миколаєві припадають на пікові 5 місяців і лежать в межах від 2653 до 3283 кВт щомісячно, в інші 7 місяців – середні витрати становлять 1440 кВт. Джерелом теплопостачання можуть бути 3 котли вітчизняного виробництва „Колві“ з потужністю 1500 кВт. кожний.

2. Починаючи з 4-го місяця і до 10-го включно – час для проведення ремонтно-технологічних робіт і навчання обслуговуючого персоналу.

Список літератури

1. Єнін П. М. Теплопостачання : навч. посіб. / П. М. Єнін, Н. А. Швайко. – К. : Кондор, 2006. – 242 с.

2. Богословский В. Н. Отопление : учеб. для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И РЕЖИМОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Е. Василенков

Аннотация. *Исследованы тепловые потоки в зависимости от температуры наружного воздуха. Приведены результаты исследования на конкретном районе и их графическое отображение для обоснования системы теплоснабжения и режимов ее эксплуатации.*

Ключевые слова: *система теплоснабжения, тепловой поток, температура, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение.*

DETERMINE THE VALUE OF HEAT FLUX FOR RATIONALE FOR HEATING SYSTEM AND ITS OPERATION MODES

V. Vasilenkov

Annotation. *Results of research of thermal streams, depending on the outside temperature,. The results of research on a particular area and their graphical display to support the heating system and the mode of its operation*

Key words: *heating system, heat flow, temperature, heating, ventilation and hot water supply*

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ТРОЯНД
У СПЕКТРІ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Т. С. Книжка, кандидат технічних наук
e-mail: knizhkatatyana@mail.ru**

Анотація. Досліджено зміну інтенсивності ультрафіолетового випромінювання після проходження живильного розчину, товщиною h для модельного живильного розчину, призначеного для вирощування троянд.

Ключові слова: **фотоактивація, живильний розчин, ультрафіолетове випромінювання**

Відомо [1–3], що при фотоактивації різними авторами пропонується використовувати ультрафіолетове опромінення з довжиною хвилі $\lambda=205\ldots380$ нм, тож виникає необхідність визначення зміни коефіцієнтів пропускання ультрафіолетового випромінювання живильним розчином за різних товщин шару розчину.

Вирішення проблеми зміни інтенсивності ультрафіолетового випромінювання дасть змогу ефективніше експлуатувати джерела ультрафіолетового опромінення.

Мета досліджень – аналіз зміни інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, що проходить через живильний розчин товщиною h .

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються фотометричні методи аналізу та закони взаємодії енергії електромагнітного випромінювання з рідким середовищем.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження вибрано водний розчин мінеральних солей (живильний розчин), який використовується за гідропонного способу вирощування троянд. Хімічний склад розчину подано в таблиці.

Визначення оптичних властивостей живильного розчину проводили на комплексі КСВУ-23, призначеному для дослідження спектрів у діапазоні від 200 до 1200 нм із подальшим опрацюванням досліджень [4].

Шар живильного розчину h змінювався від 5 до 18 мм.

У результаті експерименту було отримано характеристики, подані на рис. 1.

Для визначення коефіцієнтів пропускання, експериментальні дані опрацьовували за виразом

$$\tau_{\lambda h} = I_{\lambda h} / I_{\lambda 0}, \quad (1)$$

де $I_{\lambda h}$ – інтенсивність випромінювання, що пройшла крізь кварцову кювету із шаром живильного розчину h , на хвилі λ , кд;

$I_{\lambda 0}$ – інтенсивність випромінювання, що пройшла через порожню кварцову кювету на хвилі λ , кд.

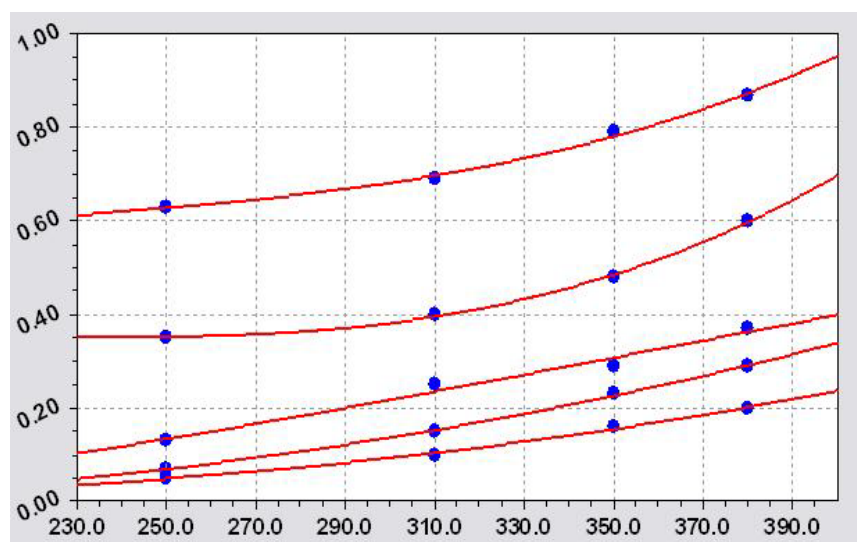
Склад досліджуваного живильного розчину

Елементи	Концентрація в живильному розчині	Концентрація в дренажних стоках
ЕС, мСм·см ⁻¹	0,7	2,0
pH		5,5
NH ₄ , ммоль/л	0,8	0,1
K	2,2	5,0
Ca	0,8	5,0
Mg	0,6	2,5
NO ₃	4,3	12,5
SO ₄	0,5	2,5
H ₂ PO ₄	0,5	0,9
Fe, мкмоль/л	15,0	25,0
Mn	5,0	3,0
Zn	3,0	3,5
B	20,0	20,0
Cu	0,5	1,0
Mo	0,5	0,5

Результати опрацювання експериментальних даних по виразу (1) наведено на рис. 1.

Опрацювання результатів проводилося відповідно до стандартних методик.

$\tau_{\lambda h}$



Без розчину

$h=5$ мм

$h=10$ мм

$h=14$ мм

$h=18$ мм

..

λ , нм

Рис. 1. Залежність коефіцієнтів пропускання живильного розчину за різної товщини прошарку опромінюваного розчину h у діапазоні ультрафіолетового випромінювання $\lambda=230\ldots380$ нм

Аналітичні вирази, які описують залежності коефіцієнтів пропускання від довжини хвилі випромінювання за різної товщини прошарку опромінюваного розчину:

$$\tau_{\lambda 0} = 3,72 \cdot 10^{-5} + 6,64 \cdot 10^{-3} \lambda - 2,63 \cdot 10^{-5} \lambda^2 + 3,91 \cdot 10^{-8} \lambda^3$$

$$\tau_{\lambda 5} = -2,21 \cdot 10^{-5} + 5,74 \cdot 10^{-3} \lambda - 2,96 \cdot 10^{-5} \lambda^2 + 4,91 \cdot 10^{-8} \lambda^3$$

$$\tau_{\lambda 10} = -7,32 \cdot 10^{-5} - 9,67 \cdot 10^{-4} \lambda + 7,85 \cdot 10^{-6} \lambda^2 - 7,34 \cdot 10^{-9} \lambda^3$$

$$\tau_{\lambda 14} = 1,46 \cdot 10^{-5} - 4,43 \cdot 10^{-4} \lambda + 2,29 \cdot 10^{-6} \lambda^2 + 2,35 \cdot 10^{-9} \lambda^3$$

$$\tau_{\lambda 18} = 2 \cdot 10^{-5} - 1,03 \cdot 10^{-4} \lambda + 2,79 \cdot 10^{-7} \lambda^2 + 3,66 \cdot 10^{-9} \lambda^3$$

Проведені дослідження ослаблення ультрафіолетового потоку на хвилі 365 нм, як хвильового максимуму джерела випромінювання типу ДРТ, у живильних розчинах (рис. 2).

Аналітичний вираз, який описує криву на рис. 2

$$\tau_{365} = 0,87 - 0,07h + 2,12 \cdot 10^{-3} h^2 - 3,77 \cdot 10^{-5} h^3$$

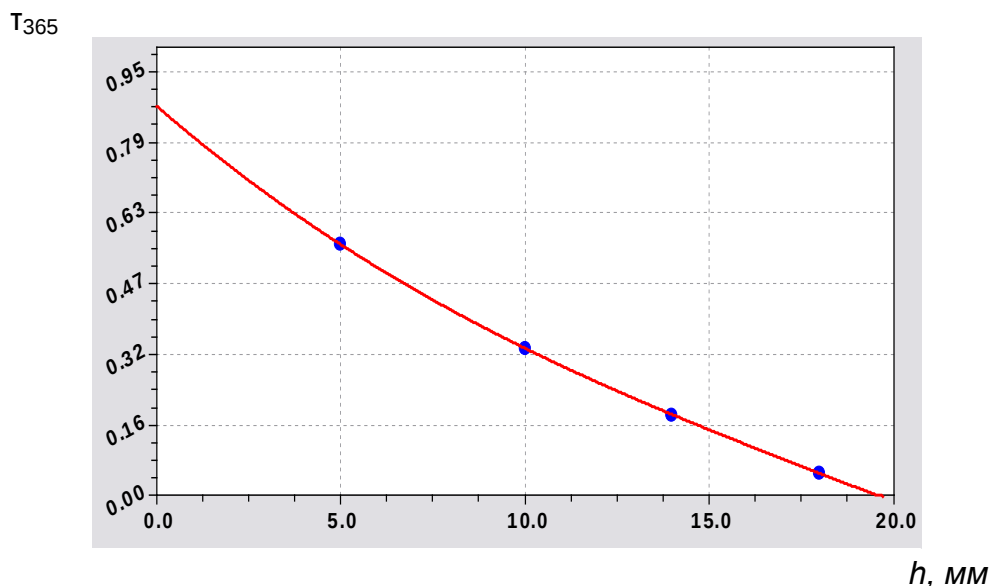


Рис. 2. Залежність коефіцієнта пропускання живильного розчину τ_{365} на довжині хвилі 365 нм від товщини шару розчину

Висновки

Під час розробки установки для фотоактивації живильних розчинів, зокрема, при виборі джерела випромінювання, потрібно враховувати: діапазон хвиль 205...230 нм живильний розчин затримує, що свідчить про недоцільність опромінювання живильних розчинів цим спектром ультрафіолетового випромінювання; в інтервалі хвиль 250...300 нм динаміка росту коефіцієнта пропускання перебуває у межах 2...5 %/40 нм; для діапазону хвиль 301...380 нм динаміка росту становить 1...3 %/20 нм.

Для більш ефективного використання потоку ультрафіолетового випромінювання в установці визначено, що при використанні лампи типу

ДРТ із хвильовим максимумом випромінювання $\lambda=365$ нм максимальна товщина опромінюваного прошарку живильного розчину становить 11 мм.

Список літератури

1. Бледных В. В. Агропромпрогресс: гидропонные технологии / Бледных В. В., Воловик Е. Л., Авдеев М. В. – М. : Агропресс, 2003. – 286 с.
2. Костюченко С. В. Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением / С. В. Костюченко, С. А. Васильев, С. В. Волков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 11. – С. 11-13.
3. Книжка Т. С. Дослідження процесу обробки рідких середовищ оптичним випромінюванням / Т. С. Книжка, Л. С. Червінський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194. – С. 229–232.
4. Булатов М. И. Фотометрические методы анализа / М. И. Булатов. – Л. : Химия, 2010. – 382 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РОЗ В СПЕКТРЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т. С. Книжка

Аннотация. *Исследовано изменение интенсивности ультрафиолетового излучения после прохождения питательного раствора, толщиной h для модельного питательного раствора, предназначенного для выращивания роз.*

Ключевые слова: *фотоактивация, питательный раствор, ультрафиолетовое излучение*

DETERMINE THE OPTICAL PROPERTIES OF THE NUTRIENT SOLUTION FOR ROSES IN THE SPECTRUM OF ULTRAVIOLET RADIATION

T. Knizhka

Annotation. *The variation of ultraviolet radiation intensity after passage of the nutrient solution, the thickness h to model nutrient solution designed for growing roses.*

Key words: *photoactivation, nutrient solution, UV radiation*

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ШЛЯХОМ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

В. П. Мартинів, аспірант*

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

email: martynivv22@gmail.com

Анотація. Проаналізовано стан і перспективи розвитку енергетики України, визначено особливості ефективного використання енергоресурсів. Проведено обґрунтування рекуперації теплової енергії в теплогенераторах.

Ключові слова: енергоресурси, енергозбереження, рекуперація

Ефективне використання енергії та стан навколишнього середовища є суттєвими ознаками для сталого розвитку країни. І хоча Україна має значні природні ресурси та унікальне для Європи навколишнє середовище, вона, водночас, є однією з найбільш екологічно забруднених країн регіону, де енергоресурси використовуються найменш ефективно. Одним зі шляхів зменшення кількості викидів, що спричиняють парниковий ефект, є більш ефективне використання енергії в системах теплопостачання та користування відновлюваними, альтернативними джерелами енергії [1].

Враховуючи зростання тарифів на електроенергію та паливні матеріали, що створює додаткове фінансове навантаження на економіку нашої держави, дедалі більшої актуальності набуває нині питання їх економії: впровадження сучасних когенераційних та рекуперативних технологій, раціонального використання енергоресурсів, у тому числі у системах теплопостачання.

Мета досліджень – аналіз особливостей процесу енергозаміщення та енергоефективності паливних матеріалів під час застосування рекуперації теплової енергії.

Матеріали та методика досліджень. Першочерговість капіталовкладень в енергоощадні проекти та ефективне управління ними, більш ніж актуально для країн СНД (куди входить і Україна), а в країнах Європи такі інвестиційні проекти вже давно й масово реалізуються. Адже саме такі проекти забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів, зниження шкідливих викидів SO_2 , NO_x , CO_2 і націлені на енергозаміщення природного газу відновлюваними біоресурсами місцевого походження. Вони також частково вирішують проблему екологічного та термального характеру, що виникає під час використання викопних (вуглеводневих) енергоресурсів для генерації теплової енергії.

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. С. Федорейко

Ефективність роботи котлів доцільно підвищувати шляхом зменшення теплових втрат із відхідними газами. Знижуючи температуру теплових викидів, котел із економайзером забезпечує річну економію спожитих ресурсів, зокрема, в системах централізованого теплопостачання комунально-побутового сектору від 20 до 30 % [1].

Окремі питання, які пов'язані з економічною характеристикою паливно-енергетичного комплексу України, розглянуто в працях [1, 2, 3,]. Їх аналіз свідчить, що промислові опалювальні системи є одними з найбільших споживачів палива всіх видів, тому їх раціональному використанню приділяють значну увагу. Основна проблема цих систем пов'язана із суттєвими втратами теплової енергії з димовими, відпрацьованими газами (30–65 % від загальної теплоти, отриманої з палива у процесі горіння).

Результати досліджень. Раціональне використання енергії є пріоритетним напрямом нашої держави, що дасть змогу подолати енергетичну кризу. А тому, для досягнення поставленої мети, передбачаються такі кроки:

- Покращення технологічного процесу з точки зору енергоємності виробництва.
- Раціональне використання природних ресурсів.
- Виробництво енергії із відновлюваних джерел шляхом енергозаміщення традиційних видів палива.
- Активне впровадження рекупераційних та когенераційних технологій.

В економічно розвинених країнах світу частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, зростає. Конкретними орієнтирами цих країн у сфері енергетики стали завдання зниження енергопостачання на 13 % до 2020 р., доведення частки відновлюваних джерел енергії до 20 %, зменшення викидів оксидів вуглецю на 20 % [3].

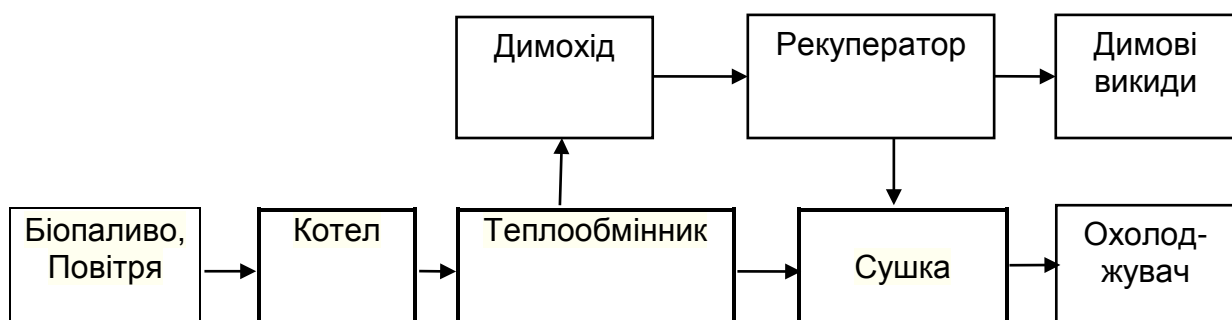
На багатьох підприємствах, пов'язаних із генерацією теплової енергії, виникають значні втрати, спричинені неповноцінним використанням тепла в технологічних процесах. Однією зі складових цих втрат, у тому числі, є теплота димових газів, яка неефективно використовується, або ж не використовується взагалі. І, як результат, нагрітий тепловий потік викидається в атмосферу, що створює проблему екологічного характеру. Раціональним підходом щодо вирішення цієї проблеми є рекуперація теплових викидів теплогенерувального обладнання. Рекуперація у зазначеній галузі передбачає повторне використання гарячого потоку димових газів, що уможливорює збільшення ККД установки, зменшення теплових та шкідливих викидів в атмосферу, зниження кількості спожитого енергоресурсу.

Аналіз матеріалів наукових видань стосовно використання та рекуперації теплової енергії в теплогенераторах дає підстави стверджувати, що на сьогодні дана проблема розкрита недостатньо. Невирішення цієї проблеми призводить до наступних наслідків. У димових високотемпературних газах (викидах) міститься велика кількість тепла,

яке не використовується, і вони спричиняють проблеми екотермального характеру та зниження ККД теплогенератора.

Загальновідомо, що одним зі шляхів здійснення рекуперації теплової енергії є повторне використання теплоти димових викидів, яка відбирається за допомогою теплообмінника, встановленого на димоході, для підігріву повітря, що входить до складу паливної суміші. Такий спосіб дає змогу повернути в теплогенератор частину тепла, що втрачається з відхідними газами. З фізичною теплою підігрітого повітря в камеру горіння повертається понад 30 % тепловтрат. Спалювання палива підігрітим повітрям, уможлиблює підвищення температури в робочій зоні та збільшення продуктивності теплогенератора. Крім того, це сприяє використанню низькокалорійних видів палива й дає змогу отримати високотемпературні режими горіння. Даний спосіб забезпечує зниження питомої витрати палива на 20–25 % під час спалювання газу чи мазуту і до 35% – під час використання низькокалорійного вугілля, деревини та біоресурсів місцевого походження [2].

Ми запропонували спосіб підвищення продуктивності зерносушильного комплексу за допомогою рекуператора теплових викидів для підігріву зерна перед сушінням. Енергія високотемпературних димових газів через теплообмінник-рекуператор використовується безпосередньо в технологічній лінії виробництва у її початковій стадії. Принципову схему із застосуванням рекуператора показано на рисунку.



Застосування рекуператора в процесі сушіння зерна

Тепло, що виділяється в результаті спалювання біопалива у теплогенераторі, потрапляє в теплообмінник, з якого відбувається нагнітання гарячого потоку в камеру сушіння. Гаряче повітря вентилятором подається через перфоровані стінки зернових колон, нагріває зерно до необхідної температури та відводить вологу з нього.

Водночас, димові гази із температурою 140...110 °С, що проходять через рекуператор, нагрівають його та забезпечують підігрів зерна перед сушінням. Даний метод впливає на параметри вологості зерна (ріпак, кукурудза, соя) та забезпечує економію палива, що використовується для сушіння. Це дасть змогу збільшити енергоефективність зерносушильного комплексу на 10–15%.

Висновки

На основі проведених досліджень визначено, що одним із найбільш енергозатратних процесів агротехнологічних комплексів є зерносушіння. Рациональним шляхом вирішення цієї проблеми є рекуперація димових газів теплогенератора зерносушарки. Використання такої технології доцільно здійснювати для підігріву зерна перед сушінням, що забезпечить корисну утилізацію тепловтрат та дасть змогу збільшити енергоефективність технології сушіння зерна на 10–15%.

Список літератури

1. Дзядичев Ю. В. Управління енергозабезпеченням шляхом використання вторинних енергоресурсів / Ю. В. Дзядичев, Р. І. Розум, М. В. Буряк // Інноваційна економіка. – 2010. – № 2. – С. 44–50.
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль : Підручники, посібники, 2001. – 974 с.
3. Федорейко В. С. Підвищення енергоефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / В. С. Федорейко, Р. І. Загородній, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – № 4. – С. 27–32.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПУТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

В. П. Мартынов

Аннотация. Проанализировано состояние и перспективы развития энергетики Украины, определены особенности эффективного использования энергоресурсов. Проведено обоснование рекуперации тепловой энергии в теплогенераторах.

Ключевые слова: *энергоресурсы, энергосбережение, рекуперация*

EFFICIENT USE OF ENERGY THROUGH HEAT RECOVERY

V. Martyniv

Annotation. The state and prospects of the energy sector of Ukraine, the peculiarities of energy efficiency. A study of heat recovery in the heat generator.

Key words: *energy, energy conservation, recuperation*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕРОЗІЇ ПОВЕРХОНЬ РІЗНИХ КОНТАКТНИХ ПАР НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

***А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук
e-mail: amrachkovskyi@mail.ru***

Анотація. Проаналізовано залежність величини ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутованого струму для контактних пар, виготовлених із однойменних і різнойменних матеріалів.

Ключові слова: *срібло, нікель, псевдосплав, ерозійний знос, робоча поверхня, катод, анод, мостиковий перенос, електронно-мікроскопічне дослідження*

Вивчення фізичних процесів, що відбуваються на робочих поверхнях електричних контактів у процесі експлуатації, створює реальні передумови для майбутньої боротьби з ерозійним зносом, зварюванням та обгоранням контактів.

Одним із найбільш розповсюджених електроконтактних матеріалів є срібло-нікелевий СН – 30 (Ag – 70%, Ni – 30%) псевдосплав, який характеризується універсальним застосуванням.

У цьому матеріалі вдало сполучені фізичні властивості контактів, практично відсутня взаємодія інгредієнтів як у твердому, так і в рідкому стані в широкому інтервалі температур і концентрацій. Невелика взаємна розчинність компонентів за температури формування виробів (800–1000 °С) зі зниженням температури зменшується і відбувається випадання часток нікелю й срібла з їхніх взаємних розчинів, що істотно подрібнює зерно та зміцнює матеріал.

Подрібнювання зерна сприяє призупиненню процесу рекристалізації як при виготовленні контактного матеріалу, так і при комутації електричного струму. Крім величини зерна, на ерозійний знос істотно впливає характер розподілу фазових складових.

Мета досліджень – аналіз фізичних процесів на робочих поверхнях комутаційних апаратів.

Матеріали та методика досліджень. Електроконтактні матеріали на основі срібла, що містять 30 % нікелю, отримували методом прокатки спечених заготовок.

Даний матеріал мав орієнтовану структуру: нікелеві частки витягувалися паралельно напрямку прокатки, забезпечуючи анізотропність фізичних характеристик.

Зразки на ерозійний знос випробовувалися за постійного струму 10 А, напруги 13 В, контактного натиску 1 Н, навантаження кола омичне,

загальна кількість циклів комутацій $50 \cdot 10^3$. Для порівняння в таких умовах випробовували контакти з чистого срібла. Структуру поверхні контактних матеріалів вивчали за допомогою електронного мікроскопа JEM – 6 А за методом двоступінчастих пластико-вугільних реплік, попередньо відтіненних хромом.

Результати досліджень. Залежність величини ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутуваного струму 10 А для контактних пар, виготовлених із однойменних і різнойменних матеріалів, наведено в таблиці. Випробовували контактні пари з чистого срібла, срібло-нікелевого псевдосплаву й різнорідної пари срібло ÷ срібло – нікелевий псевдосплав, у якому матеріали служили поперемінно анодом і катодом.

З отриманих результатів видно, що для всіх матеріалів відбувається перенос із катоду на анод. Зі збільшенням комутуючого струму й кількості спрацювань, ерозійний знос усіх контактних пар збільшується.

**Залежність величини ерозійного зносу (мг) пар електродів
від кількості спрацювань за сили струму 10 А**

Кількість спрацювань $\times 10^3$	Матеріал контактних пар							
	Ag	Ag	CH-30	CH-30	Ag	CH-30	CH-30	Ag
	Анод	Катод	Анод	Катод	Анод	Катод	Анод	Катод
10	0,5	-0,75	0,28	-0,3	0,19	-0,21	0,39	-0,8
20	1,06	-1,3	0,62	-0,64	0,32	-0,4	1,01	-1,81
30	1,34	-1,8	0,86	-0,89	0,53	-0,64	1,49	-2,32
40	1,79	-2,5	1,18	-1,2	0,76	-0,79	1,98	-3,19
50	2,35	-3,0	1,3	-1,4	0,9	-0,98	2,8	-3,8

Стійкість срібло-нікелевих контактів приблизно вдвічі вища, ніж у контактів із чистого срібла. Контактні пари, виготовлені з різнорідних матеріалів, мають ще більшу ерозійну стійкість.

Найкращі результати отримані при випробуванні контактної пари, анодом якої є чисте срібло, а катодом срібло-нікелевий псевдосплав, тобто в цьому матеріалі здійснений основний принцип побудови контактних пар: матеріал, з якого виготовлений катод, має гетерогенну структуру, а матеріал аноду характеризується більш високими тепло- та електропровідністю, що забезпечує підвищення зносостійкості.

Для гетерогенних матеріалів встановлена закономірність закріплення дугового каналу в районі границь структурних складових, де полегшуються умови виникнення автоемісійних центрів. При переміщенні дуги поверхнею електродів відбувається дисипація енергії дуги й зменшення кількості теплової енергії, що поглинається контактами. Знання закономірностей фіксації дугового каналу дає змогу цілеспрямовано варіювати структуру контактних матеріалів для отримання більш високих ерозійних характеристик.

Електронно-мікроскопічне дослідження структурних змін, що відбуваються на робочих поверхнях контактів, дозволило безпосередньо

простежити за результатами впливу дуги на окремі структурні складові. Серед них варто відзначити: місця контактної зони і зони локальної термічної дії, ділянки термічного й механічного руйнування, зони плавлення, розбризкування та затвердіння рідкої фази, ділянки осаду кристалів срібла, ділянки інтенсивної ерозії границь зерен і поверхні матеріалу, зони появи мікротріщин, ділянки інтенсивного випаровування й викидання матеріалів, ділянки структури, яка утворилася в результаті викидання зерен.

У процесі роботи електричного контакту відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкої складової з робочої поверхні катоду, в результаті чого формується дискретна, горбиста поверхня, ступінь шорсткуватості якої залежить від величини зерна нікелевої складової псевдосплаву.

Робоча поверхня катоду, виготовленого з крупнозернистого псевдосплаву, характеризується високою хвилястістю, появою окремих великих горбів, у поглибленнях структури розміщені яскраві, світлі включення, які за даними рентгеноспектрального аналізу являють собою чисте срібло. Хімічний аналіз приповерхневого шару показав, що вміст нікелю на робочій поверхні збільшується від 30 до 40 мас %, що свідчить про першочергове випаровування срібла з композиції в процесі комутації електричного струму.

Детальне дослідження робочої поверхні контакту дало змогу встановити, що в результаті дії дуги плавиться не тільки легкоплавка складова композиції – срібло, а також і зерна нікелевого каркасу, що підтверджується появою характерних ступенів затвердіння по краях нікелевих зерен. Застиглі зерна нікелю мають форму конуса або купола, характерну для мостикового переносу. На вершинах деяких нікелевих утворюються ділянки відриву, що свідчать про руйнування матеріалу після залипання контактів. Робоча поверхня катоду, виготовленого з дрібнодисперсного псевдосплаву СН – 30 зношується в процесі комутації більш рівномірно порівняно зі сріблом. Робоча поверхня аноду в процесі комутації зношується ще більш рівномірно порівняно з катодом. Незалежно від розміру зерен нікелевого каркасу катоду, структура поверхні аноду складається з частинок дрібнодисперсного срібла, перенесеного з катоду через рідку чи газоподібну фазу.

Висновки

1. Досліджено ерозійну стійкість контактів на основі срібла в однорідних і різнорідних контактних парах при комутації постійного струму 10 А та за напруги 13 В.

2. Встановлено, що зносостійкість різнорідних контактних пар (анод – Ag, катод – СН - 30) в 2,5...3 рази вища за срібні і в 1,5 рази вища, ніж срібло-нікелевого сплаву.

3. Робоча поверхня катоду, виготовленого з дрібнодисперсного псевдосплаву СН – 30 зношується в процесі комутації більш рівномірно порівняно зі сріблом.

Список літератури

1. Бейлис И. И. Исследование эрозии металлокерамических контактов на основе серебра и никеля при коммутации малых токов. Электрические контакты / И. И. Бейлис, Г. Н. Братерская, В. Н. Раховский, О. К. Теодорович. – М., 1987. – С. 179–187.
2. Белкин Г. С. Исследование электрической эрозии металлокерамических аппаратов / Г. С. Белкин, М. Е. Данилов // Электричество. – 1972. – № 2. – С. 12–18.
3. Намитоков К. К. Электроэрозионные явления / К. К. Намитоков. – М. : Энергия, 1978. – 456 с.
4. Намитоков К. К. Расчет электрического сопротивления многоточечного контакта / К. К. Намитоков, В. Б. Красовицкий // Научно-технический реферативный сборник «Электрофизические и электрохимические методы обработки». – 1973. – Вып. 8. – С. 4–7.
5. Омельченко В. Т. Тепловая теория мостиковой эрозии контактов : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук / В. Т. Омельченко. – Х., 1966 (ХПИ).
6. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1961. – 464 с.
7. Unger G. Verharrungszeit der Fusspunkte von Gleichstromschaltlichtbogen und Abbrand bei verschiedenen Kontaktwerkstoffen. – “ETZ-A”. – 1967. – Bd 99, № 12. – S. 33–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНТАКТНЫХ ПАР НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

А. Н. Мрачковский

Аннотация. Проанализирована зависимость величины эрозионного износа контактных материалов от количества срабатываний и величины коммутируемого тока для контактных пар, изготовленных из одноименных и разноименных материалов.

Ключевые слова: серебро, никель, псевдосплав, эрозионный износ, рабочая поверхность, катод, анод, мостиков перенос, электронно-микроскопическое исследование

STUDY OF ELECTRICAL EROSION SURFACES OF DIFFERENT CONTACT PAIRS VOLTAGE SWITCHGEAR

A. Mrachkovsky

Annotation. The dependence of the value erosion wear contact materials on the number and size of dial-up positives for current contact pairs made of the same names and dissimilar materials.

Key words: silver, nickel, pseudo alloy, erosive wear, work surface, cathode, anode, bridged transfer, electronic- microscopic research

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук
e-mail: maxim_pavlenko@i.ua

Анотація. Проаналізовано існуюче обладнання для агропромислового виробництва дизельного біопалива на основі рослинних олій.

Ключові слова: дизельне біопаливо, метилат калію, перемішування, обладнання, продуктивність

Упродовж останнього часу розробкою обладнання для виробництва дизельного біопалива займалися науковці ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Національний університет біоресурсів і природокористування України, Білоцерківський державний аграрний університет, Одеський державний аграрний університет та інші [1, 2, 3], які намагалися вдосконалити обладнання, використовуючи різні методи перемішування в процесі естерифікації, адже чим краще відбудеться перемішування, тим якіснішим буде вироблене дизельне біопаливо. У процесі естерифікації використовуються такі види перемішування: механічне, гідродинамічне та гідромеханічне.

Мета досліджень – проаналізувати існуюче обладнання для виробництва дизельного біопалива.

Результати досліджень. Для агропромислового виробництва дизельного біопалива в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» було розроблено установку періодичної дії УВМЕ-1000 (рис. 1) продуктивністю 1000 л/год, в якій перемішування відбувається за допомогою рамкової мішалки [5]. Недоліком даної установки є те, що під кожну технологічну операцію застосовується окрема ємність із насосом.

Крім установки періодичної дії УВМЕ-1000 було розроблено установку безперервної дії УБ-ТР-20 (рис. 2) продуктивністю від 5 до 20 л/год, у якій перемішування відбувається за допомогою проходження рослинної олії та метилату калію через трубчастий естерифікатор.

Однак, дана установка призначена для використання в промисловому виробництві дизельного біопалива [6]. Основним недоліком даної установки є завищені витрати енергії на подолання гідравлічного опору трубчастого естерифікатора.



Рис. 1. Установка для одержання дизельного біопалива УВМЕ-1000



Рис. 2. Установка для одержання дизельного біопалива УБ-ТР-20

Паралельно з цим, у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, під керівництвом професора В. О. Дубровіна було розроблено експериментальну установку для виробництва дизельного біопалива ЕКО-БІО продуктивністю 100 л/год (рис. 3), на базі якої було реалізовано промислову установку ЛВБД-ЕКО-БІО продуктивністю 300 т/рік (рис. 4). У цих установках перемішування здійснюється за допомогою механічної лопатевої мішалки [3].

Недоліком даного обладнання (так як і в установці УВМЕ-1000) є використання під кожний етап виробництва палива окремої ємності з допоміжним устаткуванням, крім того, перемішування відбувається за допомогою лопатевої мішалки, що погіршує процес етерифікації порівняно з рамковою мішалкою, а також дане обладнання розроблене під промислову технологію.



Рис. 3. Установка для одержання дизельного біопалива ЕКО-БІО



**Рис 4. Установка для одержання дизельного біопалива
ЛВБД-ЕКО-БІО**

До того ж, наші науковці розробили й запатентували реактор-естерифікатор для перемішування рослинної олії (рис. 5) продуктивністю 50 л/год, у якому перемішування здійснюється за допомогою гідромеханічної мішалки, яке відбувається за рахунок вильоту суміші рослинної олії та метилату калію з форсунок, у результаті чого утворюється реактивна сила, яка створює обертальний рух мішалки з лопатками, які, у свою чергу, здійснюють додаткове перемішування суміші [4]. Таким чином, маємо обладнання з подвійним перемішуванням

компонентів, за рахунок якого забезпечується якісне перемішування в усьому об'ємі суміші. За рахунок того, що реактор має похиле дно та скребки на нижніх поверхнях, забезпечується повноцінне видалення осаду, який з часом відстоювання загусає. Дане обладнання також може бути використане для попереднього відстоювання рослинної олії.



Рис 5. Обладнання для виробництва дизельного біопалива з гідромеханічним перемішуванням

Висновки

Виробництво дизельного біопалива за агропромисловою технологією є доволі актуальним напрямом. Серед обладнання для виробництва дизельного біопалива найбільшого попиту набувають установки з використанням гідромеханічного перемішування, які забезпечують виконання основних технологічних етапів і задовольняють потреби фермерських господарств. Хоча резерви вдосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива ще повною мірою не вичерпані.

Список літератури

1. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива : монографія / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетука, І. П. Григорюк та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2010. – 408 с.
2. Використання гідродинамічної кавітації у виробництві дизельного біопалива / Сухенко Ю., Литвиненко О., Сухенко В. // Техніка та технології АПК. – Дослідницьке, 2011. – № 10 (25). – С. 33–36.
3. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. А. Голуба // К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.

4. Голуб Г. А. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 350–355.

5. Голуб Г. А. Особливості установок для виробництва дизельного біопалива / Г. А. Голуб, В. В. Чуба, М. І. Вільовка // Промислова гідроліка і пневматика (Всеукраїнський науково-технічний журнал). – 2011. – № 2 (32). – С. 91–95.

6. Голуб Г. А. Параметри кільцевого трубчатого етерифікатора для виробництва біодизельного палива / Г. А. Голуб, М. І. Вільовка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / редколегія : Д. О. Мельничук (відповідальний редактор) та інші. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 124–131.

АНАЛІЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА

М. Ю. Павленко

Аннотация. Проанализировано существующее оборудование для агропромышленного производства дизельного биотоплива на основе растительных масел.

Ключевые слова: *дизельное биотопливо, метилат калия, перемешивание, оборудование, производительность*

ANALYSIS EQUIPMENT AGRICULTURAL PRODUCTION BIODIESEL

M. Pavlenko

Annotation. The analysis of the existing equipment for agriculture biodiesel production from vegetable oils.

Key words: *diesel biofuel, potassium methoxide, mixing, equipment, productivity*

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РУХУ ТА НАГРІВАННЯ ЧАСТОК У ПОТОЦІ ПЛАЗМИ ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ

*І. П. Радько, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: radko@nubip.edu.ua*

Анотація. Розглянуто явища, які відбуваються на шляху руху частки порошку від моменту входження в контакт із плазмовим струменем до моменту їх дотику до основи. Обґрунтовано закономірності й математичні залежності процесу утворення покриттів.

Ключові слова: енергія, плазма, теплообмін, контактні матеріали, електрична дуга

Етап формування покриття є складним комплексом різного роду явищ, що впливають на отримання покриття з бажаними властивостями.

Мета досліджень – визначити процеси зміни хімічного складу напиленого матеріалу внаслідок термічного розкладання, взаємодії поверхні частки з елементами навколишнього середовища, а також взаємодії в об'ємі частки у випадку напилювання гетерогенних порошкових контактів матеріалів та морфологічні зміни у напиленому матеріалі внаслідок явищ шарування при плавленні, зіткненні й руйнуванні часток у замкненому газовому потоці.

Матеріали та методика досліджень. Відомості про значення теплової та кінетичної енергії частки, її розміри, форму та хімічний склад є необхідними під час аналізу процесів формування покриття. Для обґрунтування вибору тих чи інших загальних закономірностей і математичних залежностей, що отримані в теорії двофазних потоків, необхідне складання характеристики плазмового струменю з точки зору умов протікання газу та його взаємодії з дисперсною складовою. Перш за все, це стосується до значення числа Рейнольдса (Re). Розрахункова оцінка показала, що для різноманітних умов напилювання величина Re знаходиться у межах 0,5–22 (ламінарний режим протікання газу).

Щодо теплофізичних характеристик, то тут найбільший інтерес становить критерій Біо (Bi). Розрахункові значення свідчать про широкий діапазон його можливих змін залежно від роду напиленого матеріалу і складу плазмоутворюючого газу (0,001–5,5), тобто про нагрівання частки як за відсутності температурного градієнта, так і за суттєвого перепаду температур між їх поверхнею і центром.

Другим теплофізичним критерієм, що характеризує умови теплообміну, є критерій Фур'є. Він визначає час переходу процесу

теплообміну в квазістаціонарний стан, вирівнювання температури по перерізу частки.

Виходячи з положення, що частка порошку взаємодіє з неізотермічним затопленим струменем плазми, яка володіє радіальним і осьовим градієнтами температури і швидкостей, можна оцінити сили, що взаємодіють на неї в цих умовах [1, 2]:

- силу аеродинамічного опору;
- силу, що зумовлена градієнтом тиску в потоці;
- силу прискорення часток шару газу, який прилягає до поверхні (приєднаної маси);
- силу, яка зумовлена нестаціонарністю процесу і залежить від характеру руху частки за попередній період (сила Басе);
- силу, що зумовлена інерцією об'єму газу, який витіснила частка;
- силу земного тяжіння частки;
- силу термофорезу, що зумовлюється наявністю температурного градієнта в потоці;
- силу, що зумовлена обертанням частки внаслідок градієнта швидкості обтічного потоку (сила Магнуса).

Розрахункова оцінка величини цих сил показує, що якщо перша з них становить 50×10^{-3} Н, то сили Басе і Магнуса знаходяться приблизно на рівні $3 \cdot 10^{-3}$ Н і $2 \cdot 10^{-3}$ Н відповідно, а інші – $10^{-3} \dots 10^{-5}$ Н [3].

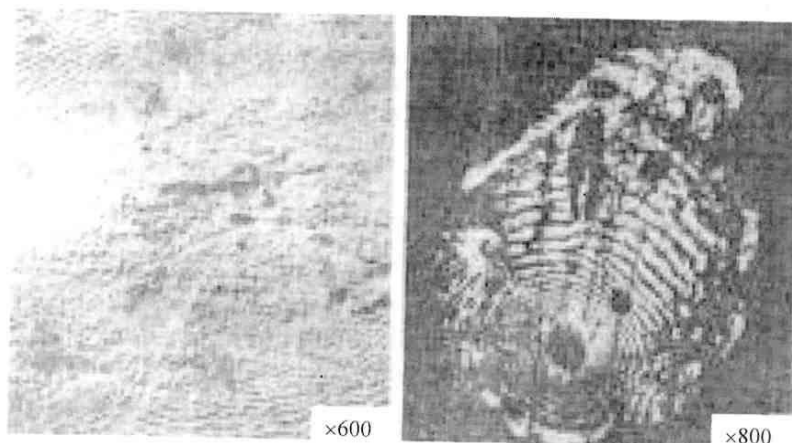
При формуванні плазмового покриття, окрім напиленого матеріалу, бере участь і безпосередньо основа (матеріал контактотримача апарата), а отже, до кількості факторів, що впливають на цей процес, входять:

- склад матеріалу основи з його теплофізичними і фізико-хімічними характеристиками;
- стан поверхні основи (наявність різного роду плівок, ступінь шорсткості, нагрівання тощо);
- термічна дія на основу газового струменя.

Результати досліджень. Феноменологічний аналіз явищ, що протікають на стадії відновлення контактів комутаційних апаратів, дає змогу виокремити основні з них [4]: удар частки по поверхні; деформацію частки; термічні процеси в зоні контакту; виникнення сил зчеплення частки з контактною поверхнею; встановлення термічної рівноваги системи покриття – основа з навколишнім середовищем і формування залишкової напруги. Ці явища не розділені в часі й загалом накладаються одне на одне [3].

Простежимо за розвитком контактних процесів під час удару та затвердіння часток покриття на основі, температура якої послідовно підвищується. Ці експерименти ми виконали для модельного металу – срібла. Срібло не дуже окислюється під час проведення дослідів і, крім того, унаслідок високої пластичності срібла, осередки захвату мають чітко виражений рельєф після відокремлення часток від основи по межі контакту. Це добре видно на рисунку, де на поверхні основи під часткою, що приварилася, а потім механічно видаленої, гарно простежується рельєф поверхні. На початку взаємодії частки з основою в їх контакті

утворюються осередки захвату. Після відривання часток від основи на поверхні в осередках захвату залишаються сліди металу, який був вирваний з часток (світлі виступи – осередки захвату). На металах розміри осередків захвату, що спостерігали за допомогою растрового скануючого мікроскопа, становлять **200–700 нм**.



а

б

Фрактографія поверхні основи (матеріал СрМ-0,2)

під привареною срібною часткою: а – утворення шару покриття: велика частка накрила меншу за розміром і відірвала її від основи; б – вигляд контактної поверхні частки, що відірвана від основи

Аналіз процесів, що відбуваються під час удару та деформації частки, дав змогу зробити принципово важливий висновок – можливість взаємного термічного впливу часток при газоплазмовому напилюванні досить мала й імовірність попадання нової розплавленої частки на ще не загуслу, що напилена раніше, може не братися до уваги. Це суттєво полегшує аналіз процесу утворення покриття, зводячи його до дослідження контактної взаємодії окремих часток.

Більшість дослідників віддають зараз перевагу гіпотезі утворення сил зчеплення при напилюванні переважно за рахунок міжатомних зв'язків, признаючи, водночас, наявність і елементів механічного зачеплення і міжмолекулярної взаємодії, тобто взаємодія в цьому випадку має комплексний характер із одночасною реалізацією деяких механізмів зчеплення покриття з основою.

Згідно із сучасними положеннями, увесь процес взаємодії частки з напиленою поверхнею можна представити складеним із трьох стадій: утворення фізичного контакту; активація контактних поверхонь та утворення хімічних міжатомних зв'язків на межі розділу; розвиток об'ємної взаємодії (релаксація мікронапруги, рекристалізація, гетеродифузія, утворення нових фаз).

Для забезпечення механічного зчеплення й виникнення сил типу Ван-дер-Ваальсових достатньо наявності першої стадії. Процес з'днання на другій та третій стадіях визначається трьома основними параметрами – температурою в контакті, тривалістю процесу і величиною прикладеного тиску.

В усіх випадках важливим моментом є деформація і розтікання часток, що забезпечує фізичний контакт напиленої частки з поверхнею. Ступінь деформації частки й досконалість утвореного контакту з напиленою поверхнею залежить від значної кількості факторів: теплової та кінетичної енергії часток, властивостей матеріалу розплаву (в'язкості, теплоємності, теплопровідності, поверхневого натягу тощо), стану напиленої поверхні тощо.

При газоплазмовому напилюванні в стадії активації поверхні основи, у свою чергу, вирізняють три фази:

а) локальне зниження активаційного енергетичного бар'єра поверхні основи під дією тиску від удару частки внаслідок пружних викривлень решітки і пластичної деформації;

б) перехід в активований стан групи атомів у цій локальній області за рахунок внутрішньої енергії коливання атомів у твердому тілі, тобто термічна активація;

в) розпад активованого комплексу, в результаті чого, залежно від напруженого стану, утворюється нове атомне угруповання (осередок взаємодії) або вихідні поверхневі зв'язки.

Розвиток реакції на межі взаємодії фаз, тобто плями контакту, можна приблизно визначити за відносної міцності зчеплення [5]:

$$\frac{\sigma(\tau)}{\sigma_m} = \frac{N(\tau)}{N_0} \quad (1)$$

де $\sigma(\tau)$ – міцність, що досягається за час τ ;

σ_m – максимальна міцність, яку можна отримати при завершенні процесу;

N_0 – кількість атомів на поверхні основи або частки, що знаходиться у фізичному контакті;

$N_{(\tau)}$ – кількість атомів із кількості N_0 , що прореагували за час τ .

Кінетика такої взаємодії загалом описується виразом [5]:

$$\frac{dN}{d\tau} = \nu_D (N_0 - N) \exp\left(-\frac{E_a}{kT_k}\right) \exp(S/k) \quad (2)$$

де ν_D – частота власних коливань атомів;

T_k – температура у зоні взаємодії;

k – стала Больцмана;

E_a – ефективна (уявна) енергія активації процесу;

S – коливальна і конфігураційна ентропія активації процесу в зоні хімічної взаємодії. Унаслідок малої величини S : $\exp(S/k) \approx 1$.

Вираз (2) якісно правильно відображує процеси хімічної взаємодії при напилюванні, але має ряд суттєвих недоліків для її кількісної оцінки. Основним з них є невизначеність ефективної енергії активації E_a , [5] яка зумовлена її залежністю від тиску, швидкості деформації, стану поверхні основи, часу взаємодії тощо.

Залишається спірним питання про роль пластичної деформації основи в кінетиці хімічної взаємодії матеріалів при газоплазмовому напилюванні. Вважається, що пластична деформація не може бути головним механізмом її активації при плазмовому напилюванні зі швидкостями часток нижчими за 60 м/с. Підтвердженням є той факт, що в лунці, утвореній на поверхні основи шляхом її пластичної деформації при ударі напиленої частки, не вся поверхня вступає у взаємодію, а лише її локальні ділянки. Крім того, розрахункові оцінки та експериментальні виміри густини дислокацій, що генеровані в поверхневому шарі матеріалу основи при напилюванні, показують, що пластична деформація може призвести до активації не більше, ніж 0,1 частини поверхні контакту.

Висновки

Аналіз сучасних думок про взаємодію напилених часток з основою дає змогу зробити такі висновки:

1. Хімічна взаємодія між напиленими частками та основою значною мірою визначає міцність зчеплення газоплазмових покриттів. Кінетика такої реакції лімітується стадією активації поверхні основи.

2. Існуючі відомості про міцність зчеплення газоплазмових покриттів недостатньо повно відображують основні закономірності процесу утворення з'єднання матеріалів при напилюванні, до речі, дискретність хімічної взаємодії, активуючий вплив попередньої обробки основи, роль навколишнього газового середовища тощо.

3. Не існує кількісних оцінок впливу стану поверхні основи – дислокаційної структури, напруги, наявності плівок тощо – на міцність зчеплення покриттів.

Поєднання поглибленого теоретичного аналізу всіх різноманітних явищ, що відбуваються при плазмовому напилюванні покриттів контакт-деталей, з методами регресивного аналізу є, на нашу думку, найбільш доцільним шляхом вивчення цих процесів.

Список літератури

1. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд., 1986 – 197 с.

2. Апарати комутаційні низьковольтні. Загальні технічні умови: ДСТУ 3020-95. – [Чинний від 1996-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 36 с.

3. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г. В. Буткевич. – М. : Энергия, 1973. – 172 с.

4. Радько И. П. Диффузия электроконтактных материалов при коммутации тока / И. П. Радько // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2005. – № 2.

5. Электрические контакты: Труды совещания (11–14 декабря 1982 г.) / отв. редактор Б. С. Сотсков. – М. : Энергия, 1983. – 680 с.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ПЛАЗМЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ

И. П. Радько

Аннотация. Рассмотрены явления, происходящие на пути движения частицы порошка от момента вхождения в контакт с плазменной струей до момента их касания основания. Обоснованы закономерности и математические зависимости процесса образования покрытий.

Ключевые слова: энергия, плазма, теплообмен, контактные материалы, электрическая дуга

FEATURES ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES TRAFFIC AND HEATING PLASMA PARTICLE FLOW IN CONTACT WITH RESTORATION UNITS

I. Radko

Annotation. The phenomena that occur in the path of the powder particles from the moment of entry into contact with the plasma jet till touching the base was studied in the article. The patterns and mathematical dependences of coating formation process were grounded.

Key words: energy, plasma, heat transfer, contact materials, electrical arc

РОЗРЯДНІ ПРОЦЕСИ В ЗЕРНОВІЙ МАСІ ПІД ДІЄЮ СИЛЬНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ

С. М. Усенко, кандидат технічних наук

О. В. Науменко, асистент

e-mail: virf750@mail.ru

Анотація. Наведено результати досліджень щодо впливу вологості на інтенсивність розрядних процесів у зерновій масі. Встановлено, що частота розрядів у зерновій масі залежить від вологості зерна і має частотну залежність.

Ключові слова: зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, розрядні процеси

Одним із основних шляхів поліпшення стану зернової галузі нашої держави є зменшення втрат і підвищення якості зерна під час зберігання. Суттєвим фактором, що призводить до втрат при зберіганні є діяльність комах-шкідників зернових запасів. Для знищення шкідників переважно застосовують фуміганти, які є достатньо токсичними. Як альтернатива застосовується озонування, але сучасні способи використання озону є енергозатратними та неефективними у зв'язку з втратами озону при його подачі від генератора озону до зерна та нерівномірністю обробки [7, 8, 10, 11, 12].

На кафедрі електроприводу та електротехнологій розроблюються засоби та пристрої [1, 2, 3, 4], в яких утворення озону відбувається безпосередньо в зерновій масі під дією сильного електричного поля (СЕР). Розроблено установку для обробки зерна в потоці під дією СЕР (рис. 1). Дослідження показали можливість застосування даного методу для боротьби зі шкідниками зернових [6, 9].



Рис. 1. Установка для знешкодження комах-шкідників у сильному електричному полі

Концентрація озону в повітряних проміжках зернової маси залежить від інтенсивності іонізаційних процесів, у першу чергу, частоти часткових розрядів у повітряних включеннях. Інтенсивність іонізаційних процесів змінюється залежно від напруженості СЕП. Напруженість СЕП можна збільшувати до певного значення, перевищення якого може призвести до пробою у зерновій масі [3, 4].

Відомо, що інтенсивність іонізаційних процесів залежить від вологості зернової маси. У розробленій установці передбачено можливість зміни частоти імпульсів імпульсного джерела високої напруги (ІДВН). Тому виникла необхідність дослідження розрядних процесів у зерновій масі залежно від вологості зернової маси та частоти імпульсів ІДВН.

Мета досліджень – аналіз розрядних процесів у зерновій масі та встановлення їх закономірності залежно від вологості зернової маси та частоти імпульсів імпульсного джерела високої напруги.

Матеріали та методика досліджень. У запропонованому методі обробки зерно розміщується між плоско-паралельними пластинчастими електродами, до яких підводиться висока напруга. Особливістю такого виду обробки є те, що на зернову масу, мікрофлору та комах-шкідників діють такі фактори впливу, як сильне електричне поле, поверхневий та об'ємний струм, іонізаційні процеси, що відбуваються в повітряному просторі зернової маси, аероіони та озон, які утворюються під дією часткових розрядів [2].

Для дослідження розрядних процесів у зерновій масі було виготовлено дослідну установку (рис. 2).

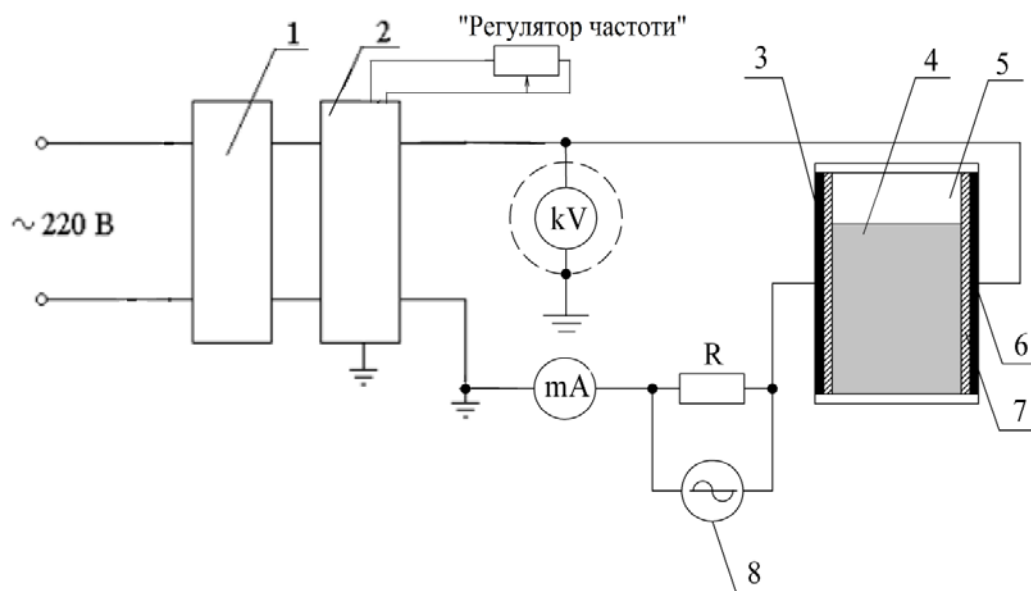


Рис. 2. Схема лабораторної установки для дослідження розрядних процесів у зерновій масі: 1 – автотрансформатор; 2 – імпульсне джерело високої напруги; 3, 6 – плоскопаралельні пластинчасті електроди; 4 – оброблюване зерно; 5 – камера обробки; 7 – діелектричні пластини; 8 – осцилограф

Від імпульсного джерела високої напруги 2 напруга подається до плоскопаралельних електродів 3, 6. Стінки камери обробки виготовлено з діелектричного матеріалу (оргскло). Регулювання напруги живлення передбачено за допомогою автотрансформатора 1. У камеру обробки 5 встановлено діелектричні пластини 7, які відокремлюють зерно 4 від електродів. У коло нульового проводу введено резистор, який фіксує розрядні струми, що проходять у зерні. Сигнал знімається за допомогою осцилографа 8. Контроль напруги здійснюється кіловольтметром, струм контролюється міліамперметром. У схемі передбачено регулювання частоти ІДВН.

Результати досліджень. Для досліджень взято зразки зерна сорту «Вакула» вологістю 12,7%, 13,3%, 14%, 14,7%. Розміри камери обробки: відстань між електродами – 3 см; довжина електрода – 10 см; висота засипки зерна – 6 см.

Результати досліджень наведено в таблиці та на рис. 3.

Частота розрядів у зерні під дією сильного електричного поля імпульсного струму

Частота імпульсів, кГц	Напруженість електричного поля, кВ/см	Частота розрядів при вологості зерна 12,7 %	Частота розрядів при вологості зерна 13,3 %	Частота розрядів при вологості зерна 14 %	Частота розрядів при вологості зерна 14,7 %
3	5	1,187	18,4	3,1	6,2
5	5	0,947	2,383	4,2	0,473
6	5	1,503	3,133	4,8	0,513
8	5	0,901	4,5	4,7	0,726
15	5	1,49	12,533	4	0,811

Залежність частоти розрядів у зерновій масі під дією СЕП залежить від вологості зерна та частоти імпульсів джерела високої напруги. Залежність описується виразом:

$$f_p = f_{\max} \cdot e^{\frac{-(w-w_0)}{2 \cdot c^2}}, \quad (1)$$

де f_p – частота розрядів у зерновій масі, кГц;

$f_{\max}$ – максимальне значення частоти розрядів, кГц;

w_0 – вологість зерна, при якій досягається максимальне значення частоти, %;

w – вологість зерна, яке оброблюється, %;

c – коефіцієнт, який залежить від частоти імпульсів та вологості зернової маси.

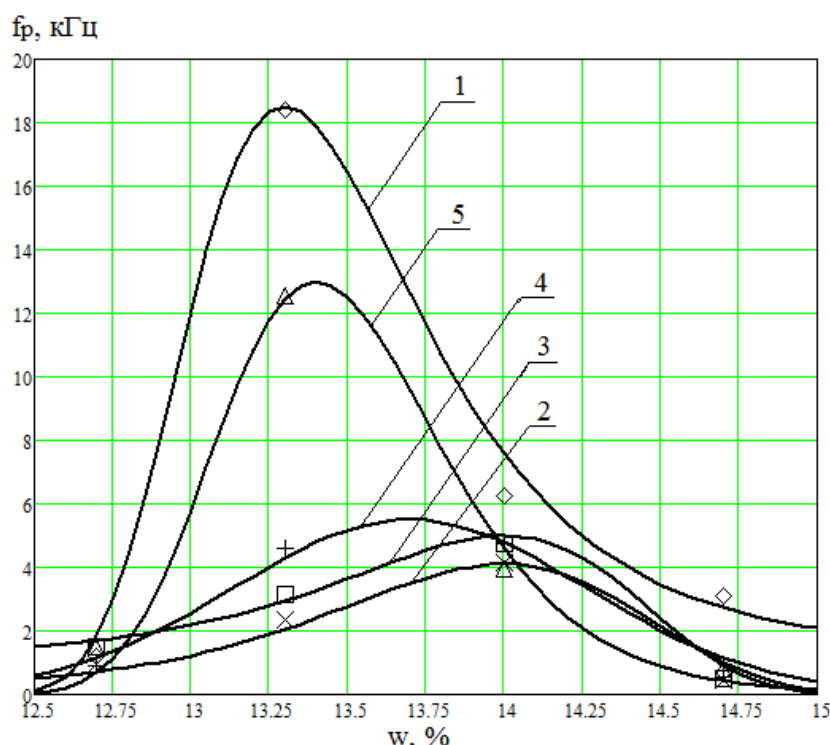


Рис. 3. Залежність частоти розрядів у зерновій масі ячменю залежно від вологості зерна при частоті імпульсів:
1 – 3 кГц; 2 – 5 кГц; 3 – 6 кГц; 4 – 8 кГц; 5 – 15 кГц.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що частота розрядів у зерновій масі залежить від вологості зерна і має частотну залежність. Максимальні значення частоти розрядів отримуємо при значеннях вологості, близьких до кондиційної (13,3...14%). Отримана залежність дасть змогу визначати режими обробки залежно від вологості зернової маси.

Список літератури

1. Берека О. М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруги : дис. доктора технічних наук : 05.09.03 / Берека Олег Миколайович. – К., 2010. – 322 с.
2. Берека О. М. Озонування насіннєвого матеріалу в сильних електричних полях / О. М. Берека, Л. С. Червінський, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2008. – Т. 2, вип. 8. – С. 103–108.
3. Берека О. М. Сильні електричні поля в зерновій галузі рослинництва : монографія / О. М. Берека. – К. : НУБіП України, 2011. – 400 с.
4. Берека О. М. Часткові розряди в зерновій масі під дією сильного електричного поля / О. М. Берека, С. М. Усенко, С. В. Петриченко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь : ТДАТУ, 2011. – Т. 6, вип. 11. – С. 184–191.
5. Берека О. М. Установка для знешкодження комах-шкідників зерна у сильному електричному полі / О. М. Берека, О. В. Науменко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 185–192.

6. Берека О. Н. Дезинсекция зерновой массы в сильном электрическом поле / О. Н. Берека, А. В. Науменко // Инновации в сельском хозяйстве. М. : ГНУ ВИЭХ Россельхозакадемии, 2014. – № 4 (9). – С. 133–138.
7. Ловкіс З. В. Дезинсекція комах-шкідників озonom / З. В. Ловкіс, Т. П. Троцька // Зерно і хліб. – 2005. – № 2. – С. 34–35.
8. Обработка и хранение зерна / [А. Аккман, В. Берндт, В. Эккс и др.] ; пер. с нем. А. М. Мазурицкого ; под ред. и предисл. А. Е. Юкиша. – М. : Агропромиздат, 1985. – 320 с.
9. Патент на винахід № 105984 Україна, МПК А23L 3/32 (2006.01), А01F 25/14 (2006.01). Пристрій для знешкодження комах-шкідників зерна у сильному електричному полі / Берека О. М., Науменко О. В. Заявник і патентовласник НУБіП України. – № а201303445 ; заяв. 20.03.2013 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
10. Шевченко Н. Г. Шкідники запасів зерна та контроль їх чисельності / Н. Г. Шевченко, Т. П. Гордієнко // Посібник українського хлібороба. – 2008. – С. 41–44.
11. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize / Kells S. A., Mason L. J., Maier D. E., Woloshuk C. P // Journal of Stored Products. – 2001. – Vol. 37. – Iss. 4. – P. 371–382.
12. Shadia E. AbdEl-Aziz. **Control Strategies of Stored Product Pests** / Shadia E. AbdEl-Aziz // **Journal of Entomology**. – 2011. – № 8 (2). – P. 101–122.

РАЗРЯДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕРНОВОЙ МАССЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

С. М. Усенко, О. В. Науменко

Аннотация. *Представлены результаты исследований по влиянию влажности зерна на интенсивность разрядных процессов в зерновой массе. Установлено, что частота разрядов в зерновой массе зависит от влажности зерна и имеет частотную зависимость.*

Ключевые слова: *зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, разрядные процессы*

DISCHARGE PROCESSES IN THE GRAIN MASS UNDER APPLYING OF HIGH ELECTRIC FIELD OF PULSE CURRENT

S. Usenko, O. Naumenko

Annotation. *The article presents the results of research on the effects of humidity on intensity discharge processes in the grain mass. It was established that the frequency of discharges in the grain mass depends on the moisture content of grain and has a frequency dependence.*

Key words: *grain mass, granary pests, high electric field, discharge processes*

РОЗРЯДНІ ПРОЦЕСИ В ЗЕРНОВІЙ МАСІ ПІД ДІЄЮ СИЛЬНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ

С. М. Усенко, кандидат технічних наук

О. В. Науменко, асистент

e-mail: virf750@mail.ru

Анотація. Наведено результати досліджень щодо впливу вологості на інтенсивність розрядних процесів у зерновій масі. Встановлено, що частота розрядів у зерновій масі залежить від вологості зерна і має частотну залежність.

Ключові слова: зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, розрядні процеси

Одним із основних шляхів поліпшення стану зернової галузі нашої держави є зменшення втрат і підвищення якості зерна під час зберігання. Суттєвим фактором, що призводить до втрат при зберіганні є діяльність комах-шкідників зернових запасів. Для знищення шкідників переважно застосовують фуміганти, які є достатньо токсичними. Як альтернатива застосовується озонування, але сучасні способи використання озону є енергозатратними та неефективними у зв'язку з втратами озону при його подачі від генератора озону до зерна та нерівномірністю обробки [7, 8, 10, 11, 12].

На кафедрі електроприводу та електротехнологій розроблюються засоби та пристрої [1, 2, 3, 4], в яких утворення озону відбувається безпосередньо в зерновій масі під дією сильного електричного поля (СЕР). Розроблено установку для обробки зерна в потоці під дією СЕР (рис. 1). Дослідження показали можливість застосування даного методу для боротьби зі шкідниками зернових [6, 9].



Рис. 1. Установка для знешкодження комах-шкідників у сильному електричному полі

Концентрація озону в повітряних проміжках зернової маси залежить від інтенсивності іонізаційних процесів, у першу чергу, частоти часткових розрядів у повітряних включеннях. Інтенсивність іонізаційних процесів змінюється залежно від напруженості СЕП. Напруженість СЕП можна збільшувати до певного значення, перевищення якого може призвести до пробою у зерновій масі [3, 4].

Відомо, що інтенсивність іонізаційних процесів залежить від вологості зернової маси. У розробленій установці передбачено можливість зміни частоти імпульсів імпульсного джерела високої напруги (ІДВН). Тому виникла необхідність дослідження розрядних процесів у зерновій масі залежно від вологості зернової маси та частоти імпульсів ІДВН.

Мета досліджень – аналіз розрядних процесів у зерновій масі та встановлення їх закономірності залежно від вологості зернової маси та частоти імпульсів імпульсного джерела високої напруги.

Матеріали та методика досліджень. У запропонованому методі обробки зерно розміщується між плоско-паралельними пластинчастими електродами, до яких підводиться висока напруга. Особливістю такого виду обробки є те, що на зернову масу, мікрофлору та комах-шкідників діють такі фактори впливу, як сильне електричне поле, поверхневий та об'ємний струм, іонізаційні процеси, що відбуваються в повітряному просторі зернової маси, аероіони та озон, які утворюються під дією часткових розрядів [2].

Для дослідження розрядних процесів у зерновій масі було виготовлено дослідну установку (рис. 2).

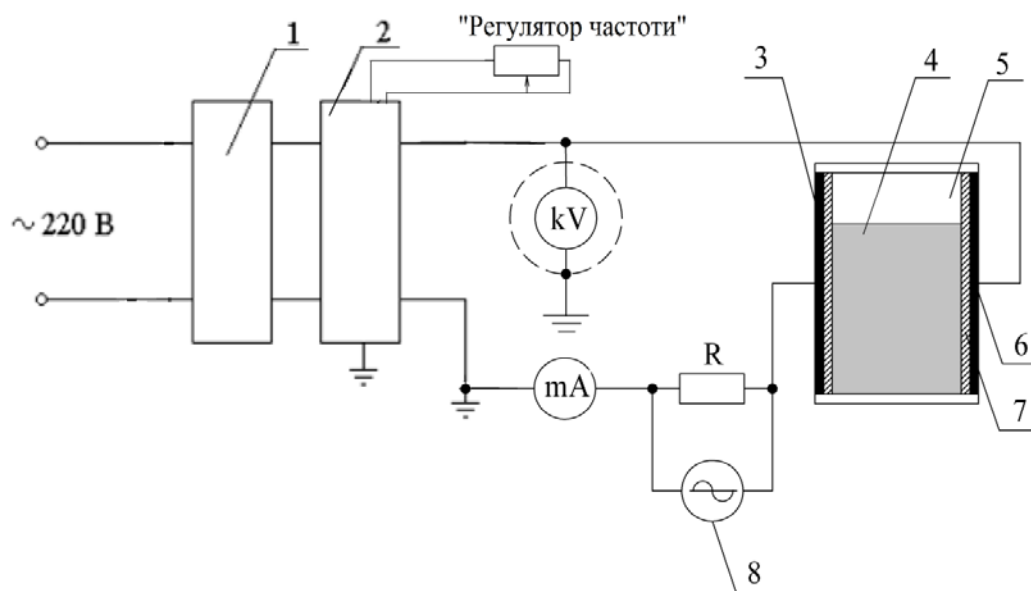


Рис. 2. Схема лабораторної установки для дослідження розрядних процесів у зерновій масі: 1 – автотрансформатор; 2 – імпульсне джерело високої напруги; 3, 6 – плоскопаралельні пластинчасті електроди; 4 – оброблюване зерно; 5 – камера обробки; 7 – діелектричні пластини; 8 – осцилограф

Від імпульсного джерела високої напруги 2 напруга подається до плоскопаралельних електродів 3, 6. Стінки камери обробки виготовлено з діелектричного матеріалу (оргскло). Регулювання напруги живлення передбачено за допомогою автотрансформатора 1. У камеру обробки 5 встановлено діелектричні пластини 7, які відокремлюють зерно 4 від електродів. У коло нульового проводу введено резистор, який фіксує розрядні струми, що проходять у зерні. Сигнал знімається за допомогою осцилографа 8. Контроль напруги здійснюється кіловольтметром, струм контролюється міліамперметром. У схемі передбачено регулювання частоти ІДВН.

Результати досліджень. Для досліджень взято зразки зерна сорту «Вакула» вологістю 12,7%, 13,3%, 14%, 14,7%. Розміри камери обробки: відстань між електродами – 3 см; довжина електрода – 10 см; висота засипки зерна – 6 см.

Результати досліджень наведено в таблиці та на рис. 3.

Частота розрядів у зерні під дією сильного електричного поля імпульсного струму

Частота імпульсів, кГц	Напруженість електричного поля, кВ/см	Частота розрядів при вологості зерна 12,7 %	Частота розрядів при вологості зерна 13,3 %	Частота розрядів при вологості зерна 14 %	Частота розрядів при вологості зерна 14,7 %
3	5	1,187	18,4	3,1	6,2
5	5	0,947	2,383	4,2	0,473
6	5	1,503	3,133	4,8	0,513
8	5	0,901	4,5	4,7	0,726
15	5	1,49	12,533	4	0,811

Залежність частоти розрядів у зерновій масі під дією СЕП залежить від вологості зерна та частоти імпульсів джерела високої напруги. Залежність описується виразом:

$$f_p = f_{\max} \cdot e^{\frac{-(w-w_0)}{2 \cdot c^2}}, \quad (1)$$

де f_p – частота розрядів у зерновій масі, кГц;

$f_{\max}$ – максимальне значення частоти розрядів, кГц;

w_0 – вологість зерна, при якій досягається максимальне значення частоти, %;

w – вологість зерна, яке оброблюється, %;

c – коефіцієнт, який залежить від частоти імпульсів та вологості зернової маси.

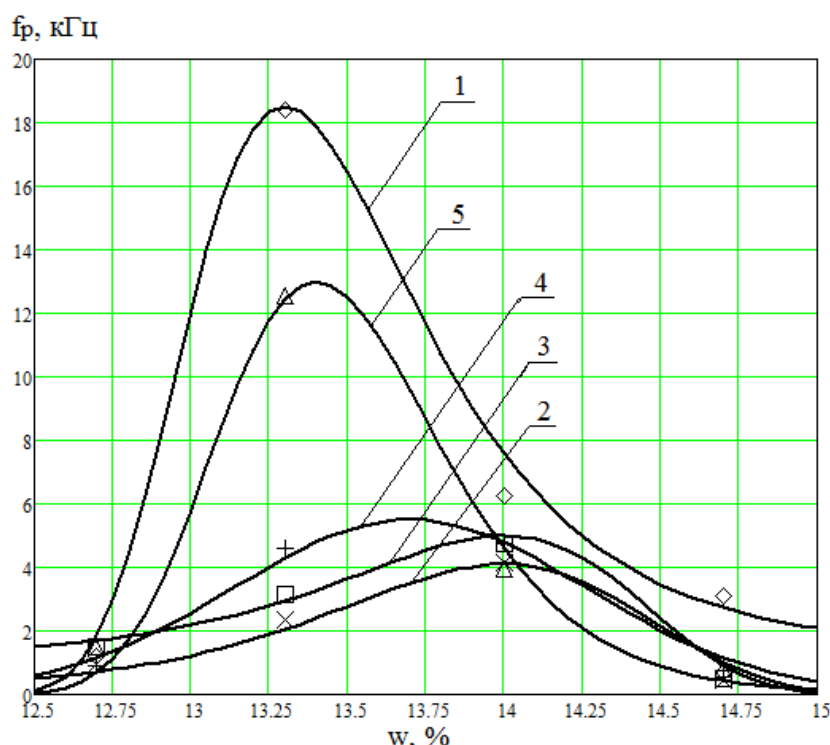


Рис. 3. Залежність частоти розрядів у зерновій масі ячменю залежно від вологості зерна при частоті імпульсів:
1 – 3 кГц; 2 – 5 кГц; 3 – 6 кГц; 4 – 8 кГц; 5 – 15 кГц.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що частота розрядів у зерновій масі залежить від вологості зерна і має частотну залежність. Максимальні значення частоти розрядів отримуємо при значеннях вологості, близьких до кондиційної (13,3...14%). Отримана залежність дасть змогу визначати режими обробки залежно від вологості зернової маси.

Список літератури

1. Берека О. М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруги : дис. доктора технічних наук : 05.09.03 / Берека Олег Миколайович. – К., 2010. – 322 с.
2. Берека О. М. Озонування насіннєвого матеріалу в сильних електричних полях / О. М. Берека, Л. С. Червінський, С. М. Усенко // Праці Таврійського держ. агротехн. ун-ту. – 2008. – Т. 2, вип. 8. – С. 103–108.
3. Берека О. М. Сильні електричні поля в зерновій галузі рослинництва : монографія / О. М. Берека. – К. : НУБіП України, 2011. – 400 с.
4. Берека О. М. Часткові розряди в зерновій масі під дією сильного електричного поля / О. М. Берека, С. М. Усенко, С. В. Петриченко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь : ТДАТУ, 2011. – Т. 6, вип. 11. – С. 184–191.
5. Берека О. М. Установка для знешкодження комах-шкідників зерна у сильному електричному полі / О. М. Берека, О. В. Науменко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 185–192.

6. Берека О. Н. Дезинсекция зерновой массы в сильном электрическом поле / О. Н. Берека, А. В. Науменко // Инновации в сельском хозяйстве. М. : ГНУ ВИЭХ Россельхозакадемии, 2014. – № 4 (9). – С. 133–138.
7. Ловкіс З. В. Дезинсекція комах-шкідників озonom / З. В. Ловкіс, Т. П. Троцька // Зерно і хліб. – 2005. – № 2. – С. 34–35.
8. Обработка и хранение зерна / [А. Аккман, В. Берндт, В. Эккс и др.] ; пер. с нем. А. М. Мазурицкого ; под ред. и предисл. А. Е. Юкиша. – М. : Агропромиздат, 1985. – 320 с.
9. Патент на винахід № 105984 Україна, МПК A23L 3/32 (2006.01), A01F 25/14 (2006.01). Пристрій для знешкодження комах-шкідників зерна у сильному електричному полі / Берека О. М., Науменко О. В. Заявник і патентовласник НУБіП України. – № а201303445 ; заяв. 20.03.2013 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
10. Шевченко Н. Г. Шкідники запасів зерна та контроль їх чисельності / Н. Г. Шевченко, Т. П. Гордієнко // Посібник українського хлібороба. – 2008. – С. 41–44.
11. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize / Kells S. A., Mason L. J., Maier D. E., Woloshuk C. P // Journal of Stored Products. – 2001. – Vol. 37. – Iss. 4. – P. 371–382.
12. Shadia E. AbdEl-Aziz. **Control Strategies of Stored Product Pests** / Shadia E. AbdEl-Aziz // **Journal of Entomology**. – 2011. – № 8 (2). – P. 101–122.

РАЗРЯДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕРНОВОЙ МАССЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

С. М. Усенко, О. В. Науменко

Аннотация. *Представлены результаты исследований по влиянию влажности зерна на интенсивность разрядных процессов в зерновой массе. Установлено, что частота разрядов в зерновой массе зависит от влажности зерна и имеет частотную зависимость.*

Ключевые слова: *зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, разрядные процессы*

DISCHARGE PROCESSES IN THE GRAIN MASS UNDER APPLYING OF HIGH ELECTRIC FIELD OF PULSE CURRENT

S. Usenko, O. Naumenko

Annotation. *The article presents the results of research on the effects of humidity on intensity discharge processes in the grain mass. It was established that the frequency of discharges in the grain mass depends on the moisture content of grain and has a frequency dependence.*

Key words: *grain mass, granary pests, high electric field, discharge processes*

**ВПЛИВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ
НА ПОШИРЕННЯ ХВИЛЬ ЛЕМБА
У ПЛАСТИНАХ КРИСТАЛІВ КЛАСУ 6_{mm}**

***П. П. Ільїн, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: p_ilyin@ukr.net***

Анотація. Наведено результати теоретичного дослідження впливу п'єзоелектричного ефекту на поширення хвиль Лемба в пластинах кристалів класу 6_{mm} поблизу критичних частот. Встановлено, що через наявність п'єзоелектричного ефекту деякі моди Лемба можуть мати протилежні напрями фазових та групових швидкостей (має місце явище «зворотної хвилі»).

Ключові слова: *хвилі Лемба, п'єзоелектричний ефект, зворотні хвилі.*

Для неруйнівного дослідження новітніх матеріалів, які одержують у вигляді тонких шарів або пластин, широко застосовуються ультразвукові хвилі Лемба [13]. Параметри цих хвиль істотно залежать від пружних властивостей матеріалу, особливо поблизу критичних частот, де спостерігається сильна частотна дисперсія швидкостей хвиль. Однак, якщо шар речовини, в якому розповсюджується хвиля Лемба, має п'єзоелектричні властивості, то їх вплив на фазову швидкість хвилі зростає при наближенні до критичних частот [4].

Мета досліджень – вивчення впливу п'єзоелектричного ефекту на властивості хвиль Лемба поблизу критичних частот симетричних та антисиметричних мод, зокрема на їх дисперсію, в кристалах симетрії 6_{mm} .

Матеріали та методика досліджень. Розглядалося розповсюдження хвиль Лемба в напрямі осі шостого порядку в пластинах кристалів симетрії 6_{mm} за наявності п'єзоелектричного ефекту. Для такого випадку дисперсійні рівняння, які описують хвилі Лемба, було одержано у праці [5]. Ці рівняння є трансцендентні й для довільних випадків їх можна розв'язувати лише чисельними методами.

У даній роботі розв'язання цих рівнянь проводилося поблизу критичних частот аналітичними методами, наближено. Використовувався той факт, що при наближенні до критичної частоти фазова швидкість відповідної моди Лемба прямує до нескінченності, а хвильове число k в цій частотній області прямує до нуля. Це дало можливість розкласти тригонометричні функції, що входять у дисперсійні рівняння, у ряд Тейлора в околі критичних частот Ω_c і одержати наближені дисперсійні рівняння, які дають зв'язок між безрозмірним хвильовим числом $q = kd$ та безрозмірною частотою Ω .

Розглядалися хвилі з циклічною частотою ω , що розповсюджуються в пластині кристалу завтовшки $2d$ з діелектричними, п'єзоелектричними та пружними сталими відповідно ε_{ij} , e_{ij} , c_{ij} . Для випадків $q \ll 1$ коефіцієнти при q та q^2 обчислювалися з точністю до членів, пропорційних квадрату коефіцієнта електромеханічного зв'язку K^2 . Для спрощення аналізу приймалося $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{33}$, що практично виконується в кристалах класу 6_{mm} [6]. Для визначеності фазова швидкість хвиль вважалася додатною величиною, тобто приймалося, що $q > 0$.

Результати досліджень. Було одержано наведені нижче наближені дисперсійні рівняння.

Для антисиметричних (а) мод, які народжуються на критичних частотах $\Omega_{cat} = (n - \frac{1}{2})\pi\sqrt{1 + K^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$ – ціле число) як поперечні (t) хвилі:

$$\Omega - \Omega_{cat} = \frac{1}{\Omega_{cat}} (Pq^2 - K^2 \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11}} q), \quad (1)$$

де $\Omega = \frac{\omega d}{v_t}$ – безрозмірна частота,

$$v_t = \sqrt{\frac{c_{44}}{\rho}} \text{ – швидкість об'ємних поперечних хвиль;}$$

ρ – густина матеріалу пластини;

$$P = \frac{c}{2} - \frac{(1+b)^2}{2(a-1)} + \frac{Y}{\Omega_{cat}\sqrt{a}} \operatorname{ctg}\left(\frac{\Omega_{cat}}{\sqrt{a}}\right);$$

$$Y = \left[\frac{(1+K^2)(a+b)}{a-1} \right]^2; \quad a = \frac{c_{11}}{c_{44}}; \quad b = \frac{c_{12}}{c_{44}}; \quad c = \frac{c_{33}}{c_{44}}; \quad K^2 = \frac{e_{15}^2}{\varepsilon_{11}c_{44}}.$$

Для симетричних (s) мод, які народжуються на критичних частотах $\Omega_{csl} = (n - \frac{1}{2})\pi\sqrt{a}$ як поздовжні (l) хвилі:

$$\Omega - \Omega_{csl} = \frac{1}{\Omega_{csl}} \left(Rq^2 - GK^2 \frac{q}{q + \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11}}} \right) \quad (2)$$

де

$$R = \frac{1}{2} + \frac{(1+b)^2}{2(a-1)} + K^2 \frac{[(a+b+r)(1+r) - at]}{2(a-1)} + \frac{Y}{\Omega_{csl} \sqrt{1+K^2}} \operatorname{ctg}\left(\frac{\Omega_{csl}}{\sqrt{1+K^2}}\right)$$

$$G = r \frac{(1+b)(a+b) + (at+r+r^2)(a-1)}{(a-1)[(a-1)r + a+b]} \quad ; \quad r = \frac{e_{31}}{e_{15}} \quad t = \frac{e_{33}}{e_{15}} .$$

Наближені рівняння для антисиметричних мод, які народжуються на критичних частотах $\Omega_{cal} = n\pi\sqrt{a}$ як поздовжні хвилі:

$$\Omega - \Omega_{cal} = \frac{1}{\Omega_{cal}} Qq^2, \quad (3)$$

де

$$Q = \frac{1}{2} + \frac{(1+b)^2}{2(a-1)} - K^2 \frac{(1+3r)(a+b) - r - r^2 - at}{a-1} - \frac{Y}{\Omega_{cal} \sqrt{1+K^2}} \operatorname{tg}\left(\frac{\Omega_{cal}}{\sqrt{1+K^2}}\right),$$

та для симетричних мод, які народжуються на критичних частотах $\Omega_{cst} = n\pi\sqrt{1+K^2}$ як поперечні хвилі:

$$\Omega - \Omega_{cst} = \frac{1}{\Omega_{cst}} Sq^2 \quad (4)$$

$$S = \frac{c}{2} + \frac{(1+b)^2}{2(a-1)} - \frac{Y}{\Omega_{cst} \sqrt{a}} \operatorname{tg}\left(\frac{\Omega_{cst}}{\sqrt{a}}\right).$$

де

Рівняння (3) та (4) описують хвилі, дисперсійні властивості яких в області, що розглядається, якісно не залежать від наявності п'єзоелектричного ефекту.

У п'єзоелектричних матеріалах (при $K^2 \neq 0$) рівняння (1) та (2) описують хвилі, які існують при частотах менших за критичну і мають протилежно спрямовані фазову $v = \frac{\omega}{k} = \frac{\Omega}{q}$ та групову $v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{\partial \Omega}{\partial q} v_t$ швидкості. Такі хвилі називають «зворотними хвилями» [7]. Про можливість існування зворотних пружних хвиль Лемба в пластинах ідеальних пружних ізотропних матеріалів вперше повідомлялося у праці [8]. У праці [9] було доведено, що наявність п'єзоелектричного ефекту робить можливим існування в пластинах кристалів класу 6_{mm} зворотних поперечних пружних хвиль. Про можливість виникнення саме під впливом п'єзоелектричного ефекту зворотних хвиль Лемба в пластинах гексагональних кристалів раніше не повідомлялося.

Наприклад, з рівняння (1) одержуємо:

$$v_g = \frac{\partial \Omega}{\partial q} v_t = \frac{v_t}{\Omega_{cat}} (2Pq - K^2 \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11}}) \quad (5)$$

Видно, що у випадку $P > 0$ при достатньо малих значеннях безрозмірного хвильового числа q , а саме: при $0 \leq q < \frac{K^2}{2P} \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11}}$, залежність $\Omega(q)$ проходить у частотній області $\Omega < \Omega_c$, при цьому групова швидкість хвилі буде від'ємною. Тобто пружна хвиля буде мати протилежні напрями фазової та групової швидкостей. Такі самі властивості мають хвилі, що описуються рівнянням (2) при $R > 0$ у випадку, коли $q \ll \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{11}}$ і у знаменнику можна нехтувати q .

За відсутності п'єзоелектричного ефекту ($K^2 = 0$) рівняння (1) та (2) описують хвилі зі звичайною дисперсією.

Оскільки напрям перенесення енергії хвилями співпадає з напрямом групової швидкості, насправді слід розглядати хвилі, які переносять енергію від джерела пружних хвиль і тому мають додатну групову швидкість. Тоді в певних інтервалах частот деякі моди Лемба матимуть від'ємну фазову швидкість, тобто спрямовану до джерела хвиль.

Висновки

Одержані наближені дисперсійні рівняння для хвиль Лемба в пластинах кристалів класу 6_{mm} , які вперше дозволили їх наближене розв'язання аналітичними методами. Доведено, що існування поблизу критичних частот деяких мод Лемба такого незвичного явища, як «зворотні хвилі» (з протилежно спрямованими фазовою та груповою швидкостями) у деяких випадках можливе лише внаслідок наявності п'єзоелектричного

ефекту у матеріалі пластини. Через сильну частотну дисперсію такі хвилі мають бути дуже чутливими до властивостей матеріалу пластини.

Список літератури

1. Wang L. Group velocity and characteristic wave curves of Lamb waves in composites: Modeling and experiments [Text] / L. Wang, F.G. Yuan // Composites Science and Technology. – 2007. – 67. – P. 1370–1384.
2. Demčenko A. Calculation of Lamb waves dispersion curves in multi-layered planar structures [Text] / A. Demčenko, L. Mañeika // Ultragarsas. – 2002. – V. 44, N 3. – P.15–17.
3. Кузнецов С. В. Волны Лэмба в анизотропных пластинах (обзор) / С. В. Кузнецов // Акустический журнал. – 2014. – Т. 60, № 1. – С. 90–100.
4. Бурдакова А. В. Влияние пьезоэффекта на распространение волн Лэмба в кристаллах CdS, CdSe и ZnO / А. В. Бурдакова, И. Я. Кучеров, В. М. Перга // Украинский физический журнал. – 1973. – Т.18, № 6. – С. 965–972.
5. Коцаренко Н. Я. Электронное затухание и усиление волн Лэмба в пьезополупроводниках / Н. Я. Коцаренко, И. Я. Кучеров, И. В. Островский [и др.] // Украинский физический журнал. – 1971. – Т.16, № 10. – С. 1707–1716.
6. Акустические кристаллы : справочник / [Блистанов А. А., Бондаренко В. С., Переломова Н. В. и др.] ; под. ред. М. П. Шаскольской. – М. : Наука, 1982. – 692 с.
7. Гринченко В. Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах / В. Т. Гринченко, В. В. Мелешко. – К. : Наук. думка, 1981. – 284 с.
8. Tolstoy I. Wave propagation in elastic plates: low and high mode dispersion [Text] / I. Tolstoy, E. Usdin // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1957. – Vol. 29, N 1. – P. 37–42.
9. Бурлий П. В. О возможности существования поперечных обратных волн в пластинах / П. В. Бурлий, П. П. Ильин, И. Я. Кучеров // Письма в журнал технической физики. – 1982. – Т. 8, вып. 9. – С. 568–571.

ВЛИЯНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ЛЭМБА В ПЛАСТИНАХ КРИСТАЛЛОВ КЛАССА 6_{mm}

П. П. Ильин

Аннотация. Приведены результаты теоретического исследования влияния пьезоэлектрического эффекта на распространение волн Лэмба в пластинах кристаллов класса 6_{mm} вблизи критических частот. Установлено, что из-за наличия пьезоэлектрического эффекта некоторые моды Лэмба могут иметь противоположные направления фазовых и групповых скоростей (имеет место явление «обратной волны»).

Ключевые слова: волны Лэмба, пьезоэлектрический эффект, обратные волны

INFLUENCE OF PIEZOELECTRIC EFFECT ON THE PROPAGATION OF LAMB WAVES IN PLATES OF THE CLASS 6_{mm} CRYSTALS

P. Ilyin

Annotation. *The results of theoretical investigation of piezoelectric effect influence on propagation of Lamb waves in plates of the class 6_{mm} crystals near cutoff frequencies are presented. It has been found that due to piezoelectric effect presence some Lamb modes can have opposite directions of phase and group velocities (the phenomenon of backward wave).*

Key words: *Lamb waves, piezoelectric effect, backward waves*

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБМОТКИ СТАТОРА КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

*P. M. Чуєнко, кандидат технічних наук
e-mail: roman_chuenko@ukr.net*

Анотація. *Розглянуто особливості виготовлення обмоток статора асинхронних двигунів із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, обмотка статора, обмоткові дані, напрям обертання*

Щорічно в агропромисловому комплексі України близько 20% парку асинхронних електродвигунів (АД) підлягають капітальному ремонту [6]. Під час його проведення є можливість здійснити модернізацію асинхронних електродвигунів із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності (ВСКРП) з метою поліпшення їх техніко-економічних показників [2].

Мета досліджень – розглянути особливості виготовлення обмоток статора асинхронних двигунів під час їх модернізації із застосуванням ВСКРП.

Матеріали та методика досліджень. Згідно з класифікацією, прийнятою у [1], обмотки статора базових машин серій 4А та АИ поділяються на такі основні види: 01 – одношарова концентрична; 02 – одношарова "врозвалку"; 03 – двошарова петльова рівносекційна.

Саме такі види обмоток рекомендуються для модернізації з використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.

Будь-яку з обмоток, рекомендованих для модернізації, можна розділити на дві рівні частини з виведенням на клемний щиток

© P. M. Чуєнко, 2016

INFLUENCE OF PIEZOELECTRIC EFFECT ON THE PROPAGATION OF LAMB WAVES IN PLATES OF THE CLASS 6_{mm} CRYSTALS

P. Ilyin

Annotation. *The results of theoretical investigation of piezoelectric effect influence on propagation of Lamb waves in plates of the class 6_{mm} crystals near cutoff frequencies are presented. It has been found that due to piezoelectric effect presence some Lamb modes can have opposite directions of phase and group velocities (the phenomenon of backward wave).*

Key words: *Lamb waves, piezoelectric effect, backward waves*

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБМОТКИ СТАТОРА КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

*P. M. Чуєнко, кандидат технічних наук
e-mail: roman_chuenko@ukr.net*

Анотація. *Розглянуто особливості виготовлення обмоток статора асинхронних двигунів із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, обмотка статора, обмоткові дані, напрям обертання*

Щорічно в агропромисловому комплексі України близько 20% парку асинхронних електродвигунів (АД) підлягають капітальному ремонту [6]. Під час його проведення є можливість здійснити модернізацію асинхронних електродвигунів із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності (ВСКРП) з метою поліпшення їх техніко-економічних показників [2].

Мета досліджень – розглянути особливості виготовлення обмоток статора асинхронних двигунів під час їх модернізації із застосуванням ВСКРП.

Матеріали та методика досліджень. Згідно з класифікацією, прийнятою у [1], обмотки статора базових машин серій 4А та АИ поділяються на такі основні види: 01 – одношарова концентрична; 02 – одношарова "врозвалку"; 03 – двошарова петльова рівносекційна.

Саме такі види обмоток рекомендуються для модернізації з використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.

Будь-яку з обмоток, рекомендованих для модернізації, можна розділити на дві рівні частини з виведенням на клемний щиток

© P. M. Чуєнко, 2016

початків та кінців напівобмоток фаз статора для подачі трифазного живлення та приєднання конденсаторів внутрішньої ємнісної компенсації. При цьому напівобмотки розташовуються під різнойменними полюсами або різними парами полюсів зі зміщенням своїх осей одна відносно іншої на обраний кут $\delta(\theta) = 30^\circ$.

Результати досліджень. Реалізація ВЄКРП в АД може бути здійснена двома способами залежно від прийнятої схеми та кількості паралельних віток обмотки статора базової машини. При цьому враховується, що, відповідно до парної кількості полюсів, обмотку статора завжди можна розділити на дві однакові, послідовно або паралельно з'єднані частини, причому такий розподіл може бути виконаний для машини будь-якої потужності та частоти обертання [5].

Перший спосіб ВЄКРП в АД полягає у тому, що при послідовному з'єднанні напівобмоток статора одна з них шунтується конденсатором електричної ємності. При цьому зашунтована напівобмотка обмінюється реактивною потужністю не з мережею живлення, а з конденсатором, унаслідок чого, струм незашунтованої напівобмотки зменшується [6]. Характерною рисою даного способу ВЄКРП в АД є зменшення струму та втрат потужності не лише у мережі живлення, але й у самому двигуні за рахунок зменшення струму в одній з напівобмоток статора.

При паралельному з'єднанні напівобмоток статора базового двигуна дві напівобмотки фази з'єднуються за схемою поворотного автотрансформатора на електричну ємність. При цьому одна з напівобмоток є основною і включається на фазну напругу джерела живлення, а додаткова напівобмотка (як вторинна обмотка поворотного автотрансформатора) може бути зміщена відносно основної на довільний кут [5].

Для всіх двигунів, модернізованих із використанням ВЄКРП при послідовному з'єднанні напівобмоток фаз статора, зберігаються переріз, діаметр і марка провoda; кількість провідників у пазу, кількість елементарних провідників у одному ефективному та кількість паралельних віток базової обмотки. Якщо ж до використання обрано паралельне з'єднання напівобмоток фаз статора, то кількість елементарних провідників у одному ефективному залишається незмінними, кількість провідників у пазу збільшується вдвічі, а площа поперечного перерізу провoda вдвічі зменшується. Виготовлення секцій обмоток здійснюється на типовому обладнанні за загальноприйнятими технологіями. Розміри секцій приймаються залежно від габаритів машини, схеми обмотки та величини її кроку.

Проте обов'язковою особливістю модернізованої обмотки є її розподіл на дві однакові напівобмотки, що в окремих випадках передбачає певні відхилення від схем базових обмоток. У такому разі одношарова обмотка може бути пошарово поділена на дві напівобмотки, одна з яких розташовується у нижній частині пазів, інша – у верхній (наприклад, при q = непарне число) з просторовим зміщенням напівобмоток одна відносно іншої на обраний кут.

Пазова ізоляція обмотки статора виконується у такій самій послідовності й тими самими ізоляційними матеріалами, що й при проведенні звичайного ремонту обмотки. Розподіл одношарової обмотки на два шари окремих напівобмоток потребує застосування міжшарової ізоляції як і у двошарових обмотках. При цьому спочатку укладається напівобмотка нижнього шару, потім – верхнього.

Після укладання секцій (катушок) паяють схему обмотки. Виконання схеми обмотки передбачає з'єднання окремих катушок у напівобмотці, з'єднання паралельних віток у напівобмотці, послідовне з'єднання між собою напівобмоток у фазу тощо.

У загальному випадку на клемний щиток мають бути виведені початки основних (C1, C2, C3) та додаткових (C1', C2', C3') напівобмоток фаз статора, а також їх відповідні кінці (C4, C5, C6) та (C4', C5', C6'). При цьому обидві напівобмотки фаз статора перетинаються єдиним обортовим магнітним потоком. За незмінного положення в пазах осердя статора основної обмотки зміна положення додаткової обмотки призводить до того, що вона перетинається тим самим полем, що й основна, але раніше чи пізніше її на час проходження магнітним полем просторового кута між ними.

Для схем із послідовним з'єднанням напівобмоток необхідно змістити додаткові напівобмотки фаз статора відносно основних за напрямом обертання магнітного поля статора (рис. 1), а у схемах із паралельним з'єднанням напівобмоток – проти (рис. 2).

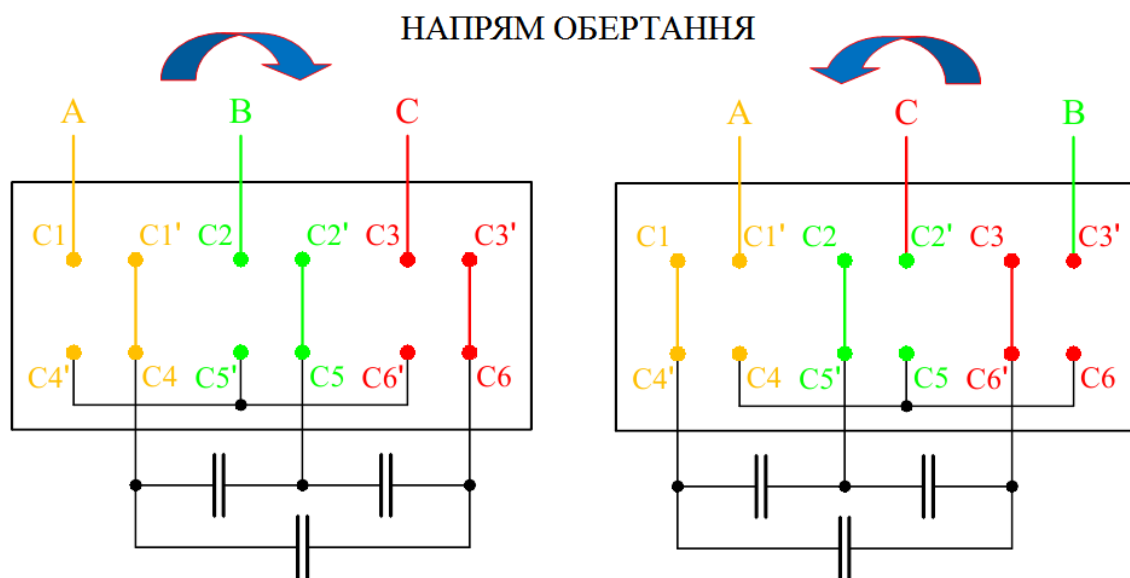


Рис. 1. Клемний щиток КАД за послідовного з'єднання напівобмоток фаз статора

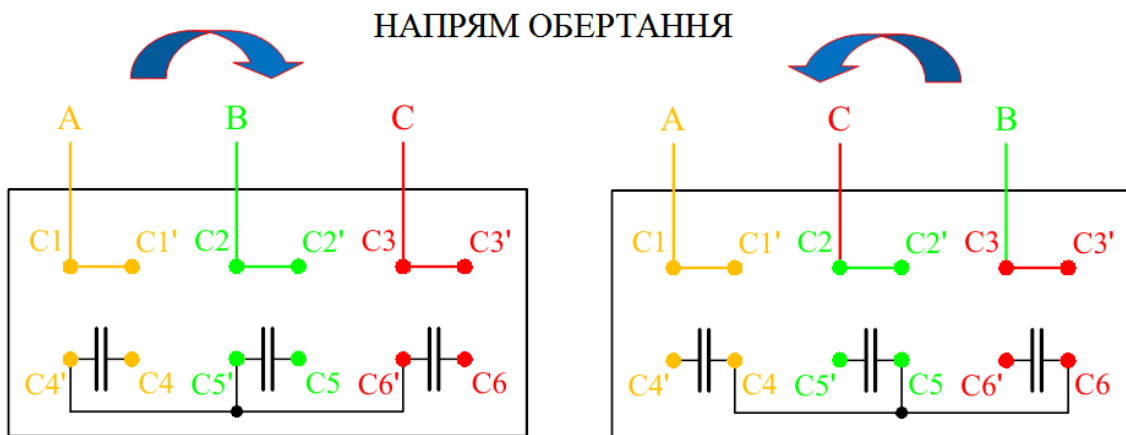


Рис. 2. Клемний щиток КАД за паралельного з'єднання напівобмоток фаз статора

Виводи початків та кінців напівобмоток фаз статора та під'єднання конденсаторів здійснюється проводом, розрахованим на величину реактивного струму двигуна $I_p = I_n \sin \varphi_n$, що при $\cos \varphi_n = 0,7 \div 0,9$ відповідає $\sin \varphi_n = 0,7 \div 0,45$. Тому переріз цього проводу повинен становити 0,7 від перерізу проводу обмотки статора, стосовно діаметру проводу дані співвідношення відповідають величинам 0,85 – 0,7.

Висновки

Модернізації з використанням ВЄКРП підлягають двигуни серій 4А, АІ та інші, у яких обмотка статора може бути розділена на дві однакові частини (основну та додаткову) із виводом на клемний щиток початків та кінців напівобмоток фаз статора. При цьому зберігаються основні обмоткові дані базового двигуна (марка, діаметр проводу, кількість витків у котушці та кількість ефективних провідників у пазу).

Залежно від застосовуваного способу ВЄКРП, слід правильно з'єднувати початки та кінці напівобмоток фаз статора залежно від напрямку обертання магнітного поля статора як для двигунів із послідовним, так і з паралельним з'єднанням напівобмоток.

Список літератури

1. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / [А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Мишин В. И. Внутренняя емкостная компенсация реактивной мощности в асинхронном двигателе / В. И. Мишин, Р. Н. Чуенко // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. : ХПІ. – 2009. – № 7. – С. 106–113.
3. Технические требования на капитальный ремонт. Электродвигатели асинхронные серии 4А сельскохозяйственного назначения. – М. : ГОСНИТИ, 1983. – 64 с.
4. Технические требования на капитальный ремонт. Электродвигатели асинхронные серии АИР сельскохозяйственного назначения. – М. : ГОСНИТИ, 1990. – 80 с.
5. Компенсовані асинхронні двигуни : монографія / В. І. Мішин, Р. М. Чуенко. – Ніжин : Лисенко М. М., 2013. – 225 с.

6. Чуєнко Р. М. Енергозбереження у підготовці кормів до згодовування при використанні асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.16 / Р. М. Чуєнко. – К. : НАУ, 2002. – 20 с.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА КОМПЕНСИРОВАННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Р. Н. Чуєнко

Аннотация. *Рассмотрены особенности изготовления обмоток статора асинхронных двигателей с использованием внутренней емкостной компенсации реактивной мощности.*

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, обмотка статора, обмоточные данные, направление вращения*

FEATURES OF COMPENSATED INDUCTION MOTOR'S STATOR WINDING PRODUCTION

R. Chuenko

Annotation. *Features of production of induction motor's stator winding with internal capacitance reactive power compensation are considered.*

Key words: *induction motor, stator winding, winding's data, rotation direction*

СВІТЛОВИЙ СПЕКТР ПРИ ВИРОЩУВАННІ СПІРУЛІНИ

*І. М. Голодний, кандидат технічних наук**e-mail: golodnyi@ukr.net*

Анотація. Розглянуто енергетичну ефективність вибору світлового спектрального потоку при вирощуванні водорості спіруліни.

Ключові слова: водорості, вітаміни, спектр, світло, фотосинтез, енергетичний коефіцієнт корисної дії, довжина хвилі, фотосинтезно активна радіація

Фотосинтез і ріст мікрроводоростей залежать від таких основних факторів: освітлення, газове й мінеральне живлення, величина рН середовища та температура. Фотосинтезуючі мікроорганізми при культивуванні мають ряд важливих особливостей. Головна з них пов'язана зі специфікою поглинання клітинами фотосинтезноактивної радіації (ФАР), яка характеризується неоднорідністю як за інтенсивністю, так і за спектральним складом променевого потоку, що впливає на клітини суспензії, а також періодичними коливаннями цих параметрів у випадку перемішування освітлюваного шару суспензії.

Показник енергетичної ефективності процесу культивування мікрроводоростей визначають як енергетичний коефіцієнт корисної дії (ККД) фотобіосинтезу клітин, який є результатом відношення потенційної енергії ($Q_{орг.}$), накопиченої в органічних речовинах внаслідок росту клітин, і сумарної променевої енергії ($Q_{вик.}^{ФАР}$), використаної в процесах, які відбуваються після поглинання фотонів водоростями [1]. Згідно з цим визначенням, інтегральний ККД процесу фотобіосинтезу ($\eta_{фб}$) визначаємо відповідно до формули:

$$\eta_{фб} = Q_{орг.} / Q_{вик.}^{ФАР}.$$

Умовно $\eta_{фб}$ можна розділити на ефективність, власне, фотосинтезу, тобто реакцій, які призводять в кінцевому результаті до накопичення енергії фотонів, та ефективність процесу біологічного окислення цих продуктів, тобто процесу дихання. Це можна записати у вигляді:

$$\eta_{фб} = Q_{фот.} / Q_{вик.}^{ФАР} - Q_{т.д.} / Q_{вик.}^{ФАР} = \eta_{фот.} - \eta_{т.д.},$$

де: $\eta_{фб}$ – енергетичний ККД фотосинтезу;

$Q_{фот.}$ – енергія накопичена первинними фотосинтетичними продуктами;

$\eta_{т.д.}$ – ККД процесу дихання;

$Q_{т.д.}$ – затрачена енергія при диханні в темноті.

Із літературних джерел відома методика теоретичної оцінки максимальних значень ККД фотосинтезу рослин, $\eta_{\text{фот.}}^{\text{max}}$. Згідно з дослідженнями, для відновлення однієї молекули вуглекислого газу до вуглецю необхідне поглинання двома фотосистемами рослин як мінімум 8 квантів ФАР (8Е радіації на 1 моль CO_2). Енергія 1Е ФАР радіації варіює від 75 (для опромінення з довжиною хвилі $\lambda = 380$ нм) до 40 ккал/моль (для $\lambda = 720$ нм). Для сонячного світла вона в середньому дорівнює 50 ккал/моль. Звідси, при 8-ми квантових витратах потрібно 400 ккал/моль енергії для відновлення вуглекислоти. Для глюкози – найбільш стійкого фотосинтетичного продукту – теплота спалювання в розрахунку на 1 моль відновлюваного CO_2 , рівна 112,5 ккал. Звідси, теоретичний ККД фотосинтезу

$$\eta_{\text{фот.}}^{\text{max}} = 112,5/400 = 0,28.$$

Цей розрахунок потрібно розглядати як наближений. Насправді, вуглеводи типу моносахаридів є основними, але не єдиними. Крім того, можуть утворюватися азотисті сполуки, які також акумулюють додаткову частину енергії. У більшості відомих дослідів з вищими і нижчими рослинами в керованих умовах $\eta_{\text{фб}}$, як правило, не перевищує 24...26 %. Сільськогосподарські рослини в середньому засвоюють 0,5...1,5 % енергії природного потоку ФАР, що падає на них [1].

Мета досліджень – підвищення ефективності вирощування водорості спіруліни.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження спектра поглинання водоростевою суспензією проводили за допомогою колориметра КФК-2 та

комп'ютерного статистичного опрацювання експериментальних даних.

Результати досліджень. Завдання оптимізації світлотехнічних параметрів опромінюваних установок для зниження енерговитрат виробництва є актуальним для всіх світлолюбних культур. Наприклад, задля відпрацювання обґрунтованих вимог до спектра опромінення в межах ФАР для ценозу огірків і томатів у тепличних умовах проведені фотобіологічні експерименти з використанням серії селективних металогалогенних ламп. При цьому межа ФАР розділялася на три спектральні діапазони: 400...500 нм (синій), 500...600 нм (зелений) і 600...700 нм (червоний). Результати досліджень свідчать [2], що найкращий вихід продукції для промислової технології забезпечує спектральне співвідношення:

- при вирощуванні огірків

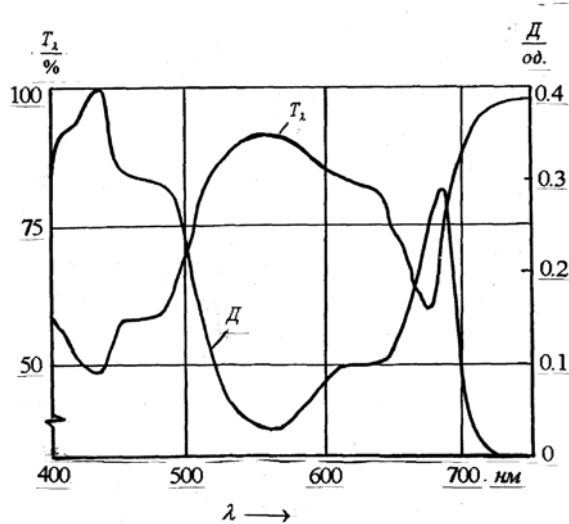
$$E_{\text{с.}}:E_{\text{з.}}:E_{\text{ч.}} = (15...20)\% : (35...45)\% : (40...45)\%;$$

- при вирощуванні томатів

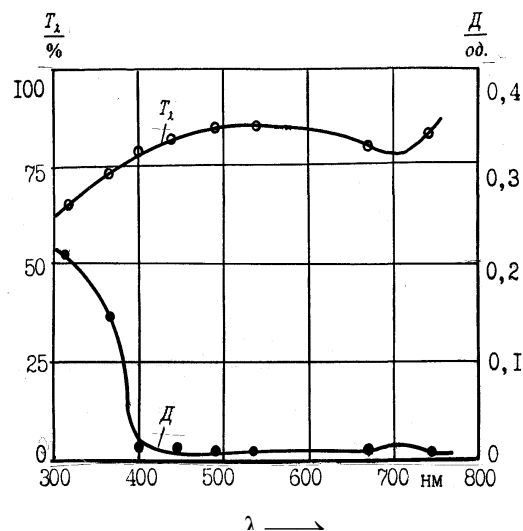
$$E_{\text{с.}}:E_{\text{з.}}:E_{\text{ч.}} = (10...20)\% : (15...20)\% : (60...75)\%.$$

Під час розгляду світлових режимів, які складаються в суспензії мікроводоростей при їх опроміненні різними спектральними потоками, встановлено, що чітких меж фотосинтезноактивної радіації не визначено. Більшість вчених вважають межею ФАР спектральний діапазон 380...710 нм. Поглинальна властивість мікроводоростей визначається складом і концентрацією пігментів у клітинах. Спектри поглинання суспензією мікроводоростей мають чітко виражені полоси поглинання в синій і червоній межах. Тому послаблення світла, яке проникає в глибину суспензії, відбувається нерівномірно. Спектри поглинання та пропускання, на прикладі суспензії хлорели, подано на рис. а.

В умовах безперервного культивування водорості спіруліни за температури суспензії 32...36 °С; величині рН культурального середовища 8...10 одиниць максимальної швидкості росту клітин було досягнуто при освітленні $E_0 = 100...200 \text{ Вт/м}^2$ ФАР. При подальшому збільшенні E_0 швидкість росту зменшувалася [1]. Таким чином, світлова залежність швидкості росту для спіруліни має широку межу оптимальних значень E_0 , що дуже важливо для розробки нових фотореакторів мікроводоростей при розрахунках рівня освітлення суспензії.



а



б

Оптичні характеристики хлорели (а) [1] та спіруліни (б)

Дослідження оптичних характеристик суспензії спіруліни проводили за допомогою колориметра КФК-2. Колориметр фотоелектричний концентраційний призначений для вимірювання на окремих дільницях діапазону хвиль 315...580 нм, які виділені світлофільтрами, коефіцієнтів пропускання та поглинання (оптичної густини) рідких розчинів і твердих тіл, а також визначення концентрацій речовини в розчинах методом побудови градуированих графіків.

Границі виміру на КФК-2 (з похибкою $\pm 1\%$) коефіцієнтів пропускання від 100 до 1%, оптичної густини – від 0 до 2. Додаткова похибка приладу від відхилення напруги мережі на $\pm 22 \text{ В}$ від номінального значення 220 В становить не більше, ніж 0,3%.

Джерело випромінювання – лампа галогенна малогабаритна КГМН 6,3-15. Приймач випромінювання фотоелемент Ф-26 для роботи в спектральному діапазоні від 315 до 540 нм, фотодіод ФД-24 К від 590 до 980 нм. Реєструючий прилад – мікроамперметр типу М 1792 із шкалою, яка цифрована в коефіцієнтах пропускання T_λ і оптичної густини D .

Принцип виміру коефіцієнта полягає в тому, що на фотоприймач спрямовуються по чергові світлові потоки – повний $F_{\Sigma\lambda}$ та потік F_λ , що пройшов через досліджуване середовище і визначається співвідношенням цих потоків. Відношенням потоків є коефіцієнт пропускання T_λ досліджуваного розчину:

$$T_\lambda = \frac{F_\lambda}{F_{\Sigma\lambda}} \cdot 100\%$$

На спектрофотометрі це співвідношення визначали так. Спочатку в світловий потік встановлювали кювету з контрольним розчином, яким є джерельна вода. Зміною чутливості приладу добивалися, щоб відрахування за шкалою пропускання спектрофотометра було рівне 100. Таким чином, повний світловий потік $F_{\Sigma\lambda}$ умовно береться за 100 %. Потім у світловий потік встановлювали кювету з суспензією спіруліни. Отримане відрахування за шкалою коефіцієнтів пропускання приладу буде, відповідно, F_λ . Тобто, коефіцієнт пропускання суспензії спіруліни у відсотках буде дорівнювати другому відрахуванню за шкалою коефіцієнтів пропускання

$$T_\lambda = \frac{F_\lambda}{F_{\Sigma\lambda}} \cdot 100\% = \frac{F_\lambda}{100} \cdot 100\% = F_\lambda, \%$$

Оптичну густину D визначали за формулою:

$$D = -\lg \frac{F_\lambda}{F_{\Sigma\lambda}} = \lg \frac{T_\lambda}{100} = 2 - \lg T_\lambda.$$

Результати досліджень наведені на рис. 1, б. Як видно з графіка, спектри поглинання суспензією спіруліни, аналогічно суспензії хлорели, мають виражені полоси поглинання в синіх і червоних межах.

Висновки

При освітленні білим світлом спіруліни, а також інших мікродоростей, які знаходяться на глибині, клітини фотосинтезують практично при зеленому світлі, а на поверхні – синьому й червоному, що важливо знати при виборі ламп із певними спектральними характеристиками для опромінення суспензії.

Список літератури

1. Белянин В. Н. Энергетика фотосинтезирующей культуры микроводорослей / В. Н. Белянин, Ф. Я. Сидько, А. П. Тренкеншу. – Новосибирск : Наука, 1980. – 136 с.

2. Прикупец Л. Б. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры / Л. Б. Прикупец, А. А. Тихомиров // Светотехника, 1992. – С. 5–7.

СВЕТОВОЙ СПЕКТР ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СПИРУЛИНЫ

И. М. Голодный

Аннотация. *Рассмотрена энергетическая эффективность выбора светового спектрального потока при выращивании водоросли спирулины.*

Ключевые слова: *водоросли, витамины, спектр, свет, фотосинтез, энергетический коэффициент полезного действия, длина волны, фотосинтезноактивная радиация*

COLOR SPECTRUM AT CULTIVATION SPIRULINA

I. Golodnyi

Annotation. *We consider the energy efficiency of the choice of the color spectral flux for growing spirulina algae.*

Key words: *algae, vitamins, spectrum, light, photosynthesis, energy efficiency, wavelength, photosynthesis active radiation*

ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКУ ХОЛОДАГЕНТІВ – ФРЕОНІВ

***В. В. Бойко, Г. І. Булах, Я. О. Гуменюк,
кандидати фізико-математичних наук,
М. В. Малюта, асистент
е – mail: boyko_v@i.ua***

Анотація. Розглянуто використання й шляхи здешевлення напівпровідникових газових сенсорів (детекторів) для виявлення витoku холодагентів – фреонів, які є основою різноманітної холодильної та кліматичної техніки.

Ключові слова: *напівпровідникові газочутливі сенсори (детектори), виявлення витoku газів, холодагенти, фреон*

Відомі розробки технічних засобів контролю газового середовища, в яких використовуються сучасні газові сенсори. Так, упродовж останніх років ми розробили декілька газових детекторів для виявлення різних летких сполук, що виникають у процесі гниття під час зберігання сільськогосподарської продукції у сховищах [1, 2]. Це леткі сполуки зі складу алканів (парафіни), алкенів (олефіни), альдегідів, сульфідів, кетонів, спиртів тощо. Деякі з них, такі як етанол, метанол, ацетон та бутан, можуть бути маркерами процесів гниття вже на початковій стадії [3–5]. Подібна проблема виникла в процесі розвитку холодильної та кліматичної техніки, що з кожним роком набуває дедалі ширшого застосування в сільському господарстві, промисловості та побуті. Зростаюча кількість таких технічних засобів потребує використання різноманітних інструментів, приладів і специфічних матеріалів для їх монтажу, обслуговування та ремонту.

Розробляються та застосовуються все нові, більш екологічні речовини, що відіграють роль холодагентів, однак витoki цих речовин в приміщеннях та в атмосферу залишаються вкрай небажаними як з екологічної, так і з економічної точки зору. З огляду на те, що сучасні холодагенти – фреони не мають запаху, виявлення витoku та його локалізація можлива за допомогою спеціальних приладів – детекторів (індикаторів) витoku фреонів. І хоча локалізація джерел витoku, що виникли за рахунок нещільного з'єднання, дефектів конструктивних елементів, механічних пошкоджень чи деформацій, можлива достатньо простим застосуванням розчинів чи піни, найбільш ефективним та швидким виявляється використання саме електронних приладів – детекторів. У світі виготовляють немало типів таких приладів різного принципу дії та конструкції, але через відносно велику вартість (сотні доларів США) їх застосовують переважно професійні спеціалізовані монтажні та сервісні

організації і вони майже недоступні для селянських, фермерських господарств, а тим більше в побуті.

Мета досліджень – аналіз перспектив застосування та шляхів здешевлення напівпровідникових газових сенсорів для виявлення витоку холодагентів – фреонів, що відомі своїм практичним застосуванням.

Матеріали та методика досліджень. *Сенсори (детектори) виявлення витоку газів.* Сучасні детектори витоку фреонів будуються на різноманітних принципах дії, кожний з яких має свої переваги та недоліки. Визначальним елементом, що зумовлює конкретні властивості приладу є газочутливий сенсор, що реагує на присутність мікроскопічної кількості холодагенту (фреону). Найбільшого поширення набули:

- твердотільні напівпровідникові (підігрівні),
- електрохімічні,
- оптичні (інфрачервоні) сенсори.

Чутливим елементом *твердотільного напівпровідникового сенсора* є окис металу, наприклад, SnO_2 , ZnO , WO_3 , як полікристалічна плівка чи спечена кераміка, що розташовані безпосередньо в контакті з нагрівачем. Він забезпечує робочу температуру сенсора 300...450 °С, за якої досягається найбільша чутливість електропровідності окису металу до молекул багатьох газів у навколишньому повітрі. Такі сенсори мають високу чутливість, непогану стабільність, тривалий термін експлуатації до 10 років та відносно невелику вартість. До недоліків слід віднести споживання значної енергії для підігріву, вплив на чутливість температури та вологості навколишнього повітря, а також брак селективності, який не дозволяє розрізняти окремі гази та ігнорувати фонове забруднення повітря, хоча чутливість до різних газів може суттєво відрізнятися. Окрім того, вихід на робочу температуру потребує певного часу, тому готовності до роботи сенсорів такого типу доводиться чекати 60–90 сек після включення приладу.

Електрохімічні газові сенсори використовують чутливість електричного потенціалу між електродами, що занурені в електроліт певного складу, до газового складу навколишнього середовища. Їх будова схожа на конструкцію електрохімічної батареї зі спеціальним отвором з газопроникливою мембраною для контакту з повітрям. Вони можуть бути виготовлені з високою чутливістю до певних газів, зокрема фреонів. Вони зовсім не споживають енергії, але термін служби мають у середньому не більше, ніж два роки, упродовж яких чутливість знижується і вони потребують заміни на нові. При цьому електрохімічні сенсори недешеві і не придатні до тривалого зберігання, оскільки з часом втрачають чутливість навіть не будучи в роботі.

Оптичні газові сенсори будуються на явищі вибіркового поглинання оптичного випромінювання інфрачервоного діапазону молекулами в газовій фазі. При цьому молекули різних газів мають свій спектр (лінії) поглинання, тому вибір певної довжини хвилі джерела випромінювання, що співпадає з характерною лінією поглинання певного газу, забезпечує виняткову селективність цього методу. Наприклад, фреон R134 має характерну лінію поглинання 7,7 мкм, а R22 лінію 9 мкм. Хоча така селективність забезпечує

нечутливість інфрачервоних сенсорів до присутності сторонніх газів, вологості та забруднення в навколишньому повітрі, вона суттєво ускладнює побудову універсального детектора, чутливого до низки фреонів, що застосовуються на практиці. До переваг оптичного сенсора слід додати високу стабільність у роботі, а до недоліків – найвищу вартість.

Результати досліджень. Проведений нами аналіз всієї сукупності факторів, що враховуються при використанні газових детекторів, свідчить, що детектори фреонів з напівпровідниковими сенсорами мають значні переваги перед іншими. У першу чергу, за рахунок відносно невеликої вартості, достатньої для практичного використання чутливості та тривалого терміну служби при дотриманні правил експлуатації. Ми аналізували сенсори, де як чутливий елемент детектора фреонів використовуються достатньо дешеві напівпровідникові газові сенсори, що знаходяться в масовому виробництві, зокрема і в Україні.

Завдяки проведеному аналізу різноманітних технологій виготовлення, модифікації складу, вивчення фізико-хімічних процесів в них при різних умовах, було встановлено, що чутливі елементи саме на основі SnO_2 можуть набути найбільш широкого застосування в цій галузі.

Ми відзначили, що технологія виготовлення та склад чутливого елемента напівпровідникових газових сенсорів, їх конструкція та режими роботи постійно вдосконалюються. Перехід від об'ємної до плівкової конструкції (технології) чутливого елемента, його інтеграція з плівковим нагрівачем на одній підложці та мініатюризація дали змогу суттєво знизити потужності споживаної енергії з 900–800 мВт до 150–100 мВт. Сучасний розвиток *MEMS* технологій дозволяє знизити в перспективі цей показник до 50–25 мВт.

Проведені нами попередні дослідження свідчать, що поряд зі зниженням до 3 В напруги живлення сенсора та обслуговуючої електроніки, це забезпечує оптимальні умови для батарейного живлення детектора, його мініатюризації, а отже, зручність його використання та економічність. Для подолання залежності чутливості напівпровідникового сенсора від температури зовнішнього повітря пропонується використовувати температурну компенсацію за допомогою термістора. Останні наші дослідження знаходяться на стадії доопрацювання окремих електротехнічних схем.

Крім того, вплив температури та вологості може бути важливим при визначенні абсолютного значення концентрації певного газу, тобто використанні приладу як вимірювача. На практиці детектор фреонів здебільшого використовується як індикатор для виявлення витoku та відносної оцінки його рівня, хоча періодична калібровка його чутливості на певну концентрацію еталонного газу є бажаною. Такий недолік напівпровідникових сенсорів, як потреба певного часу на вихід його температури на робочий режим, частково долається нами суттєвим зменшенням маси чутливого елемента, що підігрівається, а також застосуванням схемотехнічних рішень у конструкції детекторів. Наприклад, у момент включення приладу, на нагрівач подається на декілька секунд

підвищена напруга, що призводить до прискорення розігріву. В такий спосіб час готовності до роботи вдається скоротити до 25–30 сек.

Висновки

1. Детектори фреонів із напівпровідниковими сенсорами мають переваги перед іншими.
2. Сенсори на основі SnO_2 можуть набути найбільш широкого застосування в цій галузі.

Список літератури

1. Перспективи застосування сучасних газових сенсорів в технології зберігання сільськогосподарської продукції / В. В. Бойко, Г. І. Булах., Г. І. Подпрятков, С. М. Гунько // Науковий вісник НАУ. – 2007. – Вип. 105. – С. 237–341.
2. Газовий детектор для виявлення процесів гниття в овочесховищах / В. В. Бойко, Г. І. Булах, Г. І. Подпрятков, С. М. Гунько // Науковий вісник НАУ. – 2013. – Вип. 184, ч.1. – С. 144–149.
3. Varns J. L., Glynn V. Detection of disease in stored potatoes by volatile monitoring. American Potato Journal. 56, 1979, 185–197.
4. Waterer D.R., Pritchard M.K. Monitoring of volatiles: A technique for detection of soft rot (*Erwinia carotovora*) in potato tubers. Canadian Journal of Plant Pathology. 6, 1984, 165–171.
5. Fine G.F., Cavandagh L.M., Afonja A., Binions R. Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring. Sensors. 10, 2010, 5469–5502.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УТЕЧКИ ХЛАДОАГЕНТОВ – ФРЕОНОВ

В. В. Бойко, Г. И. Булах, Я. А. Гуменюк, Н. В. Малюта
e-mail: boyko_v@i.ua

Аннотация. Рассмотрено использование и пути удешевления полупроводниковых газовых сенсоров (детекторов) для выявления утечки хладоагентов – фреонов, которые являются основой разнообразной холодильной и климатической техники.

Ключевые слова: ***полупроводниковые газовые сенсоры (детекторы), выявление утечки газов, хладоагенты, фреон***

SEMICONDUCTOR GAS SENSORS FOR THE DETECTION OF LEAKS OF REFRIGERANTS – FREON

V. Boyko, G. Bulach, Y. Gumeniuk, M. Malyuta

Annotation. The use in refrigeration and climatic technique and ways of reduction of prices of semiconductor gas sensors (detectors) for leaks of refrigerants – freon are considered.

Key words: ***semiconductor gas sensors (detectors), leak of gases, refrigerants – freon***

**РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР СТРУМАМИ
ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ**

**А. О. Квіцинський, О. В. Шеліманова,
кандидати технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com**

Анотація. Наведено результати розрахунку змін у часі основних показників процесу термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю.

Ключові слова: залізобетонна опора, термічне ураження, струм однофазного замикання на землю

При однофазному замиканні на землю (ОЗЗ) залізобетонні опори можуть нагріватися до високих температур (200°C і вище), що спричинює термічне руйнування матеріалу опори [1]. Тому задача розрахунку змін у часі основних показників процесу термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю є актуальною.

Мета досліджень – розробка методики розрахунку термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю.

Матеріали та методика досліджень. Вважаючи, що процес термічного ураження може протікати відносно швидко, теплообміном між землею і повітрям та дифузією вологи у землі будемо нехтувати [2].

Заглиблену в землю частину залізобетонної опори замінимо моделлю – еквівалентною півкулею. Це забезпечить однакову у першому наближенні щільність електричного струму на поверхні залізобетонної опори і моделі та дасть змогу розглядати процес термічного ураження заглибленої частини опори як одномірний нестационарний електротепловий процес, зумовлений нерівномірно розподіленими і змінними у часі джерелами теплоти.

Характеристики заглибленої в землю частини залізобетонної опори (температуру та електропровідність) будемо вважати незмінними.

Розглянемо процес нагрівання землі в межах однієї з однакових N трубок струму, сила струму в якій у будь-який час t_n дорівнює

$$I_n = \frac{I_{3n}}{N}, \quad (1)$$

де I_{3n} – сила струму, що стікає із заглибленої в землю частини опори у разі ОЗЗ у час t_n .

Відповідно до наведених вище припущень, тепло, що виділяється як наслідок протікання електричного струму в землі з питомим електричним опором $\rho_{m,n} = f(T_{m,n})$, де $T_{m,n}$ – температура землі у точці на відстані r_m від центру моделі заземлювача у час t_n , поширюється тільки в радіальному напрямку. Це забезпечує однорідність задачі.

Розглянемо в межах однієї трубки струму в землі об'єм, обмежений радіусами r_m і $r_{m+1} = r_m + \Delta r$, де Δr – мала, порівняно з лінійними розмірами моделі, величина ($r_0 \gg \Delta r$), об'єм елемента трубки струму

$$\Delta v_m = \Delta r \cdot \frac{\Delta S_m + \Delta S_{m+1}}{2}, \quad (2)$$

де ΔS_m і ΔS_{m+1} – площі основ елемента.

Оскільки $r_0 \gg 0$ а Δr – мала величина, будемо вважати, що $\Delta S_m \approx \Delta S_{m+1}$, відповідно,

$$\Delta v_m = \Delta r \cdot \Delta S_m.$$

За таких умов, рівняння, які описують нагрівання m -го елемента об'єму у n -й момент часу, набудуть вигляду:

$$P1_{m,n} = \left(\frac{I_{3n}}{N} \right)^2 \cdot \rho_{m,n} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta S_m}, \quad (3)$$

$$P2_{m,n} = (T_{m-1,n} - T_{m,n}) \cdot \Delta S_m \cdot \lambda, \quad (4)$$

$$P3_{m,n} = (T_{m,n} - T_{m+1,n}) \cdot \Delta S_m \cdot \lambda, \quad (5)$$

$$T_{m,n+1} = T_{m,n} + (P1_{m,n} + P2_{m,n} - P3_{m,n}) \cdot \frac{\Delta t}{C_m}, \quad (6)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності землі, Вт/м²·К;

C_m – теплоємність елемента об'єму, Дж/К.

Сила струму ОЗЗ I_{3n} у будь-який момент часу t_n лінійно пов'язана з повнотою замикання на землю δ_n

$$I_{3n} = I_C \cdot \delta_n, \quad (7)$$

де I_C – сила емнісного струму мережі (сила струму замикання на землю у разі $\delta_n = 1$).

Повноту замикання на землю обчислимо за формулою

$$\delta_n = \left[1 + \left(\frac{R_{3n}}{\frac{U \cdot 10^3}{I_C}} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

де R_{3n} – опір замикання на землю у час t_n , Ом,

U – фазна напруга мережі, кВ.

Величину опору напівсферичного заземлювача у час $t_n = 0$ обчислимо на підставі відомого співвідношення

$$R_{30} = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot r_0}, \quad (9)$$

де ρ_0 – питомий опір землі у час $t_n = 0$, Ом·м,

r_0 – радіус напівсферичного заземлювача, м.

З урахуванням одномірності задачі й розподілу температури в M шарах, рівняння (9) для довільного часу t_n можна записати у вигляді

$$R_{3n} = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot (M \cdot \Delta r + r_0)} + \sum_{m=1}^M \rho_{m,n} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{r_m} - \frac{1}{r_m + \Delta r} \right), \quad (10)$$

де $\rho_{m,n}$ – питомий електричний опір m -го елемента у час n ;

Δr – відстань між шарами землі з умовно однаковою температурою.

Зауважимо, що, відповідно до наведених вище припущень, температура землі, у разі $r_m > r_0 + M \cdot \Delta r$, лишається незмінною і дорівнює T_0 , відповідно, не змінюється $\rho_{m,n}$, якщо $r_m > r_0 + M \cdot \Delta r$.

Питомий опір елемента землі $\rho_{m,n}$ як функцію його температури $T_{m,n}$ визначимо як комбінацією експоненціальної та логістичної функцій

$$\rho_{m,n} = a \cdot e^{b \cdot T_{m,n}} + c + \frac{R_{max}}{1 + d \cdot e^{k \cdot (T_{m,n} - T_\Gamma)}}, \quad (11)$$

де a, b, c, d, k – коефіцієнти апроксимації дослідних температурних характеристик землі,

T_Γ – граничне значення температури, яке відповідає температурі випаровування води й висихання землі.

Напругу на залізобетонній опорі, у разі ОЗЗ, визначимо за формулою

$$U_{3n} = I_n \cdot R_{3n}. \quad (12)$$

Результати досліджень. На рис. 1–6 наведено результати розрахунків температури у шарах землі, що примикають до опори, при $\Delta r = 0,01$ м, $\Delta t = 600$ с, $\rho_0 = 10^{75}$ Ом·м і $T_0 = 0$ °С

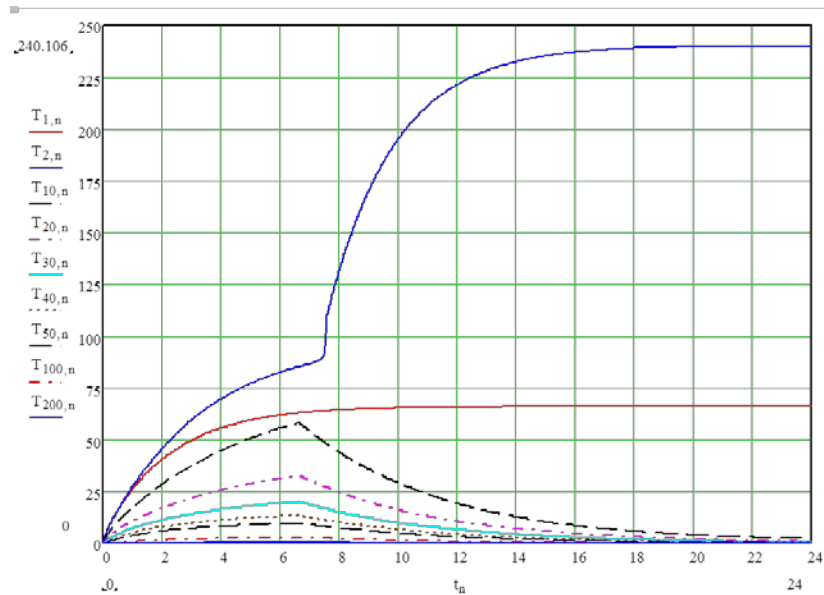


Рис. 1. Зміна температури у шарах землі, що примикають до опори під час ОЗЗ

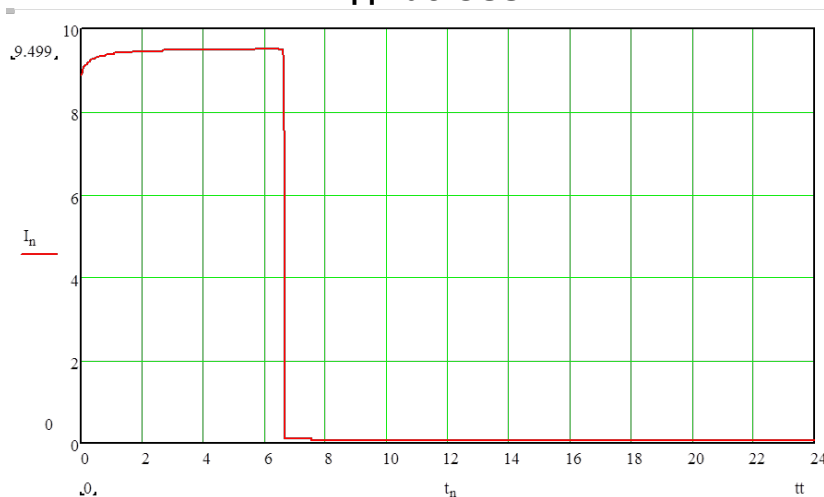


Рис. 2. Зміна сили струму через залізобетонну опору під час ОЗЗ

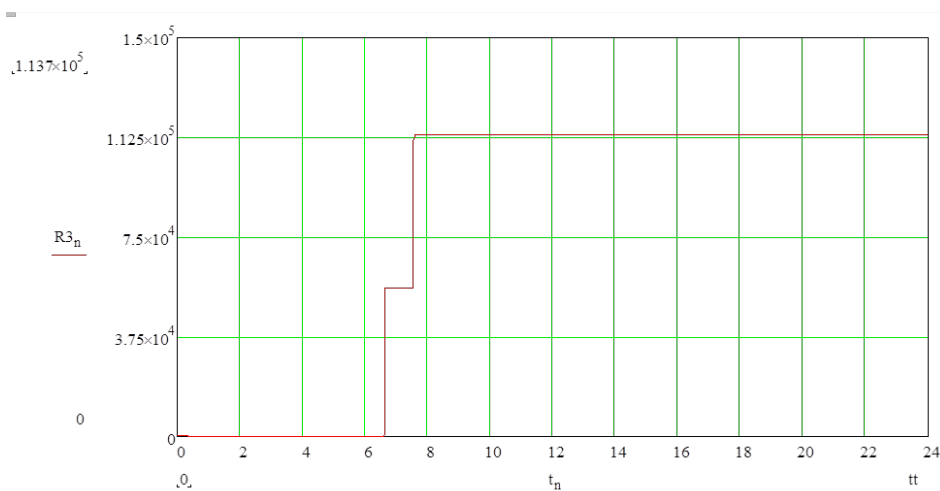


Рис. 3. Зміна опору стікання струму через залізобетонну опору під час ОЗЗ

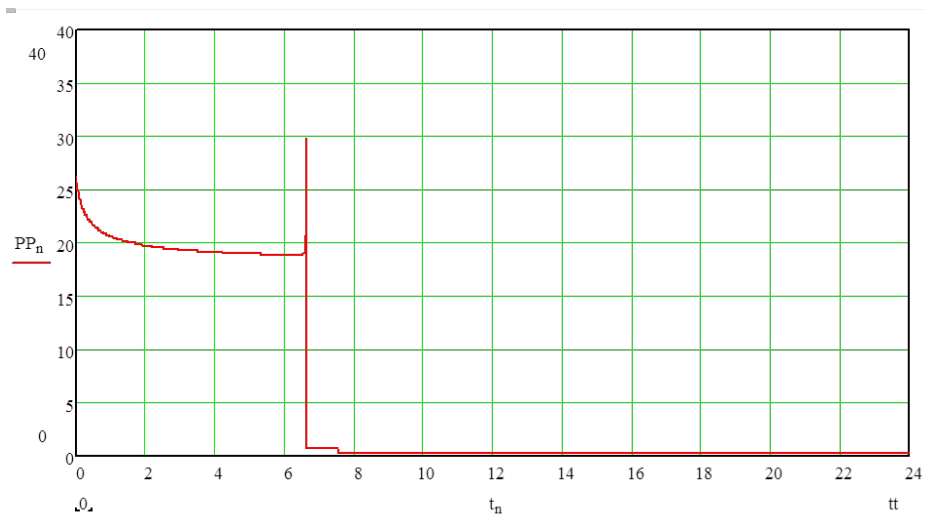


Рис. 4 . Зміна загальної потужності, яка виділяється в землі під час ОЗЗ (у кВт)

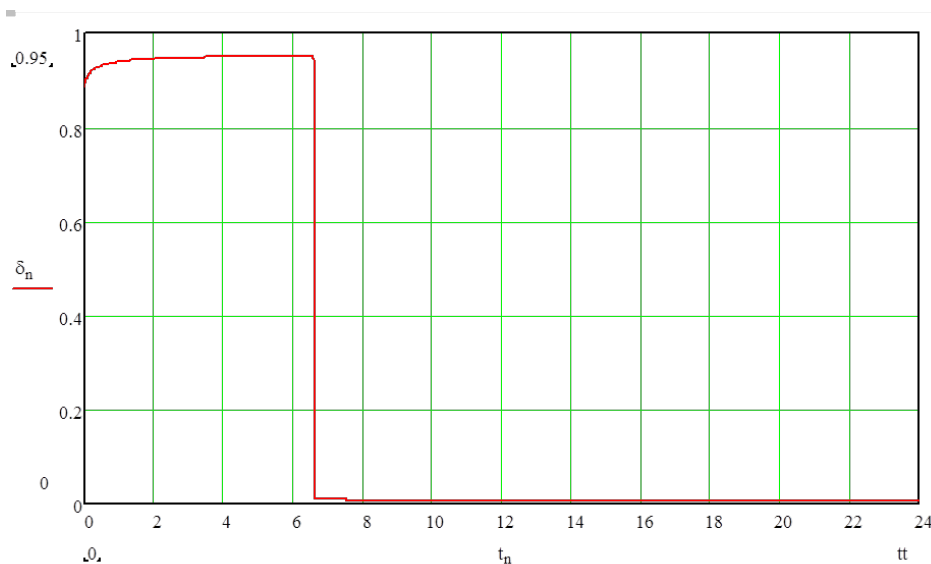


Рис. 5. Зміна повноти замикання на землю залізобетонної опори під час ОЗЗ

Як видно на рис. 1–6, величини, що характеризують процес ОЗЗ, поведуться складним чином у часі. На початковому етапі (проміжок часу близько 7 годин, рис. 1) спостерігається прогрівання шарів землі, що примикають до заглибленої частини залізобетонної опори.

Із підвищенням температури найбільш нагрітого шару до 100 °С, цей шар втрачає вологу і його опір суттєво підвищується (рис. 3). Це зумовлює стрибкоподібну зміну сили струму, що стікає з опори (рис. 2), напруги на опорі (рис. 6) і повноти замикання на землю (рис. 5). При цьому загальна потужність, що виділяється в землі під час ОЗЗ (рис. 4), досягає максимальної величини при $\delta_n = 0,707$.

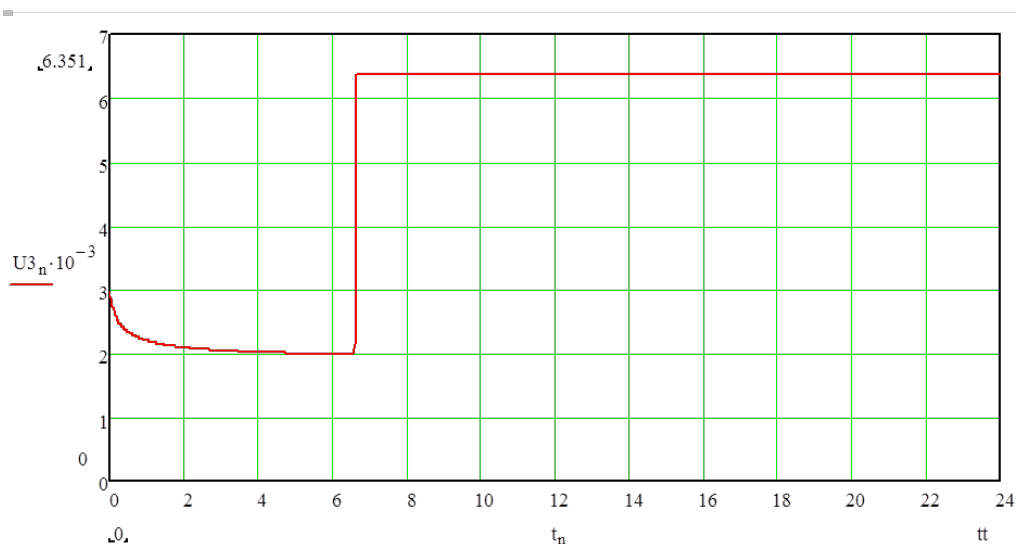


Рис. 6. Зміна напруги на залізобетонній опорі під час ОЗЗ

Висновки

Отже, зміна опору шару землі, який розташований біля залізобетонної опори, зумовлює перерозподіл потужності між шарами землі й різну температуру нагрівання шарів землі. Характер процесу при цьому суттєво залежить від теплофізичних характеристик землі (температурної характеристики – залежності питомого опору від температури, початкових значень температури та вологості, питомих теплоємності і теплопровідності, вологопровідності тощо) та величини струму замикання на землю I_C .

Список літератури

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Х. : Форт, 2006. – 272 с.
2. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление : справ. пособие / С. С. Кутателадзе. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ТОКАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

А. А. Квицинский, Е. В. Шелиманова

Аннотация. Приведены результаты расчета изменений во времени основных показателей процесса термического поражения железобетонных опор токами однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

Ключевые слова: железобетонная опора, термическое поражение, ток однофазного замыкания на землю

CALCULATION OF THERMAL SHOCK OF REINFORCED CONCRETE PILLARS BY CURRENTS SINGLE-PHASE GROUND FAULT

A. Kvitsynskyi, O. Shelimanova

Annotation. *The results of calculation of changes over time in key indicators of thermal shock of reinforced concrete pillars by currents single-phase ground fault in networks with isolated neutral are given.*

Key words: *reinforced concrete pillar, thermal shock, the current single-phase ground fault*

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- Й МАСОПЕРЕНОСУ ТА ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ У ПТАШНИКУ

*В. І. Троханяк, асистент
v1kt0r_t@ukr.net*

Анотація. *Проведено математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. Для охолодження припливного повітря запропоновані нові конструкції теплообмінних апаратів, в яких як охолоджувач використовується вода підземних свердловин. по вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках. У результаті чисельного моделювання з використанням програмного продукту ANSYS Fluent, отримані поля швидкостей, температур і тисків у пташнику. Дано рекомендації щодо вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках.*

Ключові слова: *математичне моделювання, процеси тепло- і масопереносу, поле швидкостей, температура, пташник, вентиляційне обладнання*

Фізіологічний стан птиці та продуктивність птахоферм залежить від мікроклімату, який підтримується в птахівничих приміщеннях. При невідповідності основних параметрів мікроклімату оптимальним зоогігієнічним параметрам приріст маси курей-бройлерів знижується на 20–30 %, несучість птиці зменшується на 30 %, а втрати молодняку досягають 30 %, що призводить до значних економічних перевитрати при виробництві продукції.

Тепловий і вологісний режим пташника формується під впливом системи опалення та вентиляції залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій.

© В. І. Троханяк, 2016

CALCULATION OF THERMAL SHOCK OF REINFORCED CONCRETE PILLARS BY CURRENTS SINGLE-PHASE GROUND FAULT

A. Kvitsynskyi, O. Shelimanova

Annotation. *The results of calculation of changes over time in key indicators of thermal shock of reinforced concrete pillars by currents single-phase ground fault in networks with isolated neutral are given.*

Key words: *reinforced concrete pillar, thermal shock, the current single-phase ground fault*

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- Й МАСОПЕРЕНОСУ ТА ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ У ПТАШНИКУ

*В. І. Троханяк, асистент
v1kt0r_t@ukr.net*

Анотація. *Проведено математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. Для охолодження припливного повітря запропоновані нові конструкції теплообмінних апаратів, в яких як охолоджувач використовується вода підземних свердловин. по вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках. У результаті чисельного моделювання з використанням програмного продукту ANSYS Fluent, отримані поля швидкостей, температур і тисків у пташнику. Дано рекомендації щодо вибору розташування обладнання системи вентиляції в пташниках.*

Ключові слова: *математичне моделювання, процеси тепло- і масопереносу, поле швидкостей, температура, пташник, вентиляційне обладнання*

Фізіологічний стан птиці та продуктивність птахоферм залежить від мікроклімату, який підтримується в птахівничих приміщеннях. При невідповідності основних параметрів мікроклімату оптимальним зоогігієнічним параметрам приріст маси курей-бройлерів знижується на 20–30 %, несучість птиці зменшується на 30 %, а втрати молодняку досягають 30 %, що призводить до значних економічних перевитрати при виробництві продукції.

Тепловий і вологісний режим пташника формується під впливом системи опалення та вентиляції залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій.

© В. І. Троханяк, 2016

Суть роботи полягає в проведенні теоретичних досліджень, пов'язаних із регулюванням теплообмінних процесів у пташниках, що відбуваються як усередині приміщення, так і через його зовнішнє огороження залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій. Отримані розрахункові дані дають можливість здійснити правильний вибір та оптимальне розташування обладнання системи вентиляції в пташниках.

Мета досліджень – проведення чисельного математичного моделювання переносів тепло- і масопереносу та розрахунку локальних гідродинамічних і теплових характеристик припливного повітря в птахівничих приміщеннях в літній період часу за допомогою пакету САПР *ANSYS Fluent* та розробки нового способу охолодження пташників за допомогою теплообмінника-рекуператора, який використовує як охолоджувач воду підземних свердловин.

Матеріали та методика досліджень. Тунельна вентиляція птахівничих приміщень здебільшого використовується в літній період року (за температури понад 26 °C), що дає можливість забезпечити видалення надлишкового тепла, яке виділяє птах. Слід відзначити, що за високих температур навколишнього середовища і високої вологості повітря необхідна спеціальна система пристроїв для його охолодження і створення оптимального мікроклімату в пташнику. У вентиляційних системах для зниження температури припливного повітря в літній період часу часто використовують охолоджувальні системи різного типу, переважно за допомогою розпилення води. Для охолодження припливного повітря в теплообмінниках-рекуператорах [1] застосована система підтримання мікроклімату у пташнику, яка базується на використанні як охолоджувача повітря води підземних свердловин [2–5]. Це дає можливість знижувати температуру зовнішнього повітря не підвищуючи його вологість, що характерно, наприклад, для систем охолодження з розпиленням води.

Комп'ютерне математичне моделювання процесів переносу в пташиному приміщенні. Проведено чисельне математичне моделювання гідродинамічних процесів і процесів перенесення теплоти в пташнику. Для цього використано метод комп'ютерного (CFD) моделювання на базі програмного комплексу *ANSYS Fluent*. В основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса [6] і рівняння переносу енергії для конвективних течій. У розрахунках застосована модель турбулентності *Spalarta-Allmarasa*. Розрахунки проведені з використанням охолоджуючого рекуперативного теплообмінного апарату.

Усі розрахунки виконані при масовій витраті повітря 170 кг/с. Температура зовнішнього повітря приймається рівною +40 °C. Стіни й підлога виконані з керамзит-бетону завтовшки, відповідно, 200 мм. Як теплоносії в теплообміннику-рекуператорі вибрано зовнішнє повітря з температурою на вході +40 °C, що, у свою чергу, дасть вихід +20 °C, воду, що надходить з підземних свердловин за температури +10 °C. У системі вентиляції використано витяжне вентиляційне обладнання з діаметром

колеса вентиляторів 1,2 м. У птахівничих приміщеннях з підлоговим утриманням знаходилася птиця, яка є джерелом тепловиділення.

Результати досліджень. На рис. 1–2 показано результати чисельного моделювання процесів тепло- і масообміну в приміщенні пташника. Було проведено моделювання з розташуванням вентиляторів на висоті 1,1, 1,5 та 1,85 м від підлоги до центра осі вентиляторів. Показано, що найбільш оптимальним є розміщення вентиляційного обладнання на висоті 1,85 м. Як видно з рис. 2–3, застійні зони утворюються у верхній та нижній точках над та під вентиляційним обладнанням. Середня швидкість повітря по висоті приміщення становить 1,95 м/с (див. рис. 2). За рахунок звуження у вентиляційних шахтах швидкість повітря досягає 8 м/с. Температура повітря на виході з приміщення становить $+27^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

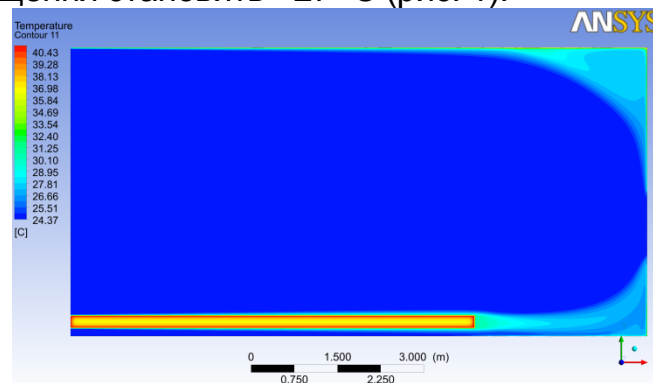


Рис. 1. Зміна температурних полів у поздовжньому перерізі будівлі по середній лінії на осі Ox

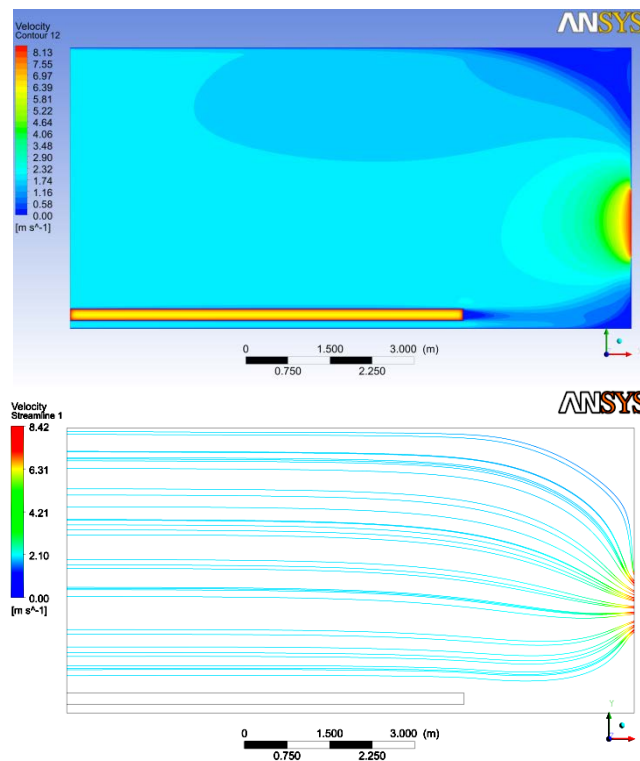


Рис. 2. Температурне поле швидкості та лінії току повітря в поздовжньому перерізі будівлі по середній лінії на осі Ox

Висновки

Аналіз поля швидкостей свідчить про наявність застійних зон у кутових областях пташника. Задля мінімізації розмірів застійних зон та поліпшення температурних показників у приміщенні пташника, проведені чисельні розрахунки тепло- і масопереносу при різній геометрії розташування витяжного вентиляційного обладнання. Показано, що теплообмінники-рекуператори доцільно встановлювати на висоті 1,85 м. При цьому середня швидкість повітря по висоті приміщення становить 1,95 м/с, а температура повітря на виході з приміщення пташника становить близько +27 °С.

Список літератури

1. 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 "Техніка та енергетика АПК". – 2015. – № 209, ч. 1. – С. 42–49.
2. Горобець В. Г. Комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масо переносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях [Електронний ресурс] / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк // Мелітополь: ТДАТУ. – 2015. – Режим доступу : <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf5t1/24.pdf>
3. Горобець В. Г. / Математичне моделювання процесів гідродинаміки і теплообміну в охолоджувачах повітря птахівничих приміщень / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк. – Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – № 184, ч. 2. – С. 101–110.
4. Горобець В. Г. Компьютерное математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при вентиляции воздуха в птицеводческих помещениях / В. Г. Горобець, В. И. Троханяк // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 4. (20). – С. 85–90.
5. Горобець В. Г. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря у птахівничих приміщеннях / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк, Ю. О. Богдан // Науковий вісник НУБіП України "Техніка та енергетика АПК". – 2015. – № 224. – С. 204–208.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1974.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА И ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПТИЧНИКЕ

В. И. Троханяк

Аннотация. Проведено математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при вентиляции воздуха в птицеводческих помещениях. Для охлаждения приточного воздуха предложены новые конструкции теплообменных аппаратов, в которых в качестве охладителя используется вода подземных скважин. В результате численного моделирования с использованием программного продукта ANSYS Fluent, получены поля скоростей,

температур и давлений в птичнике. Даны рекомендации по выбору расположения оборудования системы вентиляции в птичниках.

Ключевые слова: математическое моделирование, процессы тепло- и массопереноса, поле скоростей, температура, птичник, вентиляционное оборудование

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER AND OPTIMAL PLACEMENT OF VENTILATION IN POULTRY HOUSES EQUIPMENT

V. Trokhanyak

Annotation. Mathematical modeling of heat and mass transfer in the air ventilation in the poultry premises. For cooling supply air proposed new designs of heat exchangers, which is used as the coolant water underground wells. As a result of numerical simulations obtained velocity field, temperature and pressure in a poultry house using software ANSYS Fluent. The recommendations on the choice of location of the equipment ventilation systems in poultry houses.

Key words: mathematical modeling, heat and mass transfer processes, velocity field, temperature, aviary, ventilation equipment

УДК 536.248.2

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАСИ АКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ В АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Є. О. Антипов, асистент
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Розглянуто можливість підвищення ефективності використання маси акумулюючого матеріалу акумуляторів теплоти фазового переходу. Проаналізовано отримані значення температурних полів у тепловому акумуляторі вдосконаленої конструкції, знайдено ефективні параметри геометрії корпусу досліджуваного об'єкта.

Ключові слова: акумулятор теплоти, хвилеподібне дно, акумулюючий матеріал, коефіцієнт використання маси

Проведені автором експериментальні дослідження [1, 2] ефективності роботи теплоакумулюючого матеріалу (ТАМу) фазового переходу в умовах теплового акумулятора виявили певні недоліки в їх конструкції. Постає необхідність підвищення корисного використання маси акумулюючого матеріалу оскільки, фазовий перехід потребує

температур и давлений в птичнике. Даны рекомендации по выбору расположения оборудования системы вентиляции в птичниках.

Ключевые слова: математическое моделирование, процессы тепло- и массопереноса, поле скоростей, температура, птичник, вентиляционное оборудование

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER AND OPTIMAL PLACEMENT OF VENTILATION IN POULTRY HOUSES EQUIPMENT

V. Trokhanyak

Annotation. Mathematical modeling of heat and mass transfer in the air ventilation in the poultry premises. For cooling supply air proposed new designs of heat exchangers, which is used as the coolant water underground wells. As a result of numerical simulations obtained velocity field, temperature and pressure in a poultry house using software ANSYS Fluent. The recommendations on the choice of location of the equipment ventilation systems in poultry houses.

Key words: mathematical modeling, heat and mass transfer processes, velocity field, temperature, aviary, ventilation equipment

УДК 536.248.2

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАСИ АКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ В АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Є. О. Антипов, асистент
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Розглянуто можливість підвищення ефективності використання маси акумулюючого матеріалу акумуляторів теплоти фазового переходу. Проаналізовано отримані значення температурних полів у тепловому акумуляторі вдосконаленої конструкції, знайдено ефективні параметри геометрії корпусу досліджуваного об'єкта.

Ключові слова: акумулятор теплоти, хвилеподібне дно, акумулюючий матеріал, коефіцієнт використання маси

Проведені автором експериментальні дослідження [1, 2] ефективності роботи теплоакумулюючого матеріалу (ТАМу) фазового переходу в умовах теплового акумулятора виявили певні недоліки в їх конструкції. Постає необхідність підвищення корисного використання маси акумулюючого матеріалу оскільки, фазовий перехід потребує

великих витрат теплової енергії і проходить не по всій товщині шару матеріалу одночасно.

Тому, з метою підвищення акумуляційної здатності та ефективності робочих характеристик акумулятора теплоти фазового переходу, всі заходи з удосконалення конструкції теплообмінної поверхні таких акумуляторів повинні бути спрямовані на забезпечення оптимального перерозподілу температурних полів по всьому об'єму такого матеріалу.

Мета досліджень – підвищення ефективності використання маси акумулюючого матеріалу в акумуляторах теплоти фазового переходу.

Матеріали та методика досліджень. У результаті проведеного числового моделювання [3, 4] та експериментальних досліджень [1, 2], виявлено наявність зон низької швидкості плавлення акумулюючого матеріалу, який знаходиться під нижнім рядом теплових джерел. Відмінність значень температур на початковій і кінцевій стадії плавлення в об'ємах матеріалу верхнього та нижнього рівнів не перевищує $\pm 5\div 7$ °С. Тому, з метою кращого прогріву ТАМу нижніх рівнів, запропонована вдосконалена конструкція акумулятора теплоти фазового переходу (рис. 1), яка, порівняно з попередньою моделлю [5], має деякі конструктивні зміни у вигляді хвилеподібного дна.

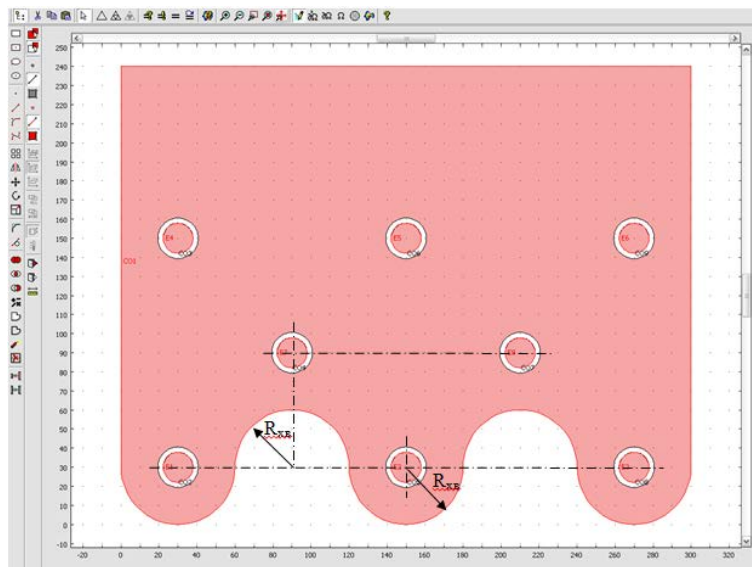


Рис. 1. Асиметрична геометрія 2D корпусу акумулятора теплоти вдосконаленої конструкції

Результати досліджень. Подане на рис. 2, поле температур в об'ємі акумулюючого матеріалу вдосконаленої конструкції (рис. 2б) акумулятора теплоти, свідчить про рівномірний розподіл температур порівняно з досліджуваною конструкцією (рис. 2а). Зокрема, температура ТАМу нижніх шарів, які розміщені біля дна корпусу такого акумулятора, на 7 % вища, ніж в аналогічному об'ємі ТАМу акумулятора досліджуваної конструкції.

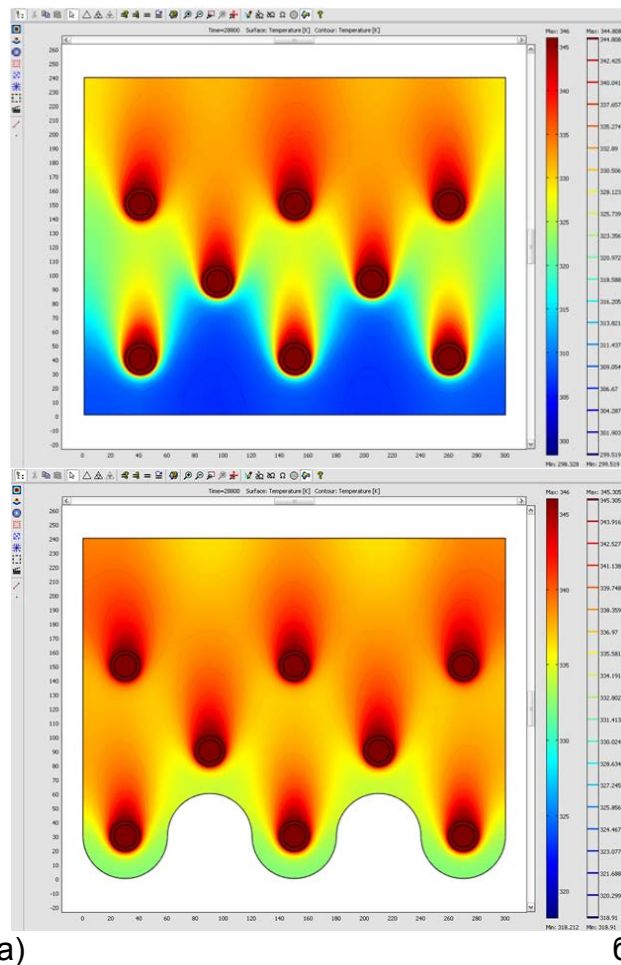


Рис. 2. Температурні поля в об'ємі акумулюючого матеріалу досліджуваної (а) та вдосконаленої (б) конструкцій акумулятора теплоти

Крім того, у поперечному перерізі має місце більш рівномірний розподілений температурний потік, на відміну від аналогічного в теплоакумуляторі раніше досліджуваної конструкції. Середнє значення температур у наведеному перерізі становить у межах 65 ± 2 °С. Перепад їх кінцевих значень, у наведеній площині, для нижнього і верхнього рівнів сягає $\Delta T = 2$ °С, на відміну від результатів дослідження досліджуваної конструкції акумулятора, яка становить $5 \div 7$ °С. Профілі плавлення ТАМу в акумуляторі теплоти вдосконаленої та досліджуваної конструкції подібні (рис. 2), проте, максимум температур спостерігається й біля нижньої частини стінки корпусу такого акумулятора на 15 % більше, ніж в апараті досліджуваної конструкції.

Для порівняльного аналізу вдосконаленої та досліджуваної конструкції акумулятора теплоти фазового переходу використовуємо коефіцієнт використання маси акумулюючого матеріалу, що визначений за положеннями [6–8]. Проведений ексергетичний аналіз (див. таблицю) свідчить, що, з точки зору корисного використання маси як у першому, так і в другому варіантах, кількість акумулюючого матеріалу, який був ефективно задіяний за рівних умов його роботи, однакова. Але в другому варіанті вона працює ефективніше $M_{32} > M_{31}$ завдяки зміні конструкції в частині геометрії дна корпусу акумулятора.

**Порівняльні результати ексергетичного аналізу
акумулятора теплоти фазового переходу
досліджуваної та вдосконаленої конструкцій**

Час роботи, год.	Попередня конструкція			Удосконалена конструкція		
	Ексергія, Вт:		Коефіцієнт використання маси, μ	Ексергія, Вт:		Коефіцієнт використання маси, μ
	заряду, E_z	розряду, E_p		заряду, E_z	розряду, E_p	
0	-	-	0,000	-	-	0,000
1	793,13	371,87	0,024	793,62	359,23	0,041
2	830,08	181,69	0,090	831,21	298,39	0,131
3	812,35	0,00	0,124	812,25	302,92	0,179
4	808,63	0,00	0,173	808,26	295,26	0,255
5	804,67	0,00	0,279	804,02	290,71	0,366
6	797,56	0,00	0,407	796,63	182,76	0,497
7	795,10	0,00	0,552	793,89	177,09	0,738
8	791,48	0,00	0,736	790,04	170,87	1,000

Аналіз даних таблиці свідчить, що виконання дна корпусу апарата хвилеподібної форми забезпечило зростання коефіцієнта корисного використання маси акумулюючого матеріалу на 36 % за однакової теплової потужності зі зразком-аналогом.

Висновки

1. Для зменшення об'єму «застійних зон» в акумулюючому матеріалі до мінімуму дно його корпусу виконуємо хвилеподібної форми.
2. Встановлено що, температура ТАМу біля дна та нижньої частини стінки корпусу теплоакумулятора вдосконаленої конструкції на 7 % та 15 % вища, ніж в об'ємі акумулюючого матеріалу апарата досліджуваної конструкції.
3. Проведений порівняльний енергетичний аналіз роботи акумуляторів теплоти в режимі «розряд» свідчить, що коефіцієнт корисного використання маси акумулюючого матеріалу акумулятора теплоти вдосконаленої конструкції на 36 % вищий порівняно з досліджуваною.

Список літератури

1. Антипов Е. А. Экспериментальное исследование процессов фазового перехода в теплоаккумулирующих материалах органического происхождения / Е. А. Антипов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства. – 2015. – № 3 (20). – С. 44–49.
2. Антипов Є. О. Експериментальне дослідження ефективності нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу / Є. О. Антипов // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 253–257.
3. Антипов Є. О. Чисельне дослідження процесів теплопереносу в низькотемпературних акумуляторах теплоти при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу / Є. О. Антипов // Науковий вісник Національного

університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 224. – С. 208–213.

4. Антипов Е. А. Исследование процессов тепло- и массопереноса в низкотемпературных аккумуляторах теплоты при фазовых превращениях аккумулирующего материала / Е. А. Антипов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – Вип. 15, т. 2. – С. 131–135.

5. Антипов Е. А. Экспериментальное исследование основных режимов работы низкотемпературных аккумуляторов теплоты фазового перехода кожухотрубного типа / Е. А. Антипов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 164. – С. 101–103.

6. Куколев М. И. Оценка эффективности использования массы теплового аккумулятора / М. И. Куколев // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск : Изд. ПетрГУ, 1996. – С. 40–42.

7. Куколев М. И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии / М. И. Куколев. – Петрозаводск : Изд. ПетрГУ, 2001. – 240 с.

8. Мартыновский В. С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / В. С. Мартыновский. – М. : Энергия, 1979. – 285 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАССЫ АККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА В АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Е. А. Антипов

Аннотация. *Рассмотрена возможность повышения эффективности использования массы аккумулирующего материала в аккумуляторах теплоты фазового перехода. Проанализированы полученные значения температурных полей в тепловом аккумуляторе усовершенствованной конструкции, найдены эффективные параметры геометрии корпуса исследуемого объекта.*

Ключевые слова: *аккумулятор теплоты, волнообразное дно, аккумулирующий материал, коэффициент использования массы*

EFFICIENCY WEIGHT ACCUMULATING MATERIAL IN THE HEAT ACCUMULATOR TRANSITION PHASE

I. Antypov

Annotation. *The possibility of increasing the efficiency of the mass of material accumulating heat accumulators phase transition. Analyzed the values of temperature fields in improved heat accumulator design, found effective housing options geometry of the object studied.*

Key words: *heat accumulator, undulating bottom, accumulating material, utilization of mass*

ПОЛЯРИЗОВАНІСТЬ СИСТЕМИ ДВОХ МАЛИХ ЧАСТИНОК ІЗ УРАХУВАННЯМ МУЛЬТИПОЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ НИМИ

*Н. Г. Шкода, кандидат фізико-математичних наук
Інститут хімії поверхні НАН України
С. В. Шостак, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Отримано аналітичні вирази для поляризованості системи, що складається з двох малих сферичних частинок із урахуванням мультипольної взаємодії між ними. Для випадку двох різних сферичних частинок у зовнішньому електричному полі розраховано частоти поверхневих мод. Усі розрахунки проведено в електростатичному наближенні.

Ключові слова: *поверхневий плазмон, електродинамічний відгук, мультипольна взаємодія*

Вивчення процесів взаємодії електромагнітного випромінювання (ЕМВ) з ансамблями малих часток (МЧ) становлять величезний інтерес як з точки зору неруйнівного контролю поверхні, так і при створенні композитних матеріалів із наперед заданими електродинамічними властивостями [1–6].

У загальному випадку на характеристики спектрів поглинання МЧ (висоту, ширину й положення піків) впливають декілька чинників. Ті з них, які розглядаються в класичній теорії, зручно об'єднати в групи, які відповідають типам взаємодії в системі малих частинок. Перелічимо ці взаємодії в порядку зменшення їх інтенсивності і, відповідно, їх впливу на оптичні спектри поглинання [5, 6] такими системами.

По-перше, взаємодія МЧ із зовнішнім електромагнітним полем. Вона зумовлена тільки характеристиками самих МЧ – їх формою, розміром, структурою (наявністю оболонок, додаткових шарів тощо) і властивостями матеріалу, з якого вони виготовлені.

По-друге, міжчастинкова взаємодія в системі МЧ. Ця взаємодія зумовлена характером просторового розподілу МЧ (щільний або розріджений розподіл; для МЧ несферичної форми має значення також характер їх просторової орієнтації: чи є вона впорядкованою або хаотичною), а також характером розподілу їх за розмірами (моно- або полідисперсний розподіл).

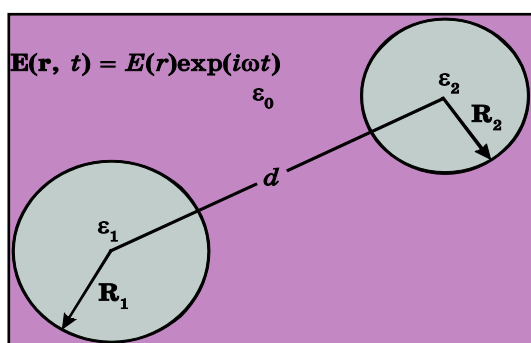
Мета досліджень – вивчення характеру електродинамічного відгуку в системі сферичних МЧ, що знаходяться в зовнішньому електричному

полі $E_0 e^{i\omega t}$; визначення поляризованості МЧ, частоти поверхневих мод, а також аналіз частотного спектра поверхневих збуджень дипольної взаємодії частинок між собою.

Матеріали та методика досліджень. Можливо, найбільш важливою та дослідженою із задач у теорії поглинання й розсіяння плоских електромагнітних хвиль малими частинками є задача про кулю з довільним радіусом і відомим показником заломлення або діелектричною проникністю. Для розв'язання цієї задачі можуть бути використані різні методи. З відомих методів розв'язку виокремимо три: метод Стреттона, метод потенціалів Дебая і метод Т-матриць. У цій роботі ми використали механізми та закономірності поглинання й розсіяння ЕМВ окремими кульовими частинками з урахуванням мультипольної взаємодії між ними.

Розв'язок задачі розсіяння плоскої електромагнітної хвилі на кулі, згідно із загальноприйнятою термінологією, будемо називати розв'язком Мі, яка застосовується відносно взаємодії світла з частинками, розміри яких достатньо малі для того, щоб їх можна було описувати в межах електростатичного наближення ($R \ll \lambda$).

Результати досліджень. Розглянемо випадок двох металевих сферичних часток, що знаходяться на відстані d один від одного (див. рисунок) у зовнішньому (змінному за часом) електричному полі з довжиною хвилі λ_0 значно більшою за розмір частинок і d [7, 8].



Дві малі кульові частинки на поверхні твердого тіла у зовнішньому електричному полі $\vec{E}(r, t)$

З урахуванням тільки дипольної взаємодії між частинками, тензор поляризованості i -тої частинки може бути поданий у вигляді:

$$\alpha_{im_1}^m = 4\pi a_{i1} \frac{1 + (-1)^m \eta_m a_{\bar{i}1} \delta_m^{m'}}{1 - \eta_m^2 \frac{a_{11} a_{21}}{d^6}} \quad (1)$$

де $\bar{i} = 1$, якщо $i = 2$;

$\bar{i} = 2$, якщо $i = 1$, $\epsilon_0 \equiv \epsilon_a$;

R_i - радіус i -частинки:

$$a_i = \frac{\epsilon_i - \epsilon_0}{\epsilon_i + 2\epsilon_0} R_i^3, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

Умова для знаходження частот поверхневих плазмонів (рівність нулю знаменника в (1)) у цьому випадку набуває вигляду:

$$\eta_m^2 \frac{R_1^3 R_2^3}{d^6} \left(\frac{\varepsilon_{1\infty} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{1\infty} + 2\varepsilon_0} \right) \left(\frac{\varepsilon_{2\infty} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{2\infty} + 2\varepsilon_0} \right) \left(\frac{\omega^2 - \omega_{e1}^2}{\omega^2 - \omega_{f1}^2} \right) \left(\frac{\omega^2 - \omega_{e2}^2}{\omega^2 - \omega_{f2}^2} \right) = 1. \quad (3)$$

Діелектричні проникності металевих сфер було вибрано в друдівському вигляді [2]:

$$\varepsilon_1(\omega) = \varepsilon_{1\infty} - \frac{\omega_{p1}^2}{\omega(\omega + i\gamma_1)}; \quad \varepsilon_2(\omega) = \varepsilon_{2\infty} - \frac{\omega_{p2}^2}{\omega(\omega + i\gamma_2)},$$

а при отриманні (3) γ_1, γ_2 прямували до нуля. Крім того, в (3) введено позначення:

$$\omega_{fi}^2 = \frac{\omega_{pi}^2}{\varepsilon_{i\infty} + 2\varepsilon_0}; \quad \omega_{ei}^2 = \frac{\omega_{pi}^2}{\varepsilon_{i\infty} - \varepsilon_0}, \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

З урахуванням цих зауважень з рівняння (3) знаходимо частоти поверхневих плазмонів:

$$2(\omega_m^\pm)^2 = \bar{\omega}_{f1}^2 + \bar{\omega}_{f2}^2 \pm \left[(\bar{\omega}_{f1}^2 - \bar{\omega}_{f2}^2)^2 + 4\bar{\omega}_{f1}^2 \cdot \bar{\omega}_{f2}^2 \frac{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)A_m^2}{(1-\alpha_1 A_m^2)(1-\alpha_2 A_m^2)} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де

$$A_m^2 = \eta_m^2 \frac{R_1^3 R_2^3}{d^6}, \quad \alpha_{12} = \alpha_1 \alpha_2; \quad \alpha_i = \frac{\varepsilon_{i\infty} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{i\infty} + 2\varepsilon_0}; \quad (6)$$

$$\bar{\omega}_{f1}^2 = \omega_{f1}^2 \frac{1-\alpha_2 A_m^2}{1-\alpha_{12} A_m^2}; \quad \bar{\omega}_{f2}^2 = \omega_{f2}^2 \frac{1-\alpha_1 A_m^2}{1-\alpha_{12} A_m^2}; \quad i = 1, 2.$$

Вираз (5) являє собою основну формулу для розрахунку частот поверхневих плазмонів у системі двох металевих сферичних різних частинок, що знаходяться в зовнішньому електричному полі на відстані d .

Розглянемо окремий випадок, коли частинки складаються з одного матеріалу ($\varepsilon_1(\omega) = \varepsilon_2(\omega)$), але мають різні розміри ($R_1 \neq R_2$). Тоді, з рівняння (5) знаходимо частоти поверхневих плазмонів у системі двох частинок [3]:

$$(\omega_m^\pm)^2 = \frac{(1 \pm A_m)\omega_f^2}{1 \pm \alpha_0 A_m}; \quad \omega_f = \frac{\omega_p^2}{\varepsilon_\infty + 2\varepsilon_0}; \quad \varepsilon_1(\omega) = \varepsilon_2(\omega) \equiv \varepsilon(\omega),$$

де

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}; \quad \Delta = R_2/R_1 \quad (R_2 \leq R_1); \quad \alpha_0 = \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}{\varepsilon_\infty + 2\varepsilon_0}; \quad A_m = \eta_m \Delta^{3/2} (R_1/d)^3; \quad \eta_m = \begin{cases} 2, & m = (0; II) \\ 1, & m = (\pm 1; \perp). \end{cases} \quad (7)$$

Знак II означає, що поле $\mathbf{E}_0$ спрямоване вздовж прямої, що сполучає центри частинок, а знак $\perp$ — поле, спрямоване перпендикулярно цій прямій:

$$(\Delta\omega)^2 \equiv (\omega_0^+)^2 - (\omega_1^-)^2 = 3\omega_p^2 \left[\frac{(R_1 R_2)^{1/2}}{d} \right]^3 \quad (8)$$

При $R_1 = R_2$ максимальне значення $\Delta\omega$ досягається при $d = 2R_1$. Якщо $\varepsilon_\infty = \varepsilon_0 = 1$, то

$$\Delta\omega = (1/8)^{1/2} \omega_p \sim 0,35 \omega_p. \quad (9)$$

Зазначимо, що величина $\Delta\omega$ становить третю частину плазмової частоти ω_p матеріалу МЧ і є оціночною. У реальних системах необхідно враховувати електронне згасання (γ_1, γ_2) і реальні частотні залежності $\varepsilon_1(\omega)$ і $\varepsilon_2(\omega)$. Це потребує громіздких чисельних обчислень і буде проведено надалі.

Висновки

На підставі розробленої нами загальної теорії взаємодії наночастинок із різноманітними поверхнями (у тому числі й біологічними) можна стверджувати, що мультипольна взаємодія виникає лише за присутності зовнішнього електричного поля $\mathbf{E}_0$ і вона призводить до зміни електродинамічних властивостей як МЧ, так і поверхні – перерозподілу зарядів, зрушенню положення піків і зміні інтенсивності поглинання електромагнітного випромінювання системою наночастинок, що знаходяться на поверхні.

Характер зміни процесів поглинання й розсіювання як наночастинок, так і поверхню залежить від електродинамічних параметрів поверхні і наночастинок (ефективна діелектрична проникність, фізико-хімічний стан поверхні тощо). Це дає можливість отримувати інформацію про фізичні й хімічні параметри поверхні на підставі аналізу оптичних спектрів поглинання адсорбованих на ній малих частинок, наночастинок і молекул.

Список літератури

1. Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен. – М. : Мир, – 1986. – 837 с.
2. Okamoto T. Optical absorption study of the surface plasmons resonance in gold nanoparticles immobilized onto a gold substrate by self-assembly technique / T.Okamoto, I. Yamaguchi. // J. Phys. Chem. B. – 2003. – V. 107, N 38. – P. 10321–10324.
3. Kreibig U. Optical Properties of Metal Clusters / U. Kreibig, M. Vollmer. – Berlin: Springer, 1995. – 532 p.
4. Gozhenko V.V. Electrodynamics of spatial clusters of spheres: substrate effects / V.V. Gozhenko, L.G. Grechko, K.W. Whites. // Phys. Rev. B. – 2003. – V. 68, N 13. – P. 125422–125438.
5. Gozhenko V.V. Substrate influence on infrared absorption by clusters of small spheres / V.V. Gozhenko, L.G. Grechko, N.G. Shkoda, K.W. Whites. // Proc. 6-th Int. Conf. on Material Science and Material Properties for Infrared Optoelectronics. – Proc. SPIE. – 2003. – Vol. 5065. – P. 122–126.
6. M.T. Haarmans and D. Bedeaux. Thin Solid Film, 224, page 117, 1993.

7. Gozhenko V.V. Electrodynamics of spatial clusters of spheres: substrate effects. / V.V. Gozhenko, L.G. Grechko, K.W. Whites. // Phys. Rev. B., 68, 125422-1–125422-16 (2003).

8. Blank A.Ya. Optical surface modes in a system of fine metallic particles / A.Ya. Blank, L.Y. Garanina, L.G. Grechko // Fiz. Nizk. Temp, V.25, N.10, (1067–1072), 1999.

ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ СИСТЕМЫ ДВУХ МАЛЫХ ЧАСТИЦ С УЧЕТОМ МУЛЬТИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ НИМИ

Н. Г. Шкода, С. В. Шостак

Аннотация. *Получены аналитические выражения для поляризуемости системы из двух сферических малых частиц с учетом мультипольного взаимодействия их между собой. Для случая двух разных сферических частиц во внешнем электрическом поле рассчитаны частоты поверхностных мод. Все расчеты проведены в электростатическом приближении.*

Ключевые слова: *поверхностный плазмон, электродинамический отклик, мультипольное взаимодействие*

POLARIZABILITY SYSTEM OF TWO PARTICLES WITH MULTIPOLE INTERACTION

N. Shkoda, S. Shostak

Annotation. *Analytical expressions for the polarizability of a system of two small particles were received taking into account multipole substrate-particle interactions as well as interactions between the particles themselves. For a case of two different spherical particles, frequencies of surface plasmon modes were obtained. All the calculations are performed in the electrostatic approximation.*

Key words: *surface plasmon, electrodynamics response, multipole interaction*

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ

М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук
e-mail: maxim_pavlenko@i.ua

Анотація. Наведено результати експериментальних досліджень зі встановлення оптимальних параметрів роботи обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням гідромеханічного перемішування.

Ключові слова: дизельне біопаливо, кінематична в'язкість, температура спалаху, частота обертання гідромеханічної мішалки, споживана потужність, питома енергоємність

При виробництві дизельного біопалива одним із вагомих етапів є процес естерифікації рослинної олії та метилату калію в метиловий ефір і гліцериновий осад. Для забезпечення проходження реакції, суміш рослинної олії та метилату калію можна перемішувати за допомогою гідродинамічної кавітації, механічної та гідромеханічної мішалки. Останнім часом дедалі більшого використання набуває гідромеханічне перемішування, завдяки своїм особливостям приводити в рух гідромеханічну мішалку, за рахунок перекачування емульсії.

Однак, питання визначення частоти обертання гідромеханічної мішалки, споживаної потужності, питомої енергоємності та якості, залежно від параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива на основі гідромеханічного перемішування залишається недослідженим.

Мета досліджень – провести експериментальні дослідження щодо встановлення оптимальних параметрів роботи обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням гідромеханічного перемішування.

Матеріали та методика досліджень – встановлення залежності обертання гідромеханічної мішалки, споживаної потужності та питомої енергоємності від частоти обертання електродвигуна, діаметра форсунок і кута нахилу лопаток.

На основі проведення аналізу літературних джерел і теоретичних досліджень було встановлено, що найвагомішими параметрами, які впливають на частоту обертання гідромеханічної мішалки в обладнанні для виробництва дизельного біопалива є частота обертання електродвигуна, який приводить в дію гідравлічний насос НШ-10, діаметр форсунок, через які випорскується емульсія та завдяки яким утворюється обертовий момент на мішалці за рахунок реактивної струї, а також кут нахилу лопаток, у результаті чого будуть змінюватися лобовий опір і підйомна сила. Ці параметри впливають на кількісний та якісний вихід метилового ефіру (дизельного біопалива).

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів наведено в таблиці.

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів

Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Діаметр форсунок, мм	1,5	2,0	2,5	0,5
Частота обертання двигуна, об/хв	700	1050	1400	350
Кут нахилу лопаток, град	30	60	90	30

Для визначення вагомості показників якості дизельного біопалива було проведено експертну оцінку коефіцієнтів вагомості шляхом опитування експертів із виробництва та використання дизельного біопалива.

Методом експертної оцінки визначали вагомість показника кінематичної в'язкості палива (α), вагомість показника температури спалаху (β) та сумарну вагомість інших показників. В анкеті для опитування кожен експерт надавав свої оцінки вагомості показників, сума яких не перевищувала 100 %.

Для встановлення взаємного впливу параметрів процесу естерифікації на якість дизельного біопалива ми запропонували використати наступний вираз:

$$P_{\text{я}} = \alpha(v_{\text{ф}} > v_{\text{н}}; \frac{v_{\text{ф}} - v_{\text{н}}}{v_{\text{н}}}; 0) + \beta(T_{\text{сф}} < T_{\text{сн}}; \frac{T_{\text{сн}} - T_{\text{сф}}}{T_{\text{сн}}}; 0) \quad (1)$$

де $P_{\text{я}}$ – показник величини відхилення фактичних значень якості дизельного біопалива від нормативних (узагальнений показник якості), %;

α – вагомість показника кінематичної в'язкості палива, %;

$v_{\text{ф}}$ – фактичне значення кінематичної в'язкості, мм²/с;

$v_{\text{н}}$ – нормативне значення кінематичної в'язкості, мм²/с;

β – вагомість показника температури спалаху, %;

$T_{\text{сф}}$ – фактичне значення температури спалаху, °С;

$T_{\text{сн}}$ – нормативне значення температури спалаху, °С.

Визначення кінематичної в'язкості проводилося згідно з ГОСТом 33, а температури спалаху – згідно ДСТУ 4455 або ГОСТом 6356.

Результати досліджень. За результатами експерименту отримали математичні моделі для визначення кінематичної в'язкості та температури спалаху:

$$v = 6,7360 - 0,0367t, \quad (2)$$

де v – кінематична в'язкість, мм²/с; t – час перемішування, хв.

$$T_{\text{с}} = 246,3173 - 0,1685T + 0,0321T^2, \quad (3)$$

де $T_{\text{с}}$ – температура спалаху, °С;

T – температура процесу естерифікації, °С.

Отримано математичну модель для визначення узагальненого показника якості дизельного біопалива, який залежить від температури процесу естерифікації та часу перемішування [3]:

$$П_{\text{я}} = - 7,7013 + 0,1096T - 0,0038t^2 \quad (4)$$

Дослідження свідчать, що, зі збільшенням температури процесу естерифікації, узагальнений показник якості дизельного біопалива збільшується (рис. 1а), що пояснюється значним зменшенням температури спалаху при значному збільшенні кінематичної в'язкості. Зі збільшенням часу перемішування та зменшенням температури процесу естерифікації, узагальнений показник якості дизельного біопалива зменшується (рис. 1б) [5], що пояснюється незначним підвищенням температури спалаху та суттєвим зниженням кінематичної в'язкості.

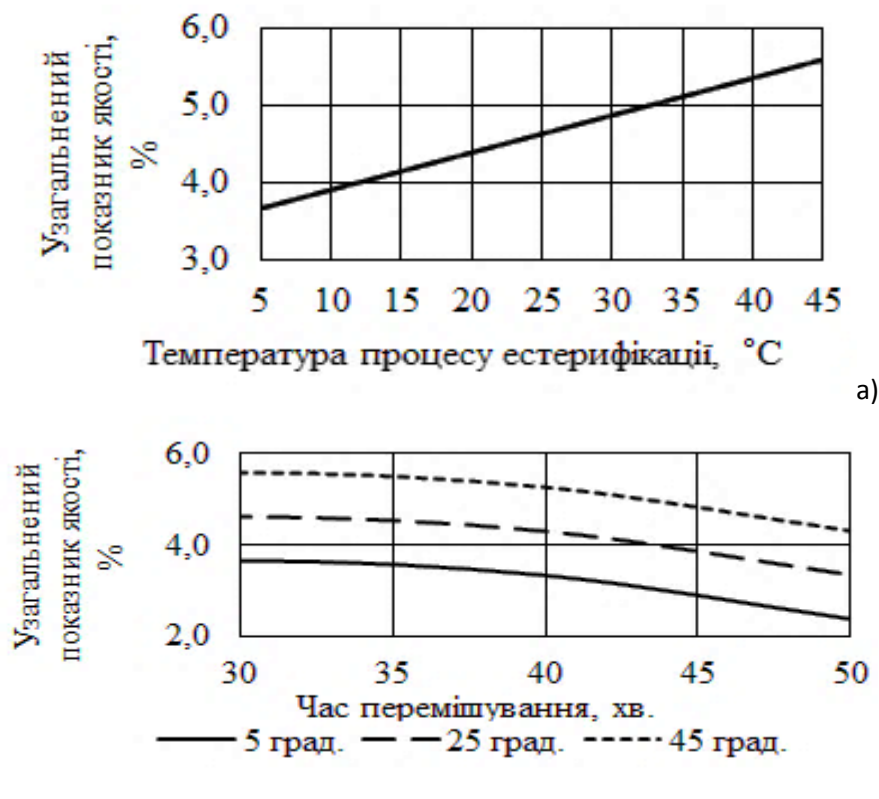


Рис. 1. Залежність узагальненого показника якості дизельного біопалива від температури процесу естерифікації та часу перемішування

Також за результатами експерименту отримано математичну модель для визначення частоти обертання гідромеханічної мішалки:

$$n_{\text{г}} = 31,2125 - 37,0389d + 0,0763n_{\text{Д}} - 0,3432\alpha + 7,0722d^2 + 0,002\alpha^2 - 0,0079dn_{\text{Д}}, \quad (5)$$

Аналіз свідчить (рис. 2), що зі зменшенням діаметра форсунок частота обертання гідромеханічної мішалки збільшується, що пояснюється збільшенням реактивної сили, яка рухає гідромеханічну мішалку, завдяки

збільшенню швидкості вильоту струї. При збільшенні кута нахилу лопаток частота обертання гідромеханічної мішалки зменшується, що пояснюється збільшенням лобового опору лопаток. Зі збільшенням частоти обертання насоса частота обертання гідромеханічної мішалки зростає, що пояснюється збільшенням масового розходу рідини через форсунок [2]. Максимальна частота обертання гідромеханічної мішалки становила від 39 до 45 об/хв за частоти обертання насоса 1400 об/хв, діаметра форсунок від 1,5 до 2 мм та кута нахилу лопаток від 30 до 60°.

За результатами експерименту отримано математичну модель для визначення споживаної потужності гідромеханічної мішалки:

$$P = 49,1201 - 13,9375d - 0,0847n_n + 0,0001n_n^2 \quad (6)$$

Аналіз взаємного впливу частоти обертання насоса і діаметра форсунок на споживану потужність насоса (рис. 3) свідчить, що зі збільшенням частоти обертання насоса та зменшенням діаметра форсунок від 2,5 до 1,5 мм споживана потужність насоса збільшується.

Мінімальна споживана потужність насоса становила 1,5 Вт за частоти обертання 700 об/хв, кута нахилу лопаток 60° та діаметра форсунок 2,5 мм [1].

Отримано також математичну модель для визначення питомої енергомісткості гідромеханічної мішалки з урахуванням узагальненого показника якості дизельного біопалива:

$$E_{TM} = 0,9121 - 0,7601d + 0,0011n_n + 0,018\tau. \quad (7)$$

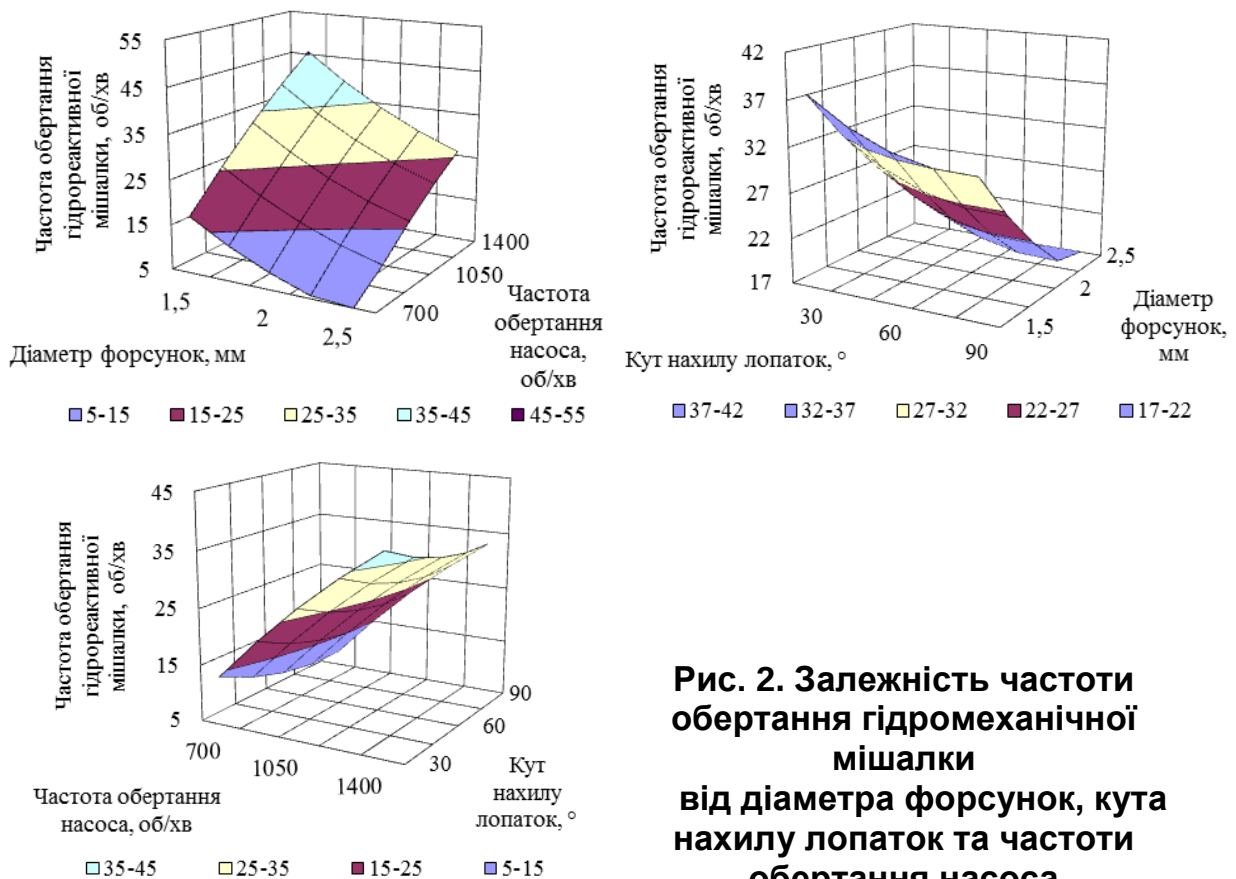


Рис. 2. Залежність частоти обертання гідромеханічної мішалки від діаметра форсунок, кута нахилу лопаток та частоти обертання насоса

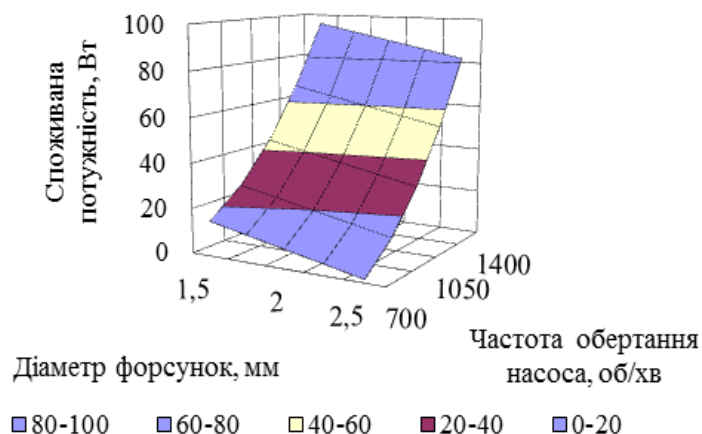


Рис. 3. Залежність споживаної потужності від діаметра форсунок та частоти обертання насоса

Аналіз свідчить (рис. 4), що зі зменшенням діаметра форсунок питома енергосмість гідромеханічної мішалки збільшується, завдяки зростанню споживаної потужності електродвигуна через збільшення напору насоса. Зі збільшенням часу перемішування питома енергосмість гідромеханічної мішалки збільшується, завдяки збільшенню витрат енергії на перемішування.

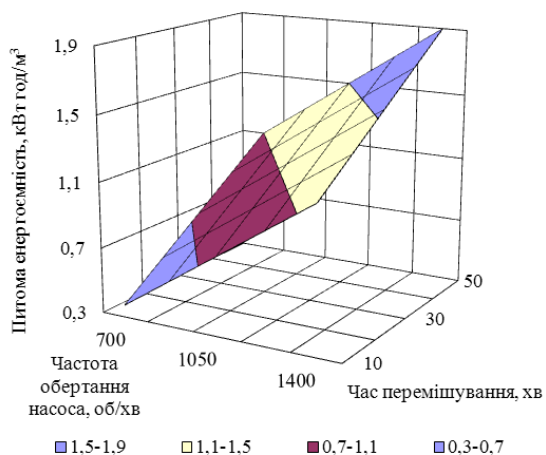
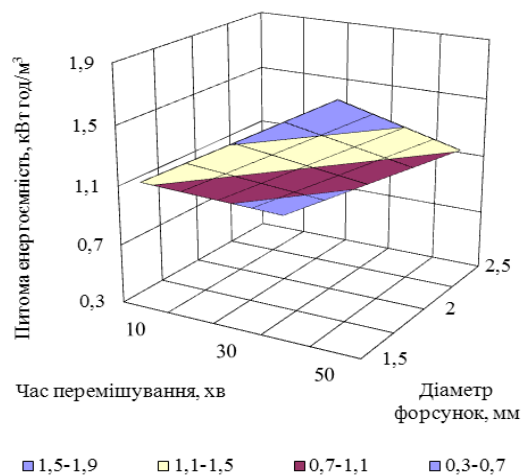
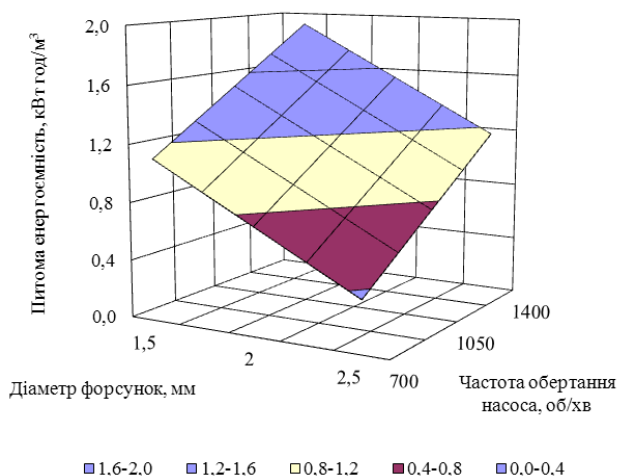


Рис. 4. Залежність питомої енергосмістості гідромеханічної мішалки від діаметра форсунок, часу перемішування та частоти обертання насоса

У разі збільшення частоти обертання насоса, питома енергомiсткiсть гiдромеханiчної мiшалки збiльшується, завдяки збiльшенню продуктивностi насоса [4]. Мiнiмальна питома енергомiсткiсть гiдромеханiчної мiшалки становить 0,4 кВт год/м³ за частоти обертання насоса 700 об/хв, часу перемiшування 10 хв та дiаметра форсунок 2,5 мм.

Висновки

На основi експериментальних дослiджень встановлено, що для процесу естерифiкацiї рослинної олiї узагальнений показник якостi дизельного бiопалива набуває мiнiмального значення за температури процесу естерифiкацiї 5 °С та часу перемiшування 50 хв i становить вiд 2,4 до 3,7 %. На основi рiвнянь регресiї отримано такі рацiональнi параметри гiдромеханiчної мiшалки: частота обертання насоса – 700 об/хв; дiаметр форсунок – 2,5 мм; кут нахилу лопаток – 30°; час перемiшування – 50 хв; температура процесу – не нижче за 5 °С.

Список лiтератури

1. Голуб Г. А. Взаємозв'язок потужностi насоса та параметрiв гiдрореактивної мiшалки при перемiшуванні рiпакової олiї / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Науковий вiсник Нацiонального унiверситету бiоресурсiв i природокористування України. Серiя «Технiка та енергетика АПК» / редкол. : Д. О. Мельничук (вiдп. ред.) та iн. – 2014. – Вип 196, ч. 1. – С. 60–65.
2. Голуб Г. А. Вплив параметрiв гiдрореактивної мiшалки на її частоту обертання при виробництвi дизельного бiопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Механiзацiя та електрифiкацiя сiльського господарства. Вип. 99, т. 2. – Глеваха, 2014. – С. 84–93.
3. Голуб Г. А. Вплив параметрiв естерифiкацiї рiпакової олiї на якiсть дизельного бiопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Зб. наук. праць ПДАТУ: Сучаснi проблеми збалансованого природокористування. Подiльський державний аграрно-технiчний унiверситет, 2013. – С.193–198.
4. Павленко М. Ю. Енергомiсткiсть гiдромеханiчного перемiшування при виробництвi дизельного бiопалива / М. Ю. Павленко, Г. А. Голуб // Вiсник Сумського нацiонального аграрного унiверситету. Механiзацiя та автоматизацiя виробничих процесiв. – Суми, 2014, Вип. 11 (26). – С. 39–42.
5. Павленко М. Ю. Обґрунтування параметрiв гiдромеханiчної мiшалки для виробництва дизельного бiопалива : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини i засоби механiзацiї сiльськогосподарського виробництва» / М. Ю. Павленко. – К., 2015. – 23 с.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

М. Ю. Павленко

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по установлению оптимальных параметров работы оборудования для производства дизельного биотоплива с применением гидромеханического перемешивания.

Ключевые слова: *дизельное биотопливо, кинематическая вязкость, температура вспышки, частота вращения гидромеханической мешалки, потребляемая мощность, удельная энергоемкость*

INTEGRATED RESEARCH EQUIPMENT BIODIESEL PRODUCTION WITH HYDROMECHANICAL MIXING

M. Pavlenko

Annotation. *Powered experimental study to establish the optimal parameters of the equipment for biodiesel production using hydrostirring is given.*

Key words: *diesel biofuel, kinematic viscosity, flash point, hydromechanical speed mixers, power consumption, specific energy consumption.*

УДК 681.5.07

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ГАРАНТОВАНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

Л. А. Панталієнко, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Наведено алгоритми розв'язання задач гарантованої чутливості для систем дискретних рівнянь, залежних від параметрів. Розглянуто постановки задач за наявності обмежень на функції чутливості лінійного та нелінійного типів. На підставі методів практичної стійкості здійснено чисельне оцінювання початкової області для функцій чутливості.*

Ключові слова: *дискретна система, стійкість, параметри, гарантована чутливість, функції чутливості*

Керування реальними системами здійснюється, як правило, в умовах невизначеності під впливом різного роду факторів технічної природи, зовнішнього середовища та умов експлуатації. Деякі з цих факторів, що несуть основну інформацію про властивості системи, враховуються в її моделі завдяки вектору фазового стану. Але, яким би повним не був набір цього вектора, завжди реально існує безліч неконтрольованих додаткових факторів, що можуть значно впливати на роботу об'єкта. Це, наприклад, неточно задані зовнішні збурення, похибки при виконанні програми керування, помилки вимірювання тощо. У зв'язку з цим, природно вимагати, щоб система була малочутливою (нечутливою) до змінювання параметрів.

Ключевые слова: *дизельное биотопливо, кинематическая вязкость, температура вспышки, частота вращения гидромеханической мешалки, потребляемая мощность, удельная энергоемкость*

INTEGRATED RESEARCH EQUIPMENT BIODIESEL PRODUCTION WITH HYDROMECHANICAL MIXING

M. Pavlenko

Annotation. *Powered experimental study to establish the optimal parameters of the equipment for biodiesel production using hydrostirring is given.*

Key words: *diesel biofuel, kinematic viscosity, flash point, hydromechanical speed mixers, power consumption, specific energy consumption.*

УДК 681.5.07

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ГАРАНТОВАНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

Л. А. Панталієнко, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Наведено алгоритми розв'язання задач гарантованої чутливості для систем дискретних рівнянь, залежних від параметрів. Розглянуто постановки задач за наявності обмежень на функції чутливості лінійного та нелінійного типів. На підставі методів практичної стійкості здійснено чисельне оцінювання початкової області для функцій чутливості.*

Ключові слова: *дискретна система, стійкість, параметри, гарантована чутливість, функції чутливості*

Керування реальними системами здійснюється, як правило, в умовах невизначеності під впливом різного роду факторів технічної природи, зовнішнього середовища та умов експлуатації. Деякі з цих факторів, що несуть основну інформацію про властивості системи, враховуються в її моделі завдяки вектору фазового стану. Але, яким би повним не був набір цього вектора, завжди реально існує безліч неконтрольованих додаткових факторів, що можуть значно впливати на роботу об'єкта. Це, наприклад, неточно задані зовнішні збурення, похибки при виконанні програми керування, помилки вимірювання тощо. У зв'язку з цим, природно вимагати, щоб система була малочутливою (нечутливою) до змінювання параметрів.

Для конкретизації умов працездатності системи вводять динамічні обмеження на функції чутливості – похідні функції стану по параметру [1,2]. Задачі, зв'язані з аналізом чутливості у такій постановці, відносять до класу задач з обмеженою та гарантованою чутливістю [1,3,4].

На відміну від відомих методів [1], чисельне розв'язання задач гарантованої чутливості здійснюється на підставі алгоритмів практичної стійкості [3] для

структурованих областей початкових умов. У випадку нелінійної дискретної системи, попередньо проводиться її лінеаризація в околі будь-якого розрахункового руху.

Мета досліджень – розробка чисельних методів розв'язання задач гарантованої чутливості на підставі алгоритмів практичної стійкості.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються математичні методи аналізу стійкості, чутливості та алгоритми оптимізації.

Дослідимо систему лінійних дискретних рівнянь

$$x_{i+1} = A_i x_i + \Omega_i \alpha, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad (1)$$

за наявності обмежень на функції чутливості [3] $u_i(\alpha) \in \Phi_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$.

Тут α – вектор параметрів вимірності m ;

$x_i = x_i(\alpha)$ – n -вимірні вектори станів системи (1) для довільного $p_0 \leq i \leq P$;

A_i, Ω_i – сталі матриці вимірності $n \times n$ та $n \times m$ відповідно; $u_i^*(\alpha) = (u_i^{(1)*}(\alpha), u_i^{(2)*}(\alpha), \dots, u_i^{(m)*}(\alpha))$ – $n \cdot m$ -вимірні вектори функцій чутливості $u_i^{(j)}$ $= \frac{\partial x_i(\alpha)}{\partial \alpha_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$. Вважаємо, що $x_i(\alpha) = 0, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$

при $\alpha = 0$ – незбурений розв'язок системи (1).

Складемо для системи (1) рівняння чутливості

$$u_{i+1}^{(j)} = A_i u_i^{(j)} + \omega_i^{(j)}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

а область початкових умов подамо у структурованому вигляді: $G_0 = \left\{ u_{p_0}(\alpha) : \sum_{i=1}^m u_{p_0}^{(i)*} B_j u_{p_0}^{(i)} \leq c^2 \right\}$ ($\omega_i^{(j)}$ – n -вимірний вектор, що відповідає j -му стовпцю матриці Ω_i ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$), $B_j, \quad j = 1, 2, \dots, m$ – відомі додатно визначені квадратні матриці вимірності m).

Для побудови конструктивних алгоритмів оцінки початкової області для функцій чутливості G_0 розглянемо допустимі множини $\Phi_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$ лінійного та нелінійного типів:

$$u_i(\alpha) \in \Gamma_i = \left\{ u_i(\alpha) : \left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} u_i^{(j)} \right| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N_i \right\}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P; \quad (3)$$

$$u_i(\alpha) \in \Psi_i = \{u_i(\alpha) : \psi^{(i)}(u_i(\alpha)) \leq 1\}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P, \quad (4)$$

де $\psi_i(u_i(\alpha))$ – скалярні неперервно-диференційовані функції, причому множини Ψ_i – опуклі, замкнені та містять нульову точку $u_i = 0$;

$l_{si}^{(j)}, j = 1, 2, \dots, m, s = 1, 2, \dots, N_i$ – n -вимірні вектори, що задають обмеження на функції чутливості.

Використовуючи формулу загального розв'язку системи (2) у формі Коші

$$u_i^{(j)} = X_{i, p_0} u_{p_0}^{(j)} + a_{i-1}^{(j)},$$

запишемо умову належності траєкторії системи множині $\Gamma_i, i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$ у вигляді

$$z_i^{(j)} \in \left\{ z_i^{(j)} : -1 - \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \leq \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} z_i^{(j)} \leq 1 - \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)}, s = 1, 2, \dots, N_i \right\}$$

$$i = p_0, p_0 + 1, \dots, P. \quad (5)$$

Тут $a_{i-1}^{(j)} = A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+1} \omega_{p_0}^{(j)} + A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+2} \omega_{p_0+1}^{(j)} + \dots + A_{i-1} \omega_{i-2}^{(j)} + \omega_{i-1}^{(j)}; a_{i-1}^* = (a_{i-1}^{(1)*}, a_{i-1}^{(2)*}, \dots, a_{i-1}^{(m)*})$ – $n \cdot m$ -вимірний вектор $z_i^{(j)} = X_{i, p_0} u_{p_0}^{(j)}, X_{i, p_0}$ – фундаментальна матриця розв'язків однорідної системи (2), що задовольняє матричному рівнянню

$$X_{i+1, p_0} = A_i X_{i, p_0}, \quad X_{p_0, p_0} = E, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1.$$

Вочевидь, умова (5) досягається, якщо виконуються співвідношення

$$\max_{z_i \in \{z_i : z_i^* Q_i z_i \leq c^2\}} l_{si}^* z_i \leq 1 - \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)},$$

$$\min_{z_i \in \{z_i : z_i^* Q_i z_i \leq c^2\}} l_{si}^* z_i \geq -1 - \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)}, \quad s = 1, 2, \dots, N_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P,$$

де $l_{si}^* = (l_{si}^{(1)*}, l_{si}^{(2)*}, \dots, l_{si}^{(m)*}), z_i^* = (z_i^{(1)}, z_i^{(2)}, \dots, z_i^{(m)}), s = 1, 2, \dots, N_i, i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$, а

матриця Q_i такої структури:

$$Q_i = \begin{pmatrix} X_{i, p_0}^{-1*} B_1 X_{i, p_0}^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_{i, p_0}^{-1*} B_2 X_{i, p_0}^{-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & X_{i, p_0}^{-1*} B_m X_{i, p_0}^{-1} \end{pmatrix},$$

$i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$.

Визначивши екстремуми лінійної форми на еліпсоїді, дістанемо оптимальну оцінку області початкових умов G_0 для функцій чутливості:

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{s=1, 2, \dots, N_i} \frac{\left(1 - \left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right| \right)^2}{\sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} X_{i, p_0} B_j^{-1} X_{i, p_0}^* l_{si}^{(j)}},$$

$$\left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right| < 1, \quad s = 1, 2, \dots, N_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P, \quad (6)$$

Для випадку нелінійних обмежень (4) умови стійкості для функцій чутливості набувають вигляду

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{\bar{u}_i \in \Psi'_i} \frac{[grad_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i)(\bar{u}_i - a_{i-1})]^2}{grad_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i) Q_i^{-1} grad_{u_i} \psi^{(i)}(\bar{u}_i)},$$

$$grad_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i) \bar{u}_i > grad_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i) a_{i-1}, \quad \bar{u}_i \in \Psi'_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P, \quad (7)$$

де Ψ'_i – межа області Ψ_i ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$), а квадратна матриця Q_i^{-1} вимірності $n \times m$ обчислюється згідно з рівнянням

$$Q_{i+1}^{(j)-1} = A_i Q_i^{(j)-1} A_i^*, \quad Q_{p_0}^{(j)-1} = B_j^{-1}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P,$$

$Q_i^{(j)-1} = X_{i, p_0} B_j^{-1} X_{i, p_0}^*$ ($j = 1, 2, \dots, m$). При цьому попередньо здійснюється апроксимація опуклих множин Ψ_i , $i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$ дотичними гіперплощинами.

На відміну від задач з обмеженою чутливістю, матриці A_i та вектори $\omega_i^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, m$ ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$) тут є однаковими для всіх розрахункових режимів. Тому відповідні вимоги на функції чутливості будуть виконуватися для довільних α з множини початкових умов для функцій чутливості G_0 . Отже, оцінки (6), (7) забезпечують гарантовану чутливість вихідної лінійної системи (1).

З таких позицій можна розглядати нелінійну систему дискретних рівнянь

$$x_{i+1} = f_i(x_i, \alpha) \quad (f_i(0, 0) = 0), \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad (8)$$

лінеаризуючи її в околі будь-якого розрахункового руху, наприклад, нульового $x_i = 0$, $\alpha = 0$, $i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$. У результаті дістанемо лінійну систему з постійно діючими збуреннями:

$$x_{i+1} = A_i x_i + \Omega_i \alpha + R_i(x_i, \alpha), \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1, \quad (9)$$

де $A_i = \left\{ \frac{\partial f_i(x_i, \alpha)}{\partial x_i} \right\}_n \Big|_{x_i=0, \alpha=0}^n$, $\Omega_i = \left\{ \frac{\partial f_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha} \right\}_n \Big|_{x_i=0, \alpha=0}^n$ – відомі матриці, а $R_i(x_i, \alpha)$ –

вектор-функції вимірності n , що визначають похибку апроксимації ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$).

Критерії стійкості типу (6), (7) для системи відносно функцій чутливості

$$u_{i+1}^{(j)} = A_i u_i^{(j)} + \omega_i^{(j)} + \frac{\partial R_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha_j}, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P-1$$

при відомих векторах $\omega_i^{(j)}$ та обмежених збуреннях $\frac{\partial R_i(x_i, \alpha)}{\partial \alpha_j}$ записуються, відповідно, у вигляді

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{s=1, 2, \dots, N_i} \frac{\left(1 - \left| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right| - \left\| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} \bar{r}_{i-1}^{(j)} \right\| \right)^2}{\sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} X_{i, p_0} B_j^{-1} X_{i, p_0}^* l_{si}^{(j)}},$$

$$\left\| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} a_{i-1}^{(j)} \right\| + \left\| \sum_{j=1}^m l_{si}^{(j)*} \bar{r}_{i-1}^{(j)} \right\| < 1, \quad s = 1, 2, \dots, N_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P; \quad (10)$$

$$c^2 \leq \min_{i=p_0, p_0+1, \dots, P} \min_{\bar{u}_i \in \Psi'_i} \frac{\left[\text{grad}_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i)(\bar{u}_i - a_{i-1}) - \left\| \sum_{j=1}^m \frac{\partial \psi^{(i)}(\bar{u}_i)}{\partial u_i^{(j)}} \bar{r}_{i-1}^{(j)} \right\| \right]^2}{\text{grad}_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i) Q_i^{-1} \text{grad}_{u_i} \psi^{(i)}(\bar{u}_i)},$$

$$\text{grad}_{u_i}^* \psi^{(i)}(\bar{u}_i)(\bar{u}_i - a_{i-1}) > \left\| \sum_{j=1}^m \frac{\partial \psi^{(i)}(\bar{u}_i)}{\partial u_i^{(j)}} \bar{r}_{i-1}^{(j)} \right\|, \quad \bar{u}_i \in \Psi'_i, \quad i = p_0, p_0 + 1, \dots, P. \quad (11)$$

Тут $\bar{r}_{i-1}^{(j)} = A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+1} \frac{\partial R_{p_0}(x_{p_0}, \alpha)}{\partial \alpha_j} + A_{i-1} A_{i-2} \dots A_{p_0+2} \frac{\partial R_{p_0+1}(x_{p_0+1}, \alpha)}{\partial \alpha_j} + \dots + \frac{\partial R_{i-1}(x_{i-1}, \alpha)}{\partial \alpha_j}$,

а під нормою у нерівностях (10), (11) розуміють максимум по x_i , u_i із заданих областей ($i = p_0, p_0 + 1, \dots, P$, $j = 1, 2, \dots, m$).

Запропонований підхід можна застосовувати і в оптимізаційних постановках [3] для урахування допустимих обмежень на функції чутливості для довільних значень вектора параметрів α .

Результати досліджень. Для дискретних параметричних систем здійснено чисельне розв'язання задач гарантованої чутливості методами практичної стійкості для структурованих областей початкових умов.

Висновки

На підставі методів стійкості здійснено чисельне розв'язання задач гарантованої чутливості для дискретних систем. Одержано оптимальні оцінки областей початкових умов за наявності обмежень на функції чутливості.

Список літератури

1. Розенвассер Е. Н. Чувствительность систем управления / Е. Н. Розенвассер, Р. М. Юсупов. – М. : Наука , 1981. – 464 с.
2. Дончев А. Системы оптимального управления: Возмущения, приближения и анализ чувствительности / А. Дончев. – М. : Мир, 1987. – 156 с.
3. Гаращенко Ф. Г. Исследование задач теории чувствительности методами практической устойчивости / Ф. Г. Гаращенко, Л. А. Панталиенко // Изд-во АН СССР. Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1989. – № 6. – С. 17–25.
4. 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.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГАРАНТИРОВАННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

Л. А. Панталиенко

Аннотация. Приведены алгоритмы решения задач гарантированной чувствительности для систем дискретных уравнений, зависящих от параметров. Рассмотрены постановки задач при наличии ограничений на функции чувствительности линейного и нелинейного типов. На основании методов практической устойчивости осуществлено численное оценивание начальной области для функций чувствительности.

Ключевые слова: дискретная система, устойчивость, параметры, гарантированная чувствительность, функции чувствительности

PROBLEM SOLVING GUARANTEED SENSITIVITY FOR DISCRETE SYSTEMS

L. Pantaliyenko

Annotation. The algorithms for solving problems of guaranteed sensitivity of discrete equations dependent settings. Considered objectives of the presence of constraints on the function of the sensitivity of linear and nonlinear types. Based on practical methods of numerical stability assessment conducted initial field sensitivity for features.

Key words: discrete system, stability, parameters, the guaranteed sensitivity, sensitivity functions

ЛОГІЧНА АЛГЕБРА ТА ОСНОВИ МИСЛЕННЯ ЛЮДИНИ

Т. Г. Криворот, асистент
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто булеву та предикатну моделі векторних логічних просторів. Проаналізовано інтерпретацію елементів та операцій над ними для предикатної моделі у вигляді гіперкубів відповідної розмірності, а також їх інтерпретацію як природномовних структур, що дає змогу використовувати ці моделі логічних просторів як моделі подання знань.

Ключові слова: логічна алгебра, предикатна модель, булева модель, інформаційні технології, логічний скаляр, логічний вектор, формалізація

Сучасна епоха характеризується бурхливим розвитком та застосуванням найновітніших інформаційних технологій. Але введення інформації в комп'ютер залишається незмінним. Відсутні формалізовані підходи до подання знань і методи моделювання знань.

Пошук методів формалізації висловлювань природної мови може відкрити шляхи для вдосконалення роботи діалогових людино-машинних систем. Багато сучасних досліджень присвячено розробці математичного апарату для формального опису природної мови. За основу для його розробки можна взяти алгебру скінченних предикатів, мовою якої можна описати будь-який закон інтелекту, що реалізується на ЕОМ. Унаслідок цього, найбільш перспективним є використання такого розділу математики, як логічний аналіз.

Значний внесок у розв'язання задачі формалізації природної мови зробили Т. Віноград, Є. В. Попов, В. Ш. Рубашкін, Ю. П. Шабанов-Кушнарєнко, Н. В. Шаронова, М. Ф. Бондаренко, І. Б. Сіроджа та інші.

Мета досліджень – обґрунтування та перевірка математичного апарату векторних логічних просторів як інструментальних засобів для опрацювання інформації, що зберігається в базах даних, аналіз словосполучень і речень природної мови для дослідження можливості створення інтерфейсів у комп'ютерних системах підтримки прийняття рішень.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження математичних моделей булевих та предикатних векторних логічних просторів як апарату формалізації знань, поданих як природномовні структури. Аналіз можливих алгебраїчних інтерпретацій булевої та предикатної моделей векторних логічних просторів.

Результати досліджень. Важливі результати можна отримати, якщо провести аналогію між лінійною алгеброю, засобами якої

формалізуються різноманітні системи у вигляді математичних моделей, і логічною алгеброю, що є основою мислення людини.

Математичною основою автоматичного розуміння природномовних висловлювань є алгебра скінченних предикатів, розширенням якої є апарат векторних логічних просторів.

Можна розглядати математичний апарат логічних матриць, розроблений на основі алгебри скінченних предикатів, подібно до апарату матриць у лінійній алгебрі. Булево логічне поле, що містить лише два елементи $G=\{0, 1\}$, та предикатне логічне поле, елементами якого є всі n -місні скінченні предикати, задані на декартовому добутку $K=K_1 \times \dots \times K_n$, $|K_i|=k_i$. Кожний елемент такого поля можна подати як однорівневий перемикальний ланцюг із n входами та одним виходом, що реалізує відповідний логічному скаляру предикат. Операціям диз'юнкції, кон'юнкції та заперечення логічних скалярів у цьому випадку відповідають дворівневі перемикальні ланцюги, в яких другий рівень реалізує елемент роз'єднання, збіжності та інвертор відповідно.

З іншого боку, кожен елемент предикатного скалярного поля можна подати як гіперкуб розмірності n . Таке подання для тримісного предикату $R(x, y, z)$ над декартовим добутком $K=\{0, 1\}^3$, де кожній вершині відповідає значення предиката за певним набором значень аргументів x, y, z , що створюють цю вершину. Одиничному елементу відповідає гіперкуб, усі вершини якого мають значення одиниці, а нульовому елементу – гіперкуб, усі вершини якого дорівнюють нулю. Під час проведення операцій диз'юнкції, кон'юнкції та заперечення скалярів, ці операції проводяться над відповідними вершинами гіперкубів, якими подані предикати, що беруть участь в операціях.

Таку інтерпретацію елементів предикатного скалярного логічного поля можна розуміти як геометричну інтерпретацію коректуючих кодів. При цьому кожному n -мірному простору Хеммінга відповідає елемент скалярного логічного поля скінченних предикатів арності n , що поданий гіперкубом, у якого лише єдиній вершині відповідає одиниця, а решті вершин – нулі.

Поняття логічної матриці, а також пов'язані з ним поняття квадратної, порядку квадратної, одиничної, нульової, блочної логічних матриць, логічного рядка, довжини рядка, логічного стовпця, висоти стовпця, вводяться відповідно до подібних понять у лінійній алгебрі. Основними операціями над логічними матрицями є логічний добуток матриці на скаляр або скаляра на матрицю, диз'юнкція, кон'юнкція, заперечення та добуток логічних матриць.

Поняття логічного добутку скаляра на матрицю або матриці на скаляр та добутку логічних матриць подібне до відповідних понять лінійної алгебри. Диз'юнкцією (кон'юнкцією) двох логічних матриць A і B над деяким скалярним полем, що мають однакову кількість рядків та стовпців, є матриця, що має таку саму кількість рядків і стовпців та елементи якої дорівнюють диз'юнкціям (кон'юнкціям) відповідних елементів матриць A і B . Запереченням логічної матриці A є матриця тієї самої розмірності, елементи

якої дорівнюють запереченням відповідних елементів матриці A . Для логічних матриць мають місце такі властивості: $\alpha A = A\alpha$; $1 \cdot A = A$; $0 \cdot A = 0$; $\alpha \cdot 0 = 0$; $\alpha (\beta A) = (\alpha\beta) A$; $A \vee B = B \vee A$, $A \wedge B = B \wedge A$; $A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C$, $A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge C$; $\alpha (A \vee B) = \alpha A \vee \alpha B$; $(\alpha \vee \beta) A = \alpha A \vee \beta A$; $\alpha (A \wedge B) = (\alpha A) \wedge B$; $(A \vee B) \wedge C = A \wedge C \vee B \wedge C$, $A \wedge B \vee C = (A \vee C) \wedge (B \vee C)$; $A \vee A \wedge B = A$, $A \wedge (A \vee B) = A$; $A \vee A = A$, $A \wedge A = A$; $A \vee 0 = 0 \vee A = A$, $A \wedge 0 = 0 \wedge A = 0$; $A \wedge \bar{A} = 0$; $\bar{\bar{A}} = A$; $A \vee \bar{A} = 1$; $A \vee B \wedge \bar{B} = A$, $A \wedge (B \vee \bar{B}) = A$; $\overline{A \vee B} = \bar{A} \wedge \bar{B}$, $\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B}$; $\alpha (AB) = (\alpha A) B$; $A (\alpha B) = (A\alpha) B$; $(AB) \alpha = A (B\alpha)$; $(A \vee B) C = AC \vee BC$, $C (A \vee B) = CA \vee CB$; $A (BC) = (AB) C$.

Операції транспонування та обернення логічних матриць, а також пов'язані з ними поняття симетричної, перестановочної та зворотної логічних матриць, визначаються подібно до відповідних понять у лінійній алгебрі. У логічній алгебрі мають місце такі правила транспонування: $(\alpha A \vee \beta B)^T = \alpha A^T \vee \beta B^T$; $\overline{A^T} = \bar{A}^T$; $(AB)^T = B^T A^T$; $(AB)^T = B^T A^T$. Квадратна логічна матриця називається ортогональною, якщо диз'юнкція всіх елементів кожного її рядка та диз'юнкція всіх елементів кожного її стовпця дорівнюють тотожній одиниці, а кон'юнкція будь-яких двох елементів у кожному її рядку і кон'юнкція будь-яких двох елементів у кожному її стовпці дорівнюють тотожному нулю.

Для того, щоб для квадратних логічних матриць A і B над полем логічних скалярів $G = \{0, 1\}$ або полем скінченних предикатів будь-якої арності виконувалося рівняння $AB = E$, необхідно та достатньо, щоб A і B були ортогональними та підкорялись умові $B = A^T$.

Булева модель: як логічні вектори розглядається множина конститuent одиниці по t змінних. У ролі скалярного поля виступає двоелементна множина $G = \{0, 1\}$. Предикатна модель: за множину логічних векторів розглядається система скінченних предикатів арності t на декартовому добутку $K = K_1 \times \dots \times K_t$, $|K_i| = k_i$, за поле логічних скалярів виступає будь-яка система всіх скінченних предикатів арності $n < m$.

Розглянемо поле логічних скалярів, що є множиною n -місних предикатів $P(x_{i_1}, \dots, x_{i_n})$, $i_t \neq i_s$, $t, s = 1, \dots, n$, де множина індексів $\{i_1, \dots, i_n\}$ є підмножиною індексів $\{1, \dots, m\}$. У зв'язку з тим, що всі простори t -місних предикатів, аргументами предикатів для скалярного поля яких виступають всілякі підмножини $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_n}\}$ множини $\{x_1, \dots, x_m\}$, улаштовані однаково, з точки зору операції добутку вектора на скаляр, будемо вважати, що предикати-скаляри задані на множині перших n елементів множини $\{x_1, \dots, x_m\}$, тобто являють собою n -місні предикати $P(x_1, \dots, x_n)$. Операція добутку вектора на скаляр у предикатних просторах здійснюватиметься за таким правилом: $(P \cdot Q)(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m) = P(x_1, \dots, x_n) \wedge Q(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m)$.

Логічні вектори предикатного простору також можна подавати у вигляді однорівневих перемикальних ланцюгів з t входами та одним виходом, що реалізують відповідні до цих векторів скінченні предикати. У цьому випадку, операції добутку вектора на скаляр відповідає дворівневий перемикальний ланцюг, в якому другий рівень реалізує

елемент збіжності. Випадок добутку скаляра у вигляді двомісного предиката $Q(x, y)$ на декартовому добутку $K^2 = \{0, 1\}^2$ на вектор у вигляді тримісного предиката $R(x, y, z)$ на декартовому добутку $K^3 = \{0, 1\}^3$, подано на рис. 2.

Поняття лінійної комбінації логічних векторів подібне до цього поняття у лінійній алгебрі. Якщо логічний вектор I можна подати як лінійну комбінацію декількох інших векторів, то I залежить від цих векторів. У протилежному випадку він від них не залежить. Система логічних векторів є незалежною, якщо кожний з її векторів не залежить від решти векторів цієї системи. Поняття базису, розкладу векторів за базисом та розмірності логічного простору подібні до відповідних понять у лінійній алгебрі. Але не в усіх логічних просторах має місце єдність розкладу векторів за базисом. Простори, в яких ця єдність має місце, називаються досконалими, решта – недосконалими. При диз'юнкції або добутку на скаляр векторів будь-якого логічного простору координати цих векторів відносно заданого базису диз'юнктуються або помножуються на цей скаляр. Поняття ізоморфних логічних просторів, їх властивості, а також механізм побудови матриць переходу від одного базису до іншого й зворотного переходу також повністю подібні до цих процедур у лінійній алгебрі.

Отже, у будь-якому логічному просторі існує ортогональна матриця A переходу до нового базису й ортогональна матриця B зворотного переходу та $B = A^T$. Наслідком з цього є той чинник, що в досконалому логічному просторі існує єдина матриця переходу A і єдина матриця зворотного переходу B і вони ортогональні та $B = A^T$. Унаслідок ізоморфізму алгебри ідей і алгебри булевих функцій, у булевому просторі існує єдиний розклад кожного його вектора за базисом, тобто повний булевий простір є досконалим. Повний простір t -місних предикатів над скалярним полем n -місних предикатів, $n < t$, теж є досконалим.

Складемо множину X із всіляких наборів аргументів $x_{n+1}, \dots, x_m$: $X = \{ (x_{n+1}, \dots, x_m), x_i \in K_i, n+1 \leq i \leq m \}$. Для стислості запису елементи X позначимо через v . За базисні беруться предикати, що мають вигляд

$$Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m) = \begin{cases} 1, & (x_{n+1}, \dots, x_m) = v \\ 0, & (x_{n+1}, \dots, x_m) \neq v, v \in X, \end{cases} \quad (1)$$

тобто в базисному гіперкубі всі вершини, в яких зафіксовано значення останніх $(t-n)$ змінних, дорівнюють одиниці, а решта – нулю. Індексом v при цьому для базисного вектора є набір зафіксованих значень змінних $(x_{n+1}, \dots, x_m)$. Далі розглянуто будь-який вектор $I(x_1, \dots, x_m) \in L$. Його можна подати у вигляді такої лінійної комбінації базисних векторів:

$$I(x_1, \dots, x_m) = \bigvee_{v \in X} I(x_1, \dots, x_n, v) Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m), \quad (2)$$

де $I(x_1, \dots, x_n, v)$ є n -місним предикатом, тобто елементом $P_v(x_1, \dots, x_n)$ скалярного поля G . Таким чином, рівняння (2) набуває вигляду

$$I(x_1, \dots, x_m) = \bigvee_{v \in X} P_v(x_1, \dots, x_n) Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m), \quad (3)$$

що є розкладом вектора I за побудованим описаним вище базисом. Очевидно, що розклад будь-якого вектора за цим базисом є єдиним.

Слід відзначити, що у випадку подання векторів простору t -місних скінченних предикатів як просторів Хеммінга, якщо позначити предикати відповідного t -мірного коду та коду, що перекручений завадою, через Q_1 і Q_2 відповідно, та врахувати, що для виявлення r -кратної та виправлення s -кратної помилок відстань за Хеммінгом $d=1+r+s$, $r \geq s$, можна стверджувати, що вектор $Q=Q_1 \vee Q_2$ у побудованому описаному таким чином базисі повинен мати дві, й лише дві, координати, що не дорівнюють нулю, тобто арність предикатів, що складають скалярне поле, дорівнює $n=d-1$, тобто $n=r+s$. Розмірність повного предикатного логічного простору знаходиться за формулою $p=k_{n+1}k_{n+2} \dots \cdot k_m$, а у випадку $|K_1|= \dots = |K_m|=k$ – за формулою $p=k^{m-n}$. Розмірність повного булевого простору дорівнює $p=t$.

Кон'юнкцією (запереченням) логічних векторів повного логічного простору є вектор цього самого простору, координати якого дорівнюють кон'юнкції (запереченню) відповідних координат векторів, що беруть участь у визначеній операції. Доведено, що кон'юнкція та заперечення логічних векторів не залежать від вибору базису. Внаслідок цього, під час проведення цих операцій, над векторами аналогічні операції проводитимуться над відповідними вершинами гіперкубів. Для векторів досконалих логічних просторів мають місце такі властивості: $I \vee g = g \vee I$, $I \wedge g = g \wedge I$; $I \vee I = I$, $I \wedge I = I$; $(I \vee g) \vee h = I \vee (g \vee h)$, $(I \wedge g) \wedge h = I \wedge (g \wedge h)$; $(I \vee g) \wedge h = I \vee (g \wedge h)$, $I \vee (g \vee h) = (I \vee g) \vee h$; $I \wedge (g \wedge h) = (I \wedge g) \wedge h$; $I \vee \bar{h} = \bar{h}$, $I \wedge \bar{h} = \bar{h}$; $\bar{I} = I$; $I \vee \bar{I} = 1$; $I \bar{I} = 0$; $\bar{0} = 1$; $\bar{1} = 0$. Враховуючи ці властивості, множину логічних векторів можна розглядати за логічне поле. Доведено, що для будь-якого базису досконалого логічного простору кон'юнкція будь-яких базисних векторів дорівнює нульовому вектору.

Висновки

Розглянуто можливості алгебраїчної інтерпретації розроблених моделей векторних логічних просторів. Показано, що логічна алгебра є абстрактним еквівалентом таких алгебр як алгебра двійкових кодів, алгебра булевих функцій, алгебра множин, алгебра ідей, реляційна алгебра, алгебра скінченних предикатів будь-якого порядку, алгебра предикатних операцій. Показано взаємнооднозначну відповідність між елементами цих алгебр при розгляді їх як логічних. Цей результат є важливим, оскільки, незалежно від вигляду, в якому подається вхідна інформація, її можна опрацьовувати засобами логічної алгебри і подавати вихідний результат також як формалізований запис елементів логічної алгебри.

Список літератури

1. Бардачов Ю. М. Дискретна математика : підруч. / Ю. М. Бардачов, Н. А. Соколова, В. Є. Ходаков ; за ред. В. Є. Ходакова. – К. : Вища школа, 2002. – 287 с.

2. Михайленко В. М. Дискретна математика : підруч. / В. М. Михайленко, Н. Д. Федоренко, В. В. Демченко. – К. : Вид-во Європейського ун-ту, 2003. – 319 с.
3. Бондаренко М. Ф. Комп'ютерна дискретна математика : підруч. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом "Комп'ютерні науки" / М. Ф. Бондаренко, Н. В. Білоус, А. Г. Руткас. – Х. : Компанія СМІТ, 2004. – 480 с.
4. Акимов О. Е. Дискретная математика // Логика, группы, графы. – 2-е изд., доп. / О. Е. Акимов. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 376 с.
5. Луцький Г. М. Основи дискретної математики : навч. посіб. / Г. М. Луцький, С. Л. Кривий, М. К. Печурін. – К. : ІСДО, 1995, – 252 с.
6. Грей П. Логика, алгебра и базы данных / П. Грей ; пер. с англ. Х. И. Килова, Г. Е. Минца. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
7. Мендельсон Е. Введение в математическую логику / Е. Мендельсон ; пер. с англ. Ф. А. Кабакова. – 2-е изд., испр. – М. : Мир, 1985. – 307 с.
8. Новиков П. С. Элементы математической логики // М. : Наука, 1973. – 399 с.

ЛОГИЧЕСКАЯ АЛГЕБРА И ОСНОВЫ МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Т. Г. Криворот

Аннотация. *Рассмотрены булева и предикатная модели векторных логических пространств. Проанализирована интерпретация элементов и операций над ними для предикатных моделей в виде гиперкубов соответствующей размерности, а также их интерпретация как естественных языковых структур, что позволяет использовать эти модели логических пространств как модели представления знаний.*

Ключевые слова: *логическая алгебра, предикатная модель, булева модель, информационные технологии, логический скаляр, логический вектор, формализация*

LOGICAL ALGEBRA AND BASIS OF THINKING MAN

T. Kryvorot

Annotation. *The article describes the boolean model and predicate logic vector spaces. Analyzed the interpretation of the elements and operations on them for predicative models in the form of appropriate dimension hypercubes and their interpretation as estestvennoyazykovykh structures that allows the use of these spaces as a logical model of knowledge representation model.*

Key words: *logic algebra, predicate model, boolean model, information technology, a logical scalar, vector logic, formalization*

**ЗАСТОСУВАННЯ В АВТОМАТИЦІ
ПІДКРІПЛЕНИХ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ ОБОЛОНОК
ПІД ДІЄЮ НЕСТАЦІОНАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

***Н. В. Майбородіна, кандидат фізико-математичних наук
В. П. Герасименко, асистент
ВП НУБіП України “Ніжинський агротехнічний інститут”
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Анотація. Подано постановку задач про вимушені коливання підкріплених еліпсоїдальних оболонок під дією нестационарного навантаження, побудовано чисельний алгоритм, наведено аналіз результатів розрахунків.

Ключові слова: підкріплені еліпсоїдальні оболонки, геометрично нелінійна теорія, нестационарне навантаження

Тонкостінні конструкції оболонкового типу становлять широкий клас об'єктів, які використовуються в сучасній автоматичній, радіоелектротехніці, радіолокації, гіроскопії та інших галузях сучасної техніки. Форма деталей радіоапаратів та автоматичних пристроїв, дзеркала, випромінювачі антен і лазерів можуть мати форму еліпсоїдальної оболонки. Найбільш дослідженими є задачі про гармонічні коливання підкріплених оболонок простої геометрії (циліндричні, конічні, сферичні) [1]. Потреби теорії та сучасної техніки, потребують розширення класу досліджуваних задач, зокрема, дослідження динамічної поведінки підкріплених оболонок більш складної геометрії [2, 4].

Мета досліджень – проаналізувати задачу про вимушені коливання дискретно підкріпленої поперечними ребрами еліпсоїдальної оболонки під дією нестационарного розподіленого навантаження.

Матеріали та методика досліджень. Складність розв'язання аналітичними методами задач для оболонок складної форми, потребує застосування чисельних підходів [3].

Оболонка постійної товщини h віднесена до гаусевої криволінійної системи координат α_1, α_2 . Процеси вимушених коливань еліпсоїдальної оболонки розглядаються в межах гіперболічної системи нелінійних диференціальних рівнянь теорії оболонок типу Тимошенка. Для деформацій і напружень використовується геометрично нелінійний варіант теорії оболонок типу Тимошенка в квадратичному наближенні [2].

При побудові математичної моделі деформування j -го підкріплюючого ребра, спрямованого вздовж осі α_2 будемо виходити з гіпотези недеформованості поперечного перерізу підкріплюючого елемента. Деформаційні співвідношення для j -го підкріплюючого ребра задано в

межах геометрично нелінійного варіанта теорії стержнів типу Тимошенка в квадратичному наближенні. Умови жорсткого контакту між компонентами вектора переміщень центру ваги поперечного перерізу j -го ребра та компонентами узагальненого вектора переміщення серединної поверхні [2].

Рівняння коливань у гладкій області та рівняння коливань на j -й лінії розриву мають вигляд [2]. Розглядаються граничні умови для вільно опертого краю в напрямку координати α_2 : $T_{11} = 0$, $T_{12} = 0$, $U_3 = 0$, $M_{11} = 0$, $M_{12} = 0$ та для жорстко защемленого краю в напрямку координати α_1 : $\bar{U}(\alpha_{10}, \alpha_2) = \bar{U}(\alpha_{1N}, \alpha_2) = 0$; $\bar{U}(\alpha_1, \alpha_{20}) = \bar{U}(\alpha_1, \alpha_{2N}) = 0$.

Рівняння коливань являють собою систему нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних по змінних s_1, s_2, t за наявності просторових розривів по координаті s_2 . Чисельний алгоритм: шукається розв'язок у гладкій області еліпсоїдальної оболонки й на лініях просторових розривів. Застосовується інтегроінтерполяційний метод побудови різницевої схем по просторових координатах та явна скінченно-різницева апроксимація по часовій координаті. Перехід від неперервної системи до скінченно-різницевої: скінченно-різницева апроксимація рівнянь у зусиллях – моментах і деформаціях [2].

При дослідженні умов стійкості різницевої рівнянь використовуються умова $\Delta t \leq 2/\omega$, де $\omega = \max(\omega_0, \omega_j)$, $j = 1, 2, \dots, J$ – максимальні частоти власних коливань відповідно обшивки та j -го підкріплюючого елемента.

Результати досліджень. Розглянуто задачу вимушених коливань поперечно підкріпленої частини еліпсоїдальної оболонки $D = \{\alpha_{10} \leq \alpha_1 \leq \alpha_{1N}, \alpha_{20} \leq \alpha_2 \leq \alpha_{2N}\}$. На підкріплену оболонку діє розподілене нормальне навантаження $P_3(\alpha_1, \alpha_2, t) = A \cdot \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)]$, де A – амплітуда навантаження, T – тривалість навантаження. У розрахунках: $A = 10^6 \text{ Па}$; $T = 50 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Умови при $t = 0$ для узагальненого вектора переміщень нульові.

Геометричні параметри конструкції:

$$\alpha_{10} = \frac{\pi}{12}, \quad \alpha_{1N} = \pi - \frac{\pi}{12}, \quad \alpha_{20} = -\frac{\pi}{2}, \quad \alpha_{2N} = \frac{\pi}{12}, \quad \frac{a}{h} = 60, \quad h_j = 4 \cdot h, \\ F_j = 4 \cdot h^2.$$

Поперечно підкріплюючі елементи розміщувалися вздовж координати α_2 в перерізах $\alpha_{1j} = \frac{7}{24} \pi + \frac{5}{24} \pi \cdot j$, $j = 0, 1, 2$.

Фізико-механічні параметри конструкції:

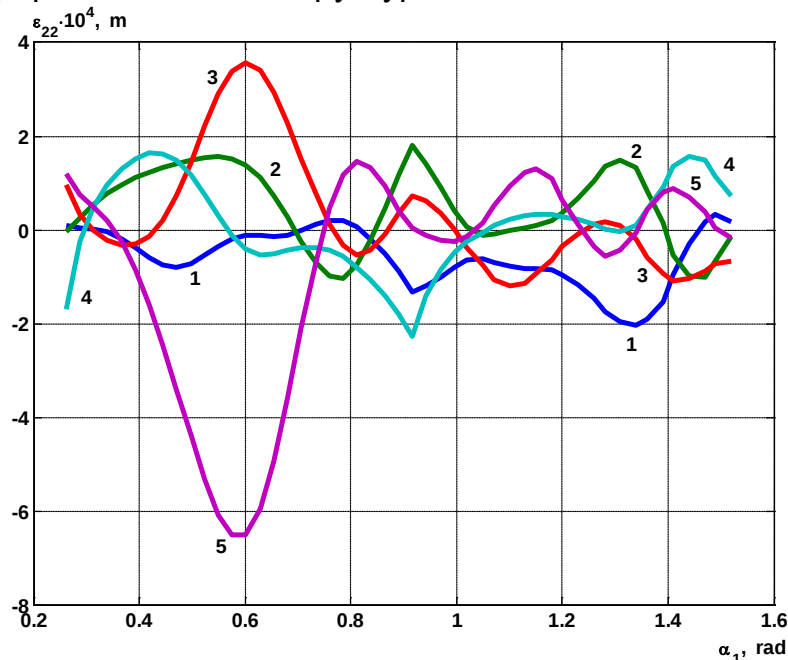
$$E_1 = 210 \text{ ГПа}, \quad E_2 = \mu E_1, \quad G_{12} = \lambda E_1, \quad G_{13} = G_{23} = \frac{E_1}{d}, \\ \rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

При цьому, λ , μ , ν_{12} приймають значення:

1. $\mu = 2$; $\lambda = 0,3$; $\nu_{12} = 0,075$; 2. $\mu = 1,35$; $\lambda = 0,215$; $\nu_{12} = 0,122$;
3. $\mu = 1$; $\lambda = 0,385$; $\nu_{12} = 0,3$; 4. $\mu = 0,741$; $\lambda = 0,159$; $\nu_{12} = 0,165$;
5. $\mu = 0,5$; $\lambda = 0,125$; $\nu_{12} = 0,15$.

Фізико-механічні параметри ребер: $E_j = E_2$, $G_j = G_{12}$, $\rho_j = \rho$.

Розрахунки проводилися на часовому інтервалі $t = 40T$. На рис. 1 приведено криві для величини ε_{22} в момент часу $t = 8T$ для вищенаведених п'яти випадків значень параметрів μ , λ , ν_{12} (з огляду на симетрію, приводяться залежності по координаті α_1 в діапазоні $\pi/12 \leq \alpha_1 \leq \pi/2$). Розглядався час досягнення величиною ε_{22} максимального значення по модулю. З приведенного графічного матеріалу можна візуально визначити місця розміщення підкріплюючих ребер та їх вплив на деформований стан структури.



Залежність величини ε_{22} від просторової координати α_1 у перерізі $\alpha_2 = 0$

Для третього варіанта (випадок ізотропії) графік ε_{22} наближається до графіка другого варіанта. Це означає, що другий варіант ортотропії відповідає ізотропному випадку. Величина максимальної деформації по модулю для п'ятого варіанта приймає значення 6,5, а для третього ізотропного варіанта 3,6, що приблизно в 2 рази більше.

Висновки

Отже, розглянуті фізико-механічні параметри значно впливають на деформований стан дискретно підкріплених еліпсоїдальних ортотропних оболонок під дією нестационарного навантаження.

Список літератури

1. Свободные колебания элементов оболочечных конструкций / [Григоренко Я. М., Беспалова Е. И., Китайгородский А. Б., Шинкарь А. И.]. – К. : Наук. думка, 1986. – 172 с.
2. Мейш В. Ф. К расчету неосесимметричных колебаний дискретно подкрепленных поперечными ребрами гибких эллипсоидальных оболочек при нестационарных нагрузках / В. Ф. Мейш, Н. В. Майбородина // Прикл. механика. – 2008. – № 10. – С. 63–73.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М. : Наука, 1977. – 656 с.
4. Mohamad S. Q. Recent research advances in the dynamic behavior of shells: 1989–2000, Part 2: Homogeneous shells // Appl. Mech. Rev. – September 2002. – Volume 55, Issue 5. P. 415–435.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АВТОМАТИКЕ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКИ

Н. В. Майбородина, В. А. Герасименко

Аннотация. *Представлена постановка задач о вынужденных колебаниях подкрепленных эллипсоидальных оболочек под действием нестационарной нагрузки, построен численный алгоритм, приведен анализ результатов.*

Ключевые слова: *подкрепленная эллипсоидальная оболочка, геометрически нелинейная теория, нестационарная нагрузка*

USE IN AUTOMATION SUPPORTED ELLIPSOIDAL SHELLS UNDER NONSTATIONARY LOAD

N. Mayborodina, V. Gerasymenko

Annotation. *The statement of problems of forced vibrations of supported ellipsoidal shells under nonstationary loads is presented. The numerical algorithm of solving is constructed and analysis of obtained results is given.*

Key word: *supported ellipsoidal shells, geometrically nonlinear theory, nonstationary load*

ВПЛИВ АДСОРБОВАНИХ НА ПОВЕРХНІ ЧАСТИНОК МОЛЕКУЛ НА ЇЇ ПОЛЯРИЗОВНІСТЬ

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. Розглянуто взаємодію електромагнітного випромінювання з металевими наночастинками та дисперсними системами на їх основі. Наведено результати досліджень впливу адсорбційного шару металевої частинки сферичної форми на її поляризованість та посилення комбінаційного розсіяння світла молекулами в зовнішньому електричному полі.

Ключові слова: *малі частинки, адсорбційний шар, поляризованість, комбінаційне розсіяння, коефіцієнт посилення*

Актуальність дослідження діелектричних та спектральних характеристик гетеросистем із металевими включеннями розміром порядку 5–15 нм зумовлена рядом властивостей цих систем та активним їх використанням у сучасних технологіях для задач діелектричної та оптичної спектроскопії поверхні, оптичного запису інформації тощо [1–4].

Мета досліджень – вивчення впливу адсорбованих на поверхні частинок атомів або молекул на її поляризованість.

Матеріали та методика досліджень. Властивості об'єктів, що звичайно вважаються однорідними, та їх відгук на дію зовнішнього електромагнітного поля описуються діелектричною проникністю $\varepsilon(\omega)$ [5, 8, 9]. Ефективна діелектрична проникність визначається в наближенні Максвелл-Гарнетта [5, 9–12]:

$$\frac{\tilde{\varepsilon} - \varepsilon_m}{\tilde{\varepsilon} + 2\varepsilon_m} = f \frac{\alpha}{r^3}, \quad (1)$$

де $\tilde{\varepsilon}$ – ефективна діелектрична проникність;

ε_m – діелектрична проникність середовища;

α – поляризованість;

f – концентрація частинок;

r – радіус включень.

У даній роботі задача взаємодії електромагнітного випромінювання з малими металевими частинками зводиться до розрахунку її

поляризованості, що залежить від частоти ω коливань електромагнітного поля [12]:

$$\alpha(\omega) = \alpha_1(\omega) + i\alpha_2(\omega). \quad (2)$$

Розглянемо дисперсну систему [7]: двошарова частинка, поміщена у вакуумне середовище. Частинка, розмір якої перевищує 2 нм і обмежений сферою радіусу R , являє собою металеве ядро, вкрите тонкою оболонкою адсорбованих на ньому молекул. Товщина адсорбційного шару описується нерівністю $d \ll R$ (R – радіус частинки), а молекули, що його утворюють – поляризованістю $\alpha_k(\omega)$ (ω – частота, k – номер молекули).

У наближенні тонкого поверхневого шару [9] та при виконанні умови $\omega R/c \ll 1$ (електростатичне наближення) поляризованість такої частинки, поділену на R^3 , представимо рівнянням [16]:

$$\frac{1}{R^3} \alpha(\omega) = \frac{\nu(\omega)}{2} + \frac{u(\omega) \alpha_o(\omega)}{1 - \alpha_o(\omega) \nu(\omega)}. \quad (3)$$

У (3) введені наступні позначення

$$\nu(\omega) = \frac{S(\omega)}{1 - S^2(\omega)/8}, \quad u(\omega) = \frac{1 + S^2(\omega)/8}{1 - S^2(\omega)/8},$$

$$S(\omega) = \frac{2 \sum_k \alpha_k(\omega) N_k}{R^3}, \quad \alpha_o(\omega) = \frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\varepsilon(\omega) + 2}, \quad (4)$$

де N_k – число молекул сорту k ;

$R^3 \alpha(\omega)$ – поляризованість металевої частинки без поверхневого шару;

$\varepsilon(\omega)$ – діелектрична проникність частинки.

Значення поляризованості уможливають визначення частоти поверхневих збуджень [9, 13] металевої кульки як із адсорбційним шаром, так і без нього. Їх спектр визначається (знаменник в (3) покладається рівним нулеві) з рівняння:

$$\operatorname{Re} \left[\frac{1}{\alpha_o(\omega)} - \nu(\omega) \right] = 0. \quad (5)$$

Розрахунок спектра поверхневих збуджень частинки без поверхневого шару проводився за формулою:

$$\operatorname{Re} \left[\frac{1}{\alpha_o(\omega)} \right] = 0. \quad (6)$$

Зауважимо, що знаючи $\alpha(\omega)$ можна знайти значення діелектричної проникності дисперсних систем із подібними включеннями (при малих ступенях заповнення) за формулою Максвелл-Гарнетта (1) [6, 8, 10].

Результати досліджень. Отримані результати дають змогу оцінювати вплив адсорбційного шару металевої частинки сферичної форми на посилення комбінаційного розсіяння F світла на адсорбованих молекулах у зовнішньому електричному полі. Фактор F більше, ніж 10^6 , і сильно залежить від розміру частинок. Звичайно, сильну залежність F від розміру частинок пов'язують із відхиленням форми частинок від сферичної.

Висновки

Проведені розрахунки свідчать, що наявність зовнішнього електричного поля приводить до зміни електродинамічних та оптичних властивостей: перерозподілу зарядів, зсуву положення піків, зменшення інтенсивності поглинання електромагнітного випромінювання та зростання інтенсивності комбінаційного розсіяння. Це дає змогу стверджувати, що при адсорбції атомів або молекул на поверхні металевої частинки відбувається також зміна люмінесценції, поглинання та ряду нелінійних ефектів. При цьому характер такої зміни залежить від параметрів дисперсної системи, частоти збудження електромагнітного випромінювання й ступеня шорсткості поверхневого шару частинки.

Список літератури

1. V. Lebedev, S. Vergeles and P. Vorobev, Optics Letters, 35, No. 5: 640 (2010).
2. E.Yu. Grishchuk, Abstr. Vseukr. conf. Chemistry, physic and technology of surface (May, 15-17, 2013, Kyiv) (Kyiv:2013) p. 205.
3. E. F. Venger, A.V. Goncharenko and M.L. Dmytruk, Optyka Malykh Chastynok i duspersnykh Seredovysch (Optics of Small Particles and Dispersed Media) (Kyiv: Naukova Dumka: 1999).
4. E.Yu.Grishchuk, Dielektrychnyi pidhid do opysu vzayemodii malyh chastynok v rozchyni elektrolitu ta pid diyau elektromagnitnogo vyprominuvannya (Dielectric approach for description of interaction of small particles in an electrolyte solution and under electromagnetic radiation.) (Thesis of Dissert. for Cand. Phys.-Math. Sci.) (Kyiv: O.O. Chuiko Institute of Surface Chemistry N.A.S.U.: (2011).
5. O.Yu.Grishchuk, L.G.Grechko, Visnyk of Kyiv University, 1, No. 2: 209 (2010).
6. O.Yu Grishchuk, N.G. Shkoda, Abstr. Vseukr. conf. Chemistry, physic and technology of surface (May, 15-17, 2012, Kyiv) (Kyiv: 2012) p. 145.
7. O.Yu. Grishchuk, L.B. Lerman, N.G. Shkoda and S.V. Shostak, Uspehi fiziki metallov, 13. No 1: 71 (2012).
8. L.G. Grechko, N.G. Shkoda and S.V. Shostak, Ukr. Fiz. Zhurnal, 47, No. 7: 694 (2002).
9. L.G. Grechko, O.Yu. Grishchuk, L.Yu. Kunits'ka, L.B. Lerman and M.A. Lyuschenko, Metallophysica, 30, No 6: 789 (2008) .
10. L.G. Grechko, V.N. Pustovit and K.W. Whites, Appl. Phys. Lett., 76, No. 14: 1854 (2000).

11. W.L. Barnes, A. Dereux, T.W. Ebbesen, Nature, 424, No. 6950: 824 (2003).
12. J.M. Pitarke, V.M. Silkin and E.V. Chulkov, Rep. Prog. Phys., 70, No. 1:1 (2007).
13. L.M. Belokrinitskaya, L.G. Grechko, E.Yu. Grishchuk, V.Ye. Klimenko and S.V. Shostak, Visnyk of Kyiv Univ., 4, No 3: 226 (2008) .

ВЛИЯНИЕ АДсорбированных на поверхности частиц молекул на ее поляризуемость

Е. Ю. Грищук, С. В. Стеценко

Аннотация. Рассмотрено взаимодействие электромагнитного излучения с металлическими наночастицами и дисперсными системами на их основе. Приведены результаты исследований влияния адсорбционного слоя металлической частицы сферической формы на ее поляризуемость и усиление комбинационного рассеяния света молекулами во внешнем электрическом поле.

Ключевые слова: *малые частицы, адсорбционный слой, поляризуемость, комбинационное рассеяние, коэффициент усиления*

INFLUENCE OF THE ADSORBED ON THE PARTICLE SURFACE MOLECULES ON THEIR POLARIZABILITY MOLECULES

O. Grishchuk, S. Stetsenko

Annotation. The interaction of electromagnetic radiation with metallic nanoparticles and disperse systems based on them. Research results of influence of the adsorptive layer of a metal spherical particle on its polarizability and strengthening of Raman scattering in external electric field are presented.

Key words: *small particles, adsorptive layer, polarizability, Raman scattering, coefficient of strengthening*

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СВЧ НАГРЕВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Ю. М. Федюшко, доктор технических наук

А. Ю. Федюшко, инженер

**Таврический государственный агротехнологический
университет**

e-mail: nni.energy@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены вопросы определения изменения электрофизических параметров диэлектриков микроволновыми технологическими установками.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, коэффициент затухания, технологический комплекс, СВЧ обработка

Известно, что изменение температуры диэлектрика приводит к изменению его электрофизических параметров, таких как комплексная диэлектрическая проницаемость, коэффициент затухания, коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и плотность. Для учета изменения этих параметров при математическом моделировании СВЧ нагрева необходимо проведение предварительных экспериментов, позволяющих выявить вид зависимости этих параметров от температуры.

Цель исследований - обоснование подхода, состоящего в сборе и обработке изменяющейся в процессе СВЧ обработки информации непосредственно в процессе функционирования микроволнового технологического комплекса.

Материал и методика исследований. Микроволновые технологические установки осуществляют специально организованное воздействие электромагнитной энергии СВЧ и КВЧ диапазонов (СВЧ обработку) на материалы, вещества и биологические объекты с целью изменения их свойств. При высокой интенсивности и большой длительности воздействия электромагнитной энергии происходит значительное повышение температуры диэлектрика с возможным изменением фазового состояния.

Проектирование и разработка универсальных микроволновых технологических установок зачастую сдерживается тем, что отсутствуют адекватные математические модели процессов распространения электромагнитных и тепловых полей в диэлектриках. Сложность ситуации заключается в том, что электрические и теплофизические параметры диэлектрика (диэлектрическая проницаемость, коэффициент затухания, коэффициент теплопроводности, скорость перемещения диэлектрика и др.), а также напряженность электрического поля изменяются при

изменении температуры. Зависимость этих параметров от температуры может быть определена, как правило, лишь экспериментально.

Однако, в реальности может оказаться, что диэлектрики, подлежащие СВЧ обработке, имеют зависимости этих параметров от температуры, отличающиеся от полученных в эксперименте. Так, например, при СВЧ обработке многокомпонентных смесей даже незначительное изменение процентного содержания входящих в нее компонентов может привести к заметному изменению зависимости этих параметров от температуры. Поэтому микроволновая технологическая установка должна отслеживать эти изменения и достаточно быстро автоматически подстраиваться.

Результаты исследований. В процессе СВЧ обработки должно осуществляться такое управление длительностью и амплитудой импульсов, подаваемых на анод магнетронов многоэлементной системы возбуждения электромагнитного поля, в результате которого будет достигнуто и будет поддерживаться требуемое распределение температурного поля в диэлектрике.

В последнем случае управление осуществляется на основе построенной математической модели, параметры которой при необходимости корректируются.

Поэтому микроволновую технологическую установку (рис. 1.) будем рассматривать в виде системы автоматического управления с адаптацией параметров математической модели по измеренным значениям параметров диэлектрика (диэлектрическая проницаемость, коэффициент затухания, скорость перемещения диэлектрика, напряженность электрического поля и др.), изменяющихся при изменении температуры диэлектрика.

Очевидно, что работа подобной микроволновой технологической установки будет носить циклический характер, при котором будут чередоваться циклы управления и циклы коррекции параметров и структуры математической модели.

Пусть после i циклов управления величина критерия рассогласования ΔT температуры диэлектрика $T_i(\vec{r})$, измеренной в блоке 4, и расчетной температуры $\tilde{T}_i(\vec{r})$, вычисленной в блоке 5, больше δ , где δ – допустимая величина погрешности математической модели. В блоке 6 формируется команда, по которой в блоке 3 отключается питание магнетрона, а в блоке 4 производится измерение диэлектрической проницаемости ϵ , коэффициента затухания α и др.

В блоке 5 по вновь измеренным значениям параметров диэлектрика вычисляется температура $\tilde{T}_i(\vec{r})$. Если величина критерия рассогласования $\Delta T < \delta$, то в блоке 6 формируется команда на включение питания магнетрона в блоке 3. Если же $\Delta T > \delta$, что возможно, например, либо при слишком большой погрешности измерений, либо за счет появления другого источника теплоты, то в этом случае после анализа

ситуации и устранения причин процесс управления и контроля может быть продолжен в соответствии с предложенным алгоритмом.

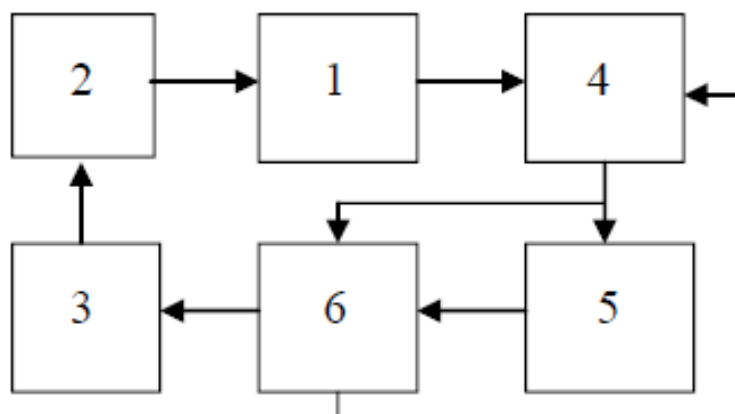


Рис.1. Обобщенная структурная схема микроволнового технологического комплекса:

1 – камера СВЧ обработки (она может быть открытого или закрытого типа, в виде отрезка прямоугольного или цилиндрического волновода заполненного диэлектриком полностью или частично); 2 – блок излучателей электромагнитного поля (электромагнитное поле в камере СВЧ нагрева может быть создано системой щелевых, рупорных или штыревых излучателей и др.);

3 – блок питания камеры (источник питания, магнетрон, работающий в непрерывном или импульсном режиме и линия передачи); 4 – блок измерения параметров диэлектрика (температуры, диэлектрической проницаемости, коэффициента затухания и др.) и электромагнитного поля; 5 – блок математического моделирования (вычислительный блок, в котором осуществляется расчет температуры диэлектрика по выбранной математической модели и измеренным значениям параметров диэлектрика, параметрам камеры СВЧ и параметрам электромагнитного поля); 6 – блок сравнения (осуществляет на основе определенного критерия рассогласования формирование команды на переход от процесса управления к процессу коррекции параметров математической модели по результатам измерения параметров диэлектрика и параметров электромагнитного поля).

При этом под контролем будем понимать формирование текущего состояния электромагнитного и теплового полей в виде непрерывных функций пространственных координат. С этой задачей тесно связана задача осуществления максимально достоверного контроля полей при ограниченном числе датчиков.

Восстановление полей в виде непрерывных функций пространственных координат по результатам измерения в дискретной совокупности точек становится возможным лишь благодаря наличию априорной информации о свойствах измеряемых полей.

Для выбора точек контроля предлагаются подходы, основанные на учете более полной априорной информации о подлежащих контролю полях.

В каждом цикле измерения эти поля описываются детерминированными, но заранее неизвестными функциями пространственных координат, изменяющимися от одного цикла измерения к другому. В связи с этим функцию $T(\vec{x})$, описывающую зависимость температурного поля от пространственных координат, будем считать реализацией из некоторого статистического ряда функций. Изложим предлагаемый подход к проектированию системы контроля температурного поля, а в последствии покажем, как его можно применить для контроля электромагнитного поля.

Зададимся достаточно большим числом базисных функций $T_i(\vec{x})$. Тогда любую реализацию можно представить с требуемой точностью в виде разложения по базисным функциям

$$T(\vec{x}) = \sum_{i=1}^1 \alpha_i T_i(\vec{x}), \quad (1)$$

где α_i – коэффициенты, имеющие случайный характер и однозначно определяющие конкретную реализацию температурного поля.

Их статистические характеристики могут быть определены, например, путем цифрового моделирования или экспериментального измерения в лабораторных условиях достаточно полного набора реализаций температурного поля. В дальнейшем предполагается, что α_i – центрированные случайные величины, распределенные по нормальному закону с заданной матрицей корреляции R .

Синтез системы контроля пространственного поля (электромагнитного или температурного) включает две основные задачи: определение координат m $\vec{x}_m$ размещения умеренного числа M датчиков и восстановление непрерывной функции $\tilde{T}(\vec{x})$ по измеренным значениям поля в точках контроля $\tilde{T}(\vec{x}_1), \tilde{T}(\vec{x}_2), \tilde{T}(\vec{x}_m)$.

Восстановление непрерывной реализации поля по значениям в точках контроля сводится к определению по некоторому правилу оценок $\tilde{\alpha}_i$ коэффициентов α_i . Восстановленная реализация поля имеет вид

$$\tilde{T}(\vec{x}) = \sum_{i=1}^1 \tilde{\alpha}_i T_i(\vec{x}). \quad (2)$$

Точность восстановления поля оцениваем следующим выражением:

$$\delta^2 = \frac{M \|T(\vec{x}) - \tilde{T}(\vec{x})\|^2}{M \|T(\vec{x})\|^2}, \quad (3)$$

где символом M обозначено усреднение по множеству реализаций подлежащих восстановлению полей.

Если функции контроля $T_1(\vec{x})$, $T_2(\vec{x})$, $T_m(\vec{x})$ образуют ортонормированную систему функций, то величина, определяющая близость функций $T(\vec{x})$ и $\tilde{T}(\vec{x})$, совпадает с величиной, характеризующей близость коэффициентов α_i и $\tilde{\alpha}_i$, так как

$$\begin{aligned} M\|T(\vec{x}) - \tilde{T}(\vec{x})\|^2 &= \iiint_{\Omega} M \left| \sum_{i=1}^1 \alpha_i T_i(\vec{x}) - \sum_{i=1}^1 \tilde{\alpha}_i T_i(\vec{x}) \right|^2 d\vec{x} = \\ &= \sum_{i=1}^1 M |\alpha_i - \tilde{\alpha}_i|^2 = M \|\alpha_i - \tilde{\alpha}_i\|^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Поэтому точность восстановления поля определяем из выражения:

$$\delta^2 = \frac{M \|\tilde{\alpha} - \tilde{\alpha}\|^2}{M \|\alpha\|^2}. \quad (5)$$

Выводы

Одновременная оптимизация координат точек контроля и алгоритма вычисления оценок представляет трудно разрешимую проблему, поэтому задачи выбора координат точек контроля и алгоритма вычисления оценок $\tilde{\alpha}_i$ коэффициентов α_i должны рассматриваться по отдельности.

Каждой реализации случайного температурного поля $T(\vec{x})$ соответствует значение плотности вероятности, характеризующее частоту появления этой реализации. То есть можно говорить о «более вероятных» и «менее вероятных» реализациях. Имея это в виду, задачу восстановления температурного поля $T(\vec{x})$ по измеренным в точках контроля значениям можно сформулировать следующим образом: среди всех непрерывных функций $\tilde{T}(\vec{x})$, имеющих в точках контроля измеренные значения, найти такую функцию $\tilde{T}(\vec{x})$, для которой значение плотности вероятности $w(\tilde{T}(\vec{x}))$ будет наибольшим.

Список литературы

1. Сили И. И. Применение информационно-энергетических излучений для угнетения репродуктивной способности колорадского жука: тезисы за материалами научно-практической студенческой конференции / И. И. Сили // Проблемы энергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2015. – С. 47 – 49.
2. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К.: Техника, 1975. – 168 с.
3. Архангельский Ю. С. Измерения в СВЧ электротехнологии: учеб. пособие / Ю. С. Архангельский, С. Г. Калганова. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2008. – 152 с.

4. Беспалов А. В. Системы управления химикотехнологическими процессами: учеб. пособие / А. В. Беспалов, Н. И. Харитонов. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. – 696 с.

5. Морозов Г. А. Низкоинтенсивные микроволновые технологии. Методы и аппаратура / Г. А. Морозов, О. Г. Морозов, Н. Е. Стахова и др.. – М.: Радио и связь, 2003 – 128 с.

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НВЧ НАГРІВУ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Ю. М. Федюшко, О. Ю. Федюшко

Анотація. Розглянуті питання визначення зміни електрофізичних параметрів діелектриків мікрохвильовими технологічними установками.

Ключові слова: *діелектрична проникність, коефіцієнт загасання, технологічний комплекс, НВЧ обробка*

MATHEMATICAL ANALYSIS OF PROCESS SHF HEATING BY TECHNOLOGICAL COMPLEXES

Y. Fedyushko A. Fedyushko

Annotation. Work is sanctified to the questions of determination of change of electrophysics parameters of dielectrics by microwave technological options.

Key words: *inductivity, fading coefficient, technological complex, microwave treatment*