

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ПРАЦІ
Таврійського державного
агротехнологічного університету

Випуск 15, Том 2

Наукове фахове видання
Технічні науки

Мелітополь – 2015

УДК 631.3

Т.3

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15., Т. 2. – 382 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 8 від 28.04.2015 р.

У збірнику наукових праць опубліковано матеріали за результатами досліджень у галузі механізації сільського господарства, енергетики та автоматизації процесів агропромислового виробництва, прикладної геометрії та інженерної графіки.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Редакційна колегія праць ТДАТУ:

Кюрчев В.М. - д.т.н., проф., ректор ТДАТУ (головний редактор); Надикто В.Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (заступник головного редактора); Діордієв В.Т. - д.т.н., проф. (відповідальний секретар); Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф.; Дідур В.А. - д.т.н., проф.; Єремеев В.С. - д.т.н., проф.; Кушнар'єв А.С. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф.; Куценко Ю.М. – д.т.н., проф.; Леженкін О. М. - д.т.н. доц.; Малкіна В.М. – д.т.н., проф.; Овчаров В.В. - д.т.н., проф.; Панченко А.І. - д.т.н., проф.; Скляр О.Г. - к.т.н., доц.; Тарасенко В.В. - д.т.н., проф.; Шацький В.В. - д.т.н., с.н.с.; Федюшко Ю.М. – д.т.н., проф.; Фурман І.О.- д.т.н., проф.; Ялпачик Ф.Ю. - к.т.н., проф.

Зарубіжні реферативні бази, до яких входить видання:

Google Scholar; РІНЦ.

Електронна версія видання <http://nauka.tsatu.edu.ua>

Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Ю.М. Куценко

Адреса редакції: ТДАТУ

просп. Б. Хмельницького 18,

м. Мелітополь Запорізька обл.

72312 Україна

ISSN 2078-0877

**© Таврійський державний
агротехнологічний університет, 2015**

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 62-503.56:621.3:631.11

АВТОМАТИЗАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Лисенко В.П., д.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044)527-82-22

Анотація - у статті приведено огляд наукових робіт, що проводяться на кафедрі автоматики і робототехнічних систем ім. академіка І.І.Мартиненка за останні 15 років.

Ключові слова: автоматизація, біотехнологічний об'єкт керування, нейромережа.

Кафедра автоматики та робототехнічних систем ім. академіка І.І.Мартиненка була створена в 1974 р. видатним вченим **І.І.Мартиненком**. Її основним науковим напрямом діяльності було розробка систем електрифікації та автоматизації біотехнологічних об'єктів. Спочатку це були системи стабілізації із найпростішими, як правило, алгоритмами керування – позиційними, що пояснювалось значною інерційністю об'єктів сільськогосподарського призначення і надзвичайно дешевими енергоносіями та потребою отримати максимальну кількість продукції (максимальна продукція могла бути отриманою за умов стабілізації технологічних параметрів, котрі за результатами досліджень біологів, забезпечували максимальну продуктивність біологічної складової біотехнологічного об'єкта).

Проте наприкінці попереднього тисячоліття ситуація почала кардинально змінюватись. Енергоносії почали стрімко дорожчати і їх доля у структурі собівартості продукції почала зростати швидкими темпами. Приватні підприємства, а такими почали ставати промислові птахофабрики, тепличні комбінати, розпочали цікавитись енергозберігаючими технологіями і це миттєво відобразилось на змісті наукових досліджень, що проводились на кафедрі. Актуальними стали системи, що надавали можливість суттєво економити енергетичні ресурси. До таких у першу чергу належать оптимальні. Першим на кафедрі розпочав роботу щодо створення оптимальних систем керування **Б.Л.Головінський**, котрий проводив дослідження шахтної сушарки як об'єкта керування за умов, що збурення на неї носять стохастичний

характер. Ним були отримані результати, що в подальшому використовувались і для вивчення інших об'єктів.

Важливі наукові здобутки щодо розробки оптимальних систем керування окремими технологічними процесами були отримані **В.Л.Ботвіним** [1,2], котрий дослідив пташник як складний біотехнологічний об'єкт і запропонував спеціалізований алгоритм стиснення інформації, що надало суттєву економію оперативної пам'яті при реалізації оптимальних алгоритмів керування (для реалізації оптимального алгоритму керування використовувався метод аналітичного конструювання регуляторів). Ним же було запропоновано метод адаптації параметрів динамічної моделі до реальних властивостей технологічного процесу в умовах функціонування системи.

Тривале дослідження динамічних властивостей біотехнологічних об'єктів (на прикладі пташника) показало, що у процесі експлуатації такі об'єкти суттєво змінюють свої властивості. Оскільки динамічна модель виробництва промислових яєць для реалізації оптимального алгоритму керування відіграє надзвичайно важливу роль, поставила наукова задача постійної адаптації математичної моделі до реального об'єкта. Цю задачу було вирішено **І.М.Болботом** [3]. Спрощену структуру такої системи показано на рис.1. Система в процесі експлуатації пташника уточнює параметри математичної моделі виробництва яєць та забезпечує максимізацію прибутку за рахунок перерахунку технологічних параметрів і реалізації їх як нових уставок локальних регуляторів.

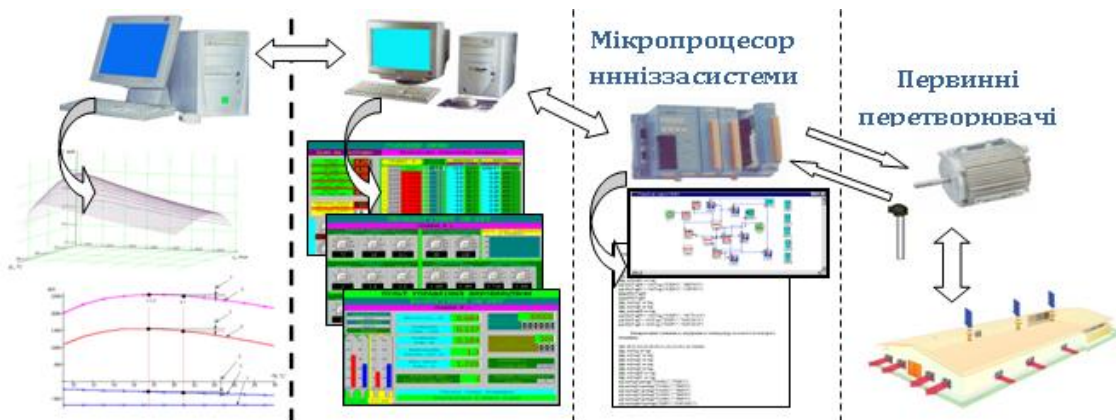


Рис. 1. Спрощена структура системи керування виробництвом продукції птахівництва.

Проте описана система мала і суттєві недоліки. Математична модель не враховувала значні технологічні обмеження, в умовах яких функціонувала сама система. Цей недолік був ліквідований **М.О. Русиняком** шляхом використання для досягнення максимального прибутку у виробництві яєць птиці у промисловому пташнику ме-

тоту нелінійного програмування [4] (невизначені множники Лагранжа). Реалізація такої системи показала її суттєву перевагу перед традиційними алгоритмами стабілізації навіть за умов використання сучасних технологій.

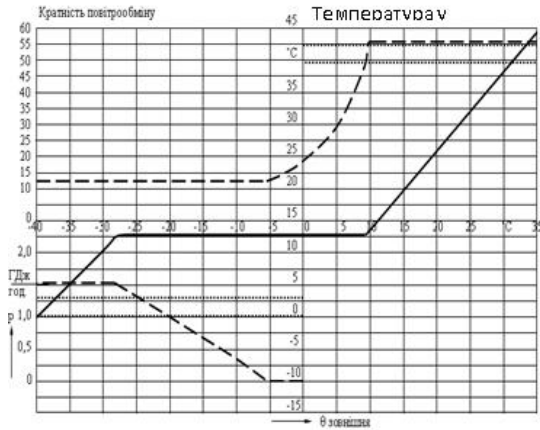


Рис. 2. Статична характеристика пташника.

Значене надало можливість використати нетрадиційні методи досліджень для пошуку алгоритмів, що максимізують прибуток виробництва. **Б.Л.Голуб, В.Л.Щербатюк** [5, 11] використали для цієї мети теорії випадкових процесів, ігор і статистичних рішень. Природні збурення у вигляді температурних змін були класифіковані у вигляді певних образів, які можливо було ідентифікувати та передбачати. Це дало можливість створити так звану платіжну матрицю (рис. 3) та аналізувати можливі стратегії керування і наслідки їх застосувань і, в кінцевому варіанті, вибрати за певними критеріями найкращий варіант із можливих. Вибір оптимальної стратегії керування здійснюється шляхом аналізу платіжної матриці за допомогою критерію Гурвіца.

Він забезпечує отримання середньозваженого прибутку з невеликими ризиками, виходячи з умови

$$Hu = \max_i (\chi \max_j a_{ij} + (1 - \chi) \min_j a_{ij}),$$

де χ – коефіцієнт оптимізму, який може набувати значень від 0 до 1.

A_i	Π_j			
	Π_1	Π_2	...	Π_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Рис. 3. Платіжна матриця.

Описані системи функціонують без врахування особливостей біологічної складової біотехнологічного об'єкта та природніх збурень у вигляді температури, вологості, тощо. Окрім того, дослідження статичних характеристик технологічних складових біотехнологічного об'єкта (наприклад, пташника) показало, що потужностей виконавчих механізмів часто не вистачає для забезпечення таких значень технологічних параметрів, котрі максимізують виробництво продукції (рис.2).

Утилізація стоків тваринницьких промислових комплексів – важлива проблема для цілих регіонів України. Використовують з цією метою різноманітні технологічні комплекси. Заслужують на увагу електротехнічні, оскільки дозволяють інтенсифікувати процес очистки в потоці. Проблема полягає у створенні системи автоматичного керування таким процесом. Ця наукова задача була вирішена **В.М.Штеною** [6]. В основі розробленої ним системи була гібридна нейромережа, котра в умовах невизначеності показала здатність забезпечувати ефективну роботу системи.

Споруди закритого ґрунту – енергонасичені об'єкти. У структурі собівартості їх продукції енергетика становить до 70%. Окрім того, як і пташники, вони вміщують біологічну складову, яка реагує на температуру, вологість, газовий склад атмосфери, освітленість, тощо. Для таких об'єктів особливо важливо мінімізувати енергетичні витрати, оскільки їх доля в структурі собівартості значна. Для прогнозування природних збурень у вигляді змін температури використали нейромережу зі структурою – багатошаровий перцептрон. Результати прогнозу дали задовільний результат із точністю не менше 4%. Сонячну радіацію із достатньою для формування стратегій керування точністю (похибка не перевищує 5%) можна прогнозувати із допомогою нейромереж, використовуючи алгоритми фільтрації Гільберта-Хуанга та генетичний оптимізації структури самої мережі [7, 12] (**В.М.Штена, А.О. Дудник**).

Використання нейромережі Кохонена суттєво спростило формування платіжної матриці, котра є основою для прийняття оптимального рішення. Функціональна структура розробленої системи представлена на рис.3. Її випробування підтвердило вищу ефективність у порівнянні із традиційними системами стабілізації (затрати енергії зменшились на 18%).

Існуючі технології вирощування рослинної продукції в теплицях передбачають використання обмеженої інформації про стан атмосфери, фітостан самих рослин (особливо стосовно відповідності їх якості стандарту вирощування). Зважаючи на зазначене, запропоновано для детального аналізу стану атмосфери теплиці (температури, відносної вологості, загазованості), освітленості, якості рослинної продукції використовувати інтелектуальний роботизований електротехнічний комплекс (рис.4).

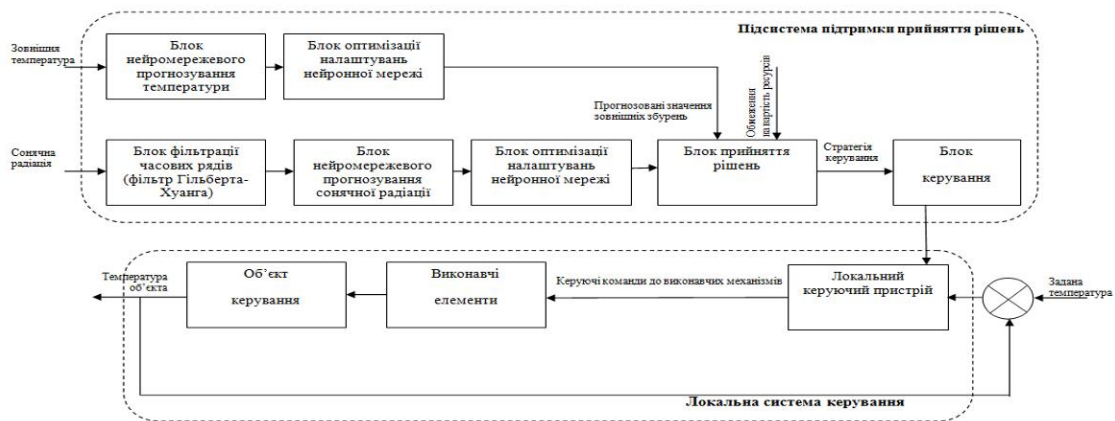


Рис. 3. Функціонально-структурна схема інтелектуальної системи керування процесом вирощування томатів у теплицях.

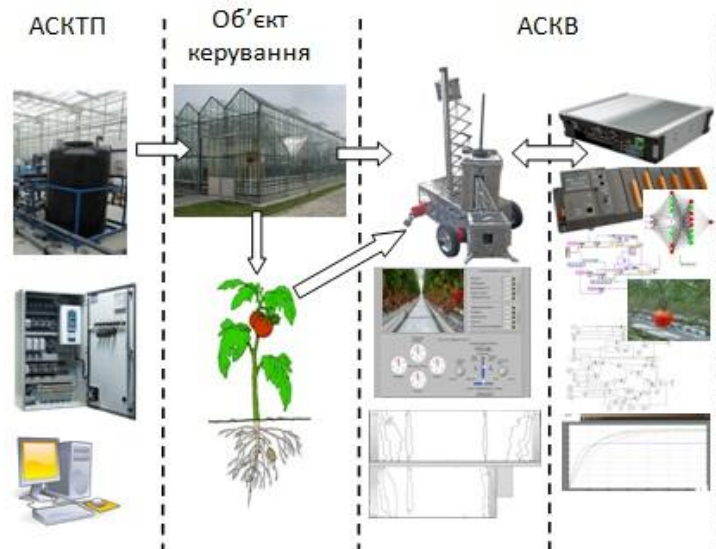


Рис. 4. Інтелектуальна система керування виробництвом у спорудах закритого ґрунту із використанням роботизованого комплексу.

Така система дозволяє на додаток до попередньої використовувати в якості зворотного зв'язку якість рослинної продукції. Цю інформацію, окрім стану атмосфери, фіто стану рослин, буде надавати роботизований комплекс, що рухається, використовуючи технологічні направляючі. Автоматизована система сформує стратегії керування електротехнічними комплексами теплиці, що дозволять максимізувати прибуток виробництва, враховуючи кон'юнктуру ринків продукції, енергетичних ресурсів та на основі результатів аналізу природніх збурень [8] (Т.І. Лендєл, І. І Чернов).

В умовах енергетичної кризи варіантом вирішення проблеми є використання біодизеля, коли в якості висхідного матеріалу викорис-

товується масло ріпаку. На кафедрі розроблена технологія інтенсивного видалення із ріпакового насіння олії шляхом його індукційного нагріву [9] (*Комарчук Д.С.*). Технологічні режими забезпечує система автоматичного керування, в основі якої – нейромережа. Система показала за результатами виробничих випробувань високу ефективність і надійність (рис.5).

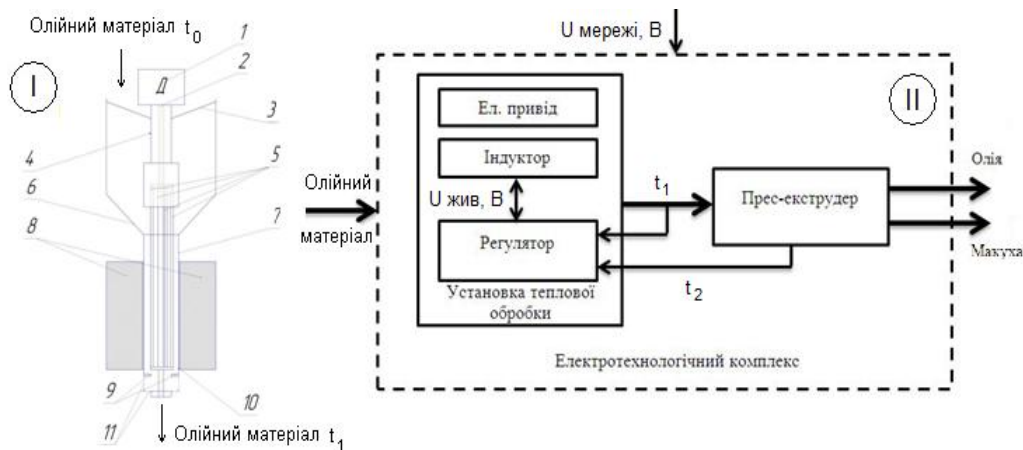


Рис. 5. Електротехнологічний комплекс з системою автоматичного керування для теплової обробки зерна ріпака при видаленні олії:

I – індукційна установка теплової обробки дисперсних матеріалів, де: 1 – двигун; 2 – вал; 3 – опори; 4 – захисний циліндр;

5 – феромагнітні стрижні; 6 – накопичувальний бункер; 7 – кожух; 8 – індуктор; 9 – датчики температури; 10 – теплоізоляційний матеріал; 11 – вивідний отвір.

II – функціональна схема електротехнологічного комплексу видалення олії з попередньою тепловою обробкою.

Обмежене видобування природного газу в Україні призводить до пошуку його альтернативних джерел. Такими джерелами, у першу чергу, можуть бути відходи промислового тваринництва. Окрім того, вирішується проблема їх утилізації. На кафедрі під керівництвом професора **С.А. Шворова** здійснюється розробка систем автоматизації таких технологій (рис.6) [10].

Групою науковців синтезуються моделі та алгоритми інтелектуальної системи управління процесом пошуку та збирання органічної сировини, що дозволить підвищити ефективність збирально-транспортних робіт та процесу переробки органічних відходів

$$S = C_u - M - B_i - R_i - P \rightarrow \max, \quad (2)$$

де: C_u – вартість отриманого біогазу та добрив; M – витрати на використання технологічних та транспортних машин, грн.; B_i – умовно-постійні витрати, що відносяться до збирального процесу (паливо, те-

хнічне обслуговування, тощо), грн.; R_i – витрати на переробку, грн.; P – витрати продукції, грн.

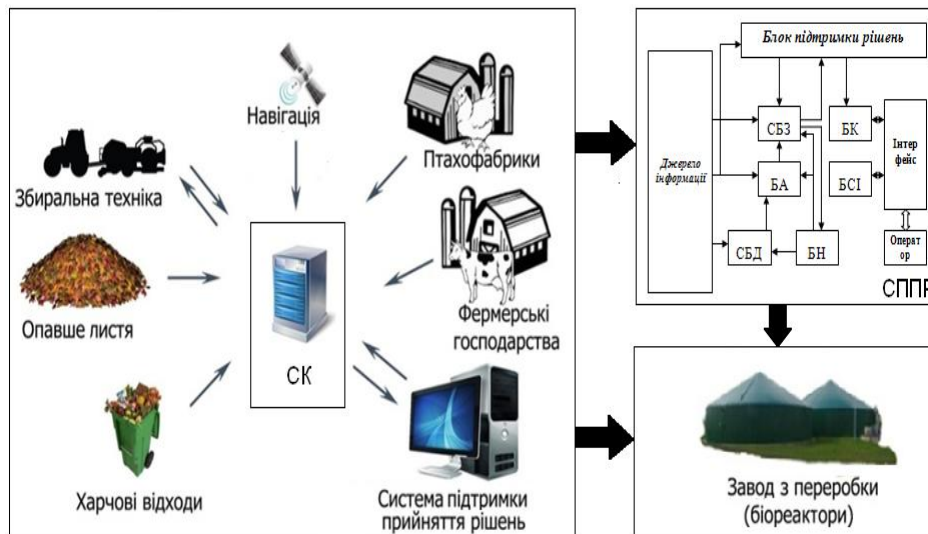


Рис. 6. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при керуванні процесами пошуку збору та переробки органічної сировини:

СК – система керування; СППР – система підтримки прийняття рішень; СБД – ситуативна база даних, СБЗ – спеціалізована база знань, БА – блок аналізу, БН – блок навчання, БК – блок коментарів, БСІ – блок синтезу інформаційної моделі.

Широкий клас електроприводів, що використовуються в механізмах сільськогосподарського призначення і є основними споживачами електричної енергії, мають стохастичні моменти навантаження. Підвищити ефективність їх роботи, тобто мінімізувати енергетичні втрати, можливо за рахунок створення замкнутих систем із статистично оптимальними регуляторами. Доцентом кафедри **Шурубом Ю. В.** [13] на прикладі системи «перетворювач напруги – асинхронний двигун» розроблено методіку синтезу таких регуляторів за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки регулювання параметру, що стабілізується. Моделювання роботи електроприводу прямої дробарки зерна при застосуванні статистично оптимального регулятора показало збільшення циклових показників енергоефективності електроприводу порівняно із електроприводами без регулятора, таких як цикловий ККД (на 8-12%) та коефіцієнт потужності (на 10-14%), та зменшення дисперсії вихідних параметрів електроприводу – електромагнітного моменту, струму, швидкості (на 60-70%), що свідчить про суттєву фільтрацію оптимальним регулятором високочастотних складових збудження (рис.7) та збільшує в цілому надійність запропонованої системи.

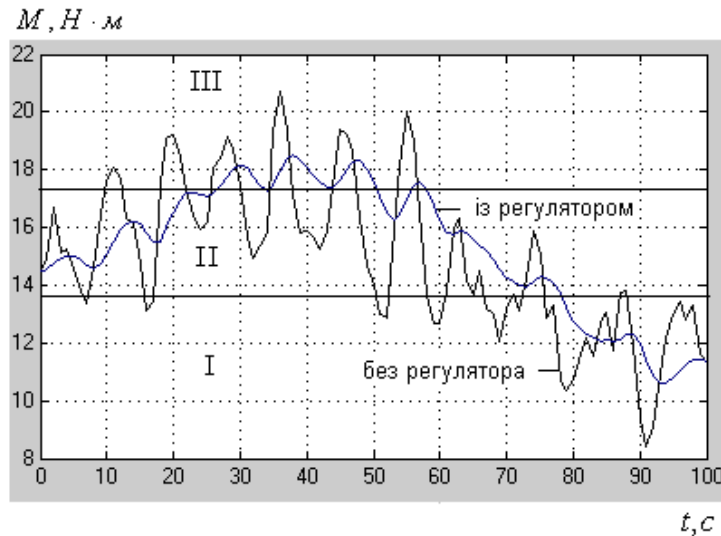


Рис. 7. Часові діаграми зміни електромагнітного моменту електроприводу.

Важливою для України проблемою є створення Єдиної національної синхронізаційної системи (ЄНСС), що дозволить забезпечити можливість високоефективної передачі національної шкали координованого часу споживачам з використанням сучасних і перспективних IP-мереж і створює умови для широкомасштабного, в межах кордонів країни, застосування єдиного обліково-звітного часу. Опікується вирішенням цієї проблеми на кафедрі, результати котрої є цікавими не лише для цивільного життя, а й для Збройних Сил України, професор **Коваль В.В.**[14] (рис. 8).

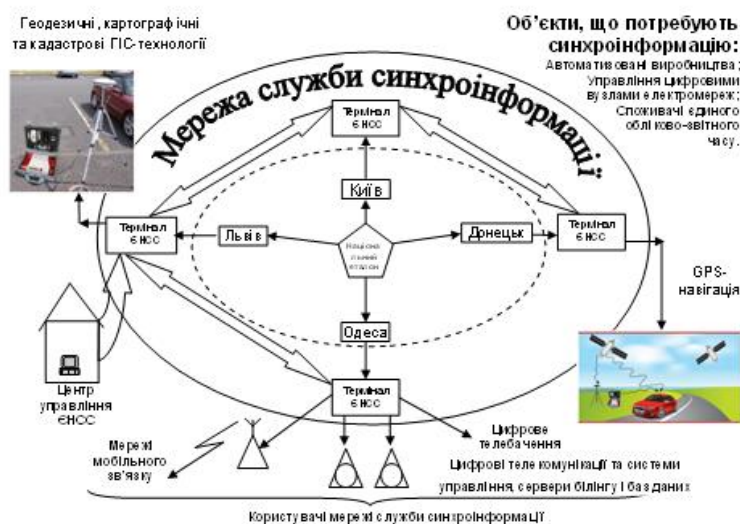


Рис. 8. Структура Єдиної національної синхронізаційної системи України.

Список використаних джерел

1. Лисенко В. П. Оптимальне управління об'єктами із значним часом чистого запізнення / В. П. Лисенко, В. Л. Ботвін // Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Меха-

- нізація сільськогосподарського виробництва». – 1999. – Т. 6. – С. 314–320.
2. *Лисенко В. П.* Адаптивний алгоритм формування вибірки / *В. П. Лисенко, В. Л. Ботвін* // Аграрна наука і освіта. – 2000. – № 1. – С. 146–149.
 3. *Лисенко В.П.* Особливості пр. розрахунках оптимальної температури в пташнику з напільним утриманням птиці / *В. П. Лисенко, І. М. Болбот* // Аграрна наука і освіта / 2005, т.5. - №5/6. – с.96 - 99.
 4. *Лисенко В. П.* Використання методу Лагранжа для визначення оптимальних параметрів мікроклімату в промисловому пташнику / *В. П. Лисенко, М. О. Русиняк* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 2(7). – С. 75–83.
 5. *Лисенко В. П.* Адаптивне енергоощадне управління умовами утримання біологічних об'єктів в агропромислових спорудах з використанням прогнозування збурень та методів теорії ігор. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». / *В. П. Лисенко, В. Л. Щербатюк.* – Луцьк, 2010. Випуск 27. –с.177-182.
 6. *Лисенко В. П.,* Синтез енергоефективної адаптивної системи керування електрокоагуляційною очисткою стічних вод птахівничого комплексу на основі гібридних нейронних мереж / *В. П. Лисенко, Штена В. М.* // Аграрна наука і освіта. – 2007.- №1(14). – с.37 – 40.
 7. *Лисенко В. П.* Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища / *В. П. Лисенко, Н. А. Заєць, В. М. Штена, А. О. Дудник* // Біоресурси і природокористування. – 2011. – Т. 3, № 3–4. – С. 102–107.
 8. *Лисенко В. П.* Робототехнічна система фітомоніторингу в тепличному господарстві / *В. П. Лисенко, В. В. Козирський, І. М. Болбот, О. М. Болбот, І. І. Чернов, Ю. О. Батанов* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166, Ч. 3. – С.93–98.
 9. *Кондратенко І. П.* Обґрунтування еквівалентних геометричних параметрів для розрахунку циліндричних індукторів некругового перерізу / *І. П. Кондратенко, В. П. Лисенко, Д. С. Комарчук* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2013. – № 184, Ч. 2. – С. 128–135.
 10. *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. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_3_28.pdf.

11. Лисенко В. П. Природні збурення біотехнічних об'єктів, їх моделювання та прогнозування / В. П. Лисенко, Б. Л. Головінський, В. М. Решетюк, В. М. Штепа, Н. А. Заєць, В. Л. Щербатюк, А. О. Дудник. – К. : НУБіП України, 2014. – 112 с.
12. Лисенко В. П. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм / В. П. Лисенко, В. М. Решетюк, В. М. Штепа, Н. А. Заєць, В. О. Мірошник, А. О. Дудник. – К. : НУБіП України, 2014. – 335 с.
13. Шуруб Ю. В. Статистична оптимізація регульованих за напругою асинхронних електроприводів / Ю. В. Шуруб // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5 – С.116-118.
14. Кривуца В. Г. Системи управління національною інформаційно-комунікаційною інфраструктурою: Монографія / Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Кільчицький Є. В., Коваль В. В., Костік Б. Я., В. П. Лисенко, В. Ф. Олійник, В. В. Поповський, В. О. Слюсарь, О. М. Ходзінський // - Київ.: «ЦП «Компринт», 2013. – 310 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Лысенко В.П.

Аннотация - в статье приведен обзор научных работ, проводимых на кафедре автоматизации и робототехнических систем им. академика И.И.Мартиненка за последние 15 лет.

AUTOMATION BIOTECH FACILITIES

V. Lysenko

Summary

In the article the review of scientific work conducted at the Department of Automation and robotics systems to them. Academician I. I. Martynenka the last 15 years.

УДК [631.171:621.3]=11

ELECTROHYDRODYNAMIC DRYING: ENERGY AND QUALITY ASPECTS

Martynenko A.I., PhD.

Dalhousie University, Department of Engineering Nova Scotia, Canada.

Tel: (902) 893-6696, E-mail: alex.martynenko@dal.ca

Summary - in this study, effects of EHD on drying rate, energy consumption and color degradation of apple slices were studied. High voltage significantly increased drying rate by 1.5 to 4 times at high (5m/s) and low air velocity, respectively. Effect of EHD on color was insignificant at voltages below 10 kV, but higher voltage intensified progressively color degradation. Energy, used in EHD drying, was negligibly small (1-2%) as compared to the total energy consumption of AC/DC converter.

Keywords: EHD, convective drying, apple, color, energy efficiency.

Introduction. Canada is a major supplier of dried apple slices with premium quality on the world market (Beaudin, 2005). The purpose of drying is to provide desirable texture and reduce water activity to the level securing long shelf-life of dried fruit (Krokida et al., 2003; Vega-Mercado et al., 2001). Convective apple slice drying has been thoroughly studied (Magee and Wilkinson, 1985; Sacilik et al., 2006; Figiel, 2007; Pakowski et al., 2012; Zarein et al., 2013) in the range of temperatures from 40 to 90°C. Unfortunately, hot air drying of apples accelerates color and aroma degradation and may also lead to undesirable case hardening (Martynenko and Janaszek, 2014). Therefore, in the last decade significant efforts were made towards research and development of alternative technologies for apple slice drying, using microwaves (Andres et al., 2004; Figiel, 2007), infrared (Nowak et al., 2004) or vacuum freeze drying (Reyes et al., 2011). However, none of these technologies can satisfy industry requirements for high quality product and low energy consumption. This obstacle initiated research of hybrid apple drying technologies, such as combination of microwave and freeze drying (Huang et al., 2009), ultrasound and infrared (Brncic et al., 2010), heat pump and vacuum-microwave (Chong et al., 2014) and others. Effect of hybrid drying on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices is well documented (Huang et al., 2012). However, all aforementioned technologies are still on the research stage.

Since hot air drying is the only option commercially available, industry expressed interest in the development of efficient non-thermal technology. One of the potential candidates is electro hydrodynamic (EHD) technology, which applies high voltage to enhance single-phase convective heat and mass transfer (Lai and Lai, 2002). Previous research showed advantages of EHD technology for drying of biological materials, such as potato, apple, tomato, mushroom slices, spinach, rapeseed, wheat, okara cake (Singh et al., 2012). However, the only publication on EHD apple drying (Hashinaga et al., 1999) had very low practical impact, because of limited range of experimental conditions and randomly chosen design parameters. Recent research showed advantages of proper electrode configuration and the use of direct current (DC) over alternating current (AC). Efficient corona wind can be obtained by applying a DC high voltage between two electrodes with significantly different radii of curvatures, such as pin-to-plate configuration (Fig. 1).

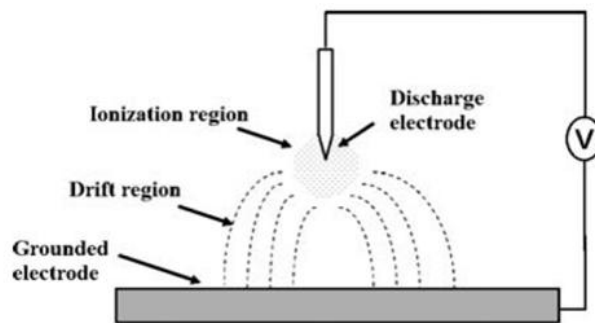


Fig. 1. Corona discharge between pin and plate.

The high electric field strength at the vicinity of the discharge (corona) electrode causes gas ionization and drifting air ions to the opposite (grounded) electrode, contributing to the formation of a space charge and an electric current flow between both electrodes (Gourdine, 1968). This current, called sometimes “corona wind”, “ionic wind” or “low-density plasma” creates dipole polarization and electrophoretic forces in the material (Allen and Karayiannis, 1995). Effect of polarization in electric field was observed for both water (Isobe et al., 1999) and protein molecules (Xue et al., 1999). It should be noted, that EHD effect could be observed only above corona initiation voltage and below breakdown voltage (Good enough et al., 2007).

Despite of various hypotheses about mechanisms of EHD drying, there is a consensus that major driving force is electric field strength in kV/cm, calculated as voltage (kV) divided by the distance between electrodes (Ahmedou et al., 2009). It was found that the drying rate increased with the increase of electric field strength through either increased voltage or decreased gap (Dalvand et al., 2014). For example, wheat drying with multiple-needle electrode showed enhancement of drying rate by 1.7, 2.0 and

2.1 at 5, 7.5 and 10kV/cm, respectively (Cao et al., 2004). Another example is rapeseeds drying, where multiple-needle electrode revealed enhanced drying rate by 1.78, 2.11 and 2.47 times at 4, 4.5 and 5 kV/cm, respectively (Basiry et al., 2010). It should be noted that the maximum field strength in EHD is limited by air conductance.

There are numerous evidences on the effect of electrode geometry on EHD performance. A comparison of electrode shapes showed that a sharp tip of the sewing needle electrode was more effective than thick copper wire with a blunt point (Hashinaga et al., 1999). A single-needle electrode enhanced drying rate of potato slabs rate by 2.1-2.5 times (Chen et al., 1994), whereas a multiple-needle electrode accelerated drying rate of apple slices by almost 4.5 times (Hashinaga et al., 1999). Similar conclusion about positive effect of multiple-needle as compared to one-needle electrode was reported by Lai and Sharma (2005). With respect to optimal number of needles, interesting results were reported by Bajgai and Hashinaga (2001a). Number of needles had no effect on drying of spinach at constant rate period; however, the effect became significant ($p < 0.01$) when moisture content decreased below 80% (wb). In contrast, Dalvand et al. (2013) found that increasing of needle number from 1 to 17 consistently decreased drying rate. These contradictory findings require further experimental research.

The effect of drying conditions, in particular air temperature and velocity on drying rate was studied by Cao et al. (2004) and Ahmedou et al. (2009). In experiments with 300g agar gel samples with 98% of water, it was demonstrated that efficiency of EHD drying significantly depended on air velocity (Ahmedou et al., 2009). To maximize efficiency of EHD drying at a small electrode gap they suggested low air velocity, while at a large electrode gap high air velocity was recommended. The conclusion about negative effect of forced convection on EHD performance is in good agreement with results, obtained by other researchers (Dalv and et al., 2014; Balcer and Lai, 2004). Airflow significantly decreased energy efficiency of EHD drying because of at least two reasons: (i) concurrent effect of airflow on ionic wind, resulting in partial or full suppressing the electrohydrodynamic effect; (ii) increased energy consumption by air blower. Combined effect of temperature and electric field characteristics was studied by Cao et al. (2004). Experimental results showed consistent drop of EHD performance with increasing of temperature from 20°C to 50°C (Cao et al., 2004). Decrease in EHD efficiency with temperature might be related to non-Fickian mechanism of drying with negligible effect of thermodiffusion. This hypothesis is supported by the fact that temperature can enhance EHD drying if the gradient of heat flux coincides with the gradient of electric field (Wong and Lai, 2004).

The effect of EHD drying on the food quality attributes was studied by several researchers (Xue et al., 1999; Hashinaga et al., 1999; Bajgai et al., 2001a, 2001b, 2006; Palanimuthu et al., 2009; Basiry et al., 2010; Esehaghbeigy et al., 2011, 2012; Dutta et al., 2012; Bai et al., 2012, 2013; Singh et al., 2013). It was found that EHD drying resulted in lesser color degradation of apples (Hashinaga et al., 1999), spinach (Bajgai and Hashinaga, 2001a), Japanese radish (Bajgai and Hashinaga, 2001b), emblic fruit (Bajgai et al., 2006), tomato slices (Esehaghbeigy et al., 2011), mushrooms (Dutta et al., 2012), as compared to oven or ambient air drying. The EHD effect on shrinkage was documented for apple slices (Hashinaga et al., 1999), Japanese radish (Bajgai and Hashinaga, 2001b), tomato slices (Esehaghbeigy et al., 2011), mushrooms (Dutta et al., 2012), sea cucumber (Bai et al., 2013). The general consensus is that EHD provides less shrinkage as compared to oven or ambient air drying. Specific effect of EHD on shrinkage is related to low-temperature drying, which results in less structural stresses. No curling, bending of slices or case hardening in EHD drying was observed. Superior hardness, reported by Esehaghbeygi (2012); Dutta et al. (2012); Singh et al. (2013) along with better rehydration ability (Bajgai and Hashinaga, 2001b; Dutta et al., 2012) could be explained by minimal effect of EHD drying on food microstructure.

Energy efficiency of EHD drying remains the most controversial issue, because it depends on multiple-design parameters and energy consumption record. Usually, energy efficiency is estimated through specific energy consumption, which refers to energy used for evaporation of kg of water (kJ/kg) (Kudra, 2004). Most of researchers claim lower energy consumption of EHD as compared to ambient or hot air drying (Lai and Lai, 2002; Lai and Wong, 2003; Balcerand Lai, 2004; Wong and Lai, 2004; Lai and Sharma, 2005; Cao et al., 2004; Goodenough et al., 2007; Ahmedou et al., 2009; Esehaghbeygi et al., 2011; Bai et al., 2011; Karami et al., 2012; Singh et al., 2012; Bai et al., 2012; Bai et al., 2013; Dinani et al., 2014; Dalvand, 2014). It was found that the most energy efficient was a single-needle electrode with positive DC voltage in the range 9-11 kV (Lai and Wong, 2003). Increasing of voltage resulted in progressive increasing of current, which was proportional to the squared voltage (Goodenough et al., 2007). Although high current accelerated drying rate, it decreased energy efficiency of EHD drying (Lai and Sharma, 2005). These authors pointed on at least three factors, which could negatively affect energy efficiency: multiple-needle electrode configuration, negative polarity and high voltage (Lai and Sharma, 2005). Effects of other factors, such as temperature, air pressure, humidity and modified atmosphere, require careful examination.

While the basic corona effects and their applications have been discussed for more than two decades, the whole process of EHD drying of biomaterials is rather complex and thus far from complete understanding.

This research aimed to study effects of EHD on apple drying rate, color degradation and energy efficiency with the goal of further optimization for the industrial scaling.

Materials and Methods.

Materials. Apple (*Malus Domestica*) variety McIntosh were purchased from a local farmer market in Truro, Canada, in August 2014 and stored in a cooler at 9°C. Three hours before each drying experiment, the required number of apples were removed from the cooler, kept under the room temperature and then cut into slices with 8 ± 0.5 mm thickness and average 42 ± 0.5 mm diameter. Initial moisture content of apple samples was in the range from 11.12 to 7.12 g/g (db). In each experiment we used three slices in a single layer touching each other, forming equilateral triangle with 73 mm side. This configuration allowed uniform exposure of all slices to ionic wind.

Experimental Apparatus

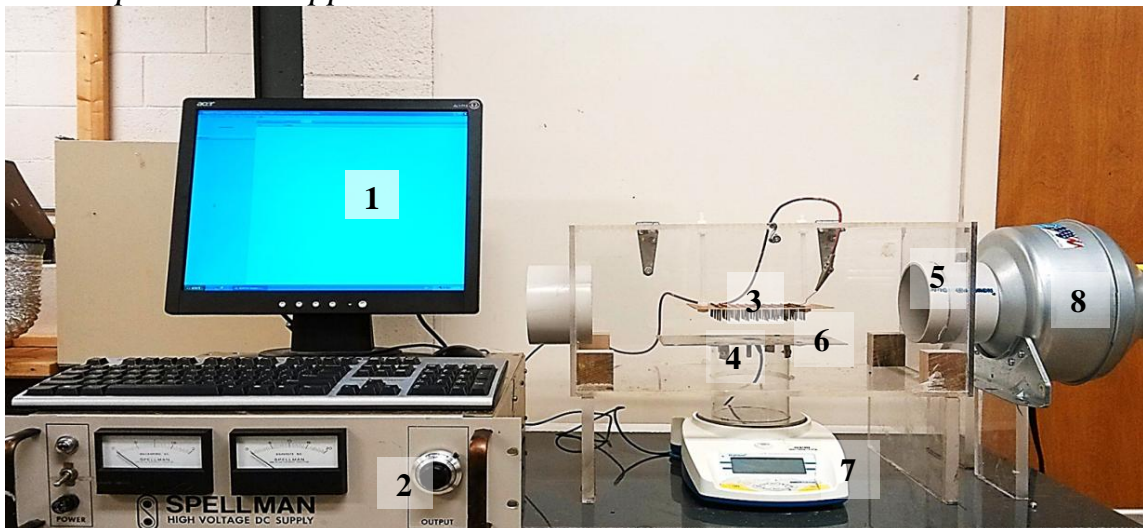


Fig. 2. Experimental setup

(1-desktop computer, 2-AC/DC high voltage converter, 3-electrode with multiple needles, 4-grounded plate-type electrode, 5-drying chamber, 6-sample place, 7-digital balance, 8-air blower)

A small-scale convective chamber for EHD drying (Fig. 2) consisted of a multiple points-to-plate electrode, real-time mass measurement system, an industrial blower (Fantech, Model K4, Canada), and a AC/DC high voltage converter (SPELLMAN, Model RHR20P10/FG/RC, USA). The $40\times 20\times 20$ cm drying chamber was made from transparent plastic, leaving two air vents at 10.2 cm in diameter on both sides of the chamber. Air velocity was regulated by the blower. The multiple-point discharge electrode 10×9 cm was formed from 1.5 cm long sharp needles located in the nodes of the rectangular grid arranged in 10×9 rows with 1 cm square cells. This electrode was connected to positive pole of the high voltage converter. The grounded 20×10 cm aluminum plate electrode was connected to the ground

of the high voltage power unit. The range of voltage was adjustable from 0 to 20 kV, forming the corona wind between these two electrodes. In all experiments the applied voltage was set below the electric breakdown to avoid avalanche ionization and arcing. Both the applied voltage and current between the electrodes were displayed on the control panel of the high voltage converter.

Drying Experiment. The effect of high voltage electric field on the apple's drying rate and color change were evaluated from drying experiments at temperature of 21 ± 1 °C. The discharge gap between discharge and grounded electrodes was set constant at 2.5 cm. The initial mass of fresh apple slices (in the range from 11.50 to 14.65g) was measured before placing them in a single layer on the center of the aluminum plate. In our study we used the two factors factorial experimental design with repeated measurements. Voltage was set at four levels: 0, 5, 10 and 15kV. Superficial air velocity was set at three levels: 1.0, 3.0 and 5.0m/s as measured by a thermo-anemometer (Model HD300, Extech Instruments, USA). Each combination of voltage and air velocity was repeated three times. Duration of each experiment was 10 hours with air convection and 35 hours without convection. The pictures of dried apple samples were captured by a digital CCD camera (Model Oscar F-810C IRE, Canada) with light intensity of approximately 395 lux and recorded by imaging software (Vision Assistant 8.5, National Instruments, USA). Accuracy of color measurements was limited by quality of illumination and color rendering index of LEDs (Martynenko, 2006). Mass was measured by weighing on the digital balance HCB1002 (Adam Equipment, Danbury, CT, USA) with 0.01g resolution. Moisture content X was determined from mass measurements m_t as a mass ratio of water (variable) to dry solid, m_s

$$X = \frac{m_t - m_s}{m_s}. \quad (1)$$

Mass of dry solid m_s was determined for each slice by oven drying at 105°C for 24h. Moisture ratio (MR) was further calculated as a ratio between instantaneous (X_t) and initial (X_o) moisture content

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}. \quad (2)$$

where X_e is the equilibrium moisture content at thermal equilibrium at the end of drying. Moisture ratio as a function of time was expressed using the following exponential model:

$$MR = e^{-kt}, \quad (3)$$

$$\ln MR = -k \cdot t. \quad (4)$$

Parameter k in this model represents the drying rate constant, which was identified by linear approximation of ($\ln MR$) vs. (time) over the entire

period of drying. Drying rate constants for each combination of factors were used to calculate activation energy in the process of drying.

Ionic Wind. Ionic wind velocity u_e is directly proportional to the electric field strength E and can be calculated from the following relationship (Chen and Barthakur, 1994)

$$u_e = E \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\rho}}. \quad (5)$$

where ε_0 - is the dielectric permittivity of air ($8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m);

ρ - is the air density (1.204 kg/m^3 at 20°C and 0.1 MPa atmospheric pressure).

The silent assumption incorporated in this formula is that air density ρ is independent of water vapor and electric charge density.

Interaction between ionic and convective wind was quantified by dimensionless EHD number, which represents the ratio between ionic wind velocity u_e and cross-flow air velocity u (Lai and Lai, 2004)

$$N_{END} = \frac{u_e}{u} \quad (6)$$

The EHD number reflects interaction of two orthogonal forces: electric force of ionic wind F_e and inertial force of air cross-flow F .

Color Measurements. A color measurement procedure was developed on LabVIEW2013 (National Instruments, USA) to determine the color with RGB color space output, which was further converted into CIE 1976 (L^* , a^* , b^*) color space, using standard conversion matrix (Weeks, 1996). In the CIELAB coordinate system, color values expressed as L^* , ranging from 0 (darkness) to +100 (whiteness or brightness), a^* (redness to greenness), and b^* (yellowness to blueness) were determined for each sample. Color changes ΔE were then calculated, using the following equation (Chen and Martynenko, 2013)

$$\Delta E = \left[(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2 \right]^{1/2}, \quad (7)$$

where L_o^* , a_o^* , and b_o^* - are the initial values of fresh apple sample.

Energy Efficiency. Energy efficiency of drying was calculated as specific energy consumption, or amount of energy needed to evaporate unit mass of water in kJ/kg (Kudra, 2004). The index, further termed as energy efficiency, was determined from two measurable variables, namely the supplied electric power (kW) and the drying rate (kg/s)

$$\eta = \frac{V * I}{\Delta m} \Delta t. \quad (8)$$

In our experiments energy efficiency was calculated for the first 5 hours of drying.

Statistical Analysis. Measurements were carried out triplicate and results were expressed as mean \pm standard deviation. Changes in drying rate were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA). Model as-

sumptions (normality and constant variance) were verified by examining the residuals as described in Montgomery (2013). All statistical procedures were completed using Minitab 15.0 software (Minitab Inc., USA). Statistical significance was determined using least significant difference (LSD) t-tests and accepted at $p < 0.05$.

Results and Discussion.

Kinetics of EHD-activated mass transfer. Typical kinetics of EHD drying at different voltages and air velocities is shown in Fig. 3. In all cases drying followed first-order kinetics without constant rate period. Exponential shape of drying curves indicated diffusion-controlled drying. Fig. 3a shows EHD drying in the absence of convective air flow (0 m/s). At low voltages (0-10 kV) it was no significant difference between EHD and natural convective drying ($k=0.053\pm 0.005 \text{ h}^{-1}$). However, at 15 kV significant acceleration of drying rate was observed. Approximation of this curve with the exponential model (equation 4) showed noticeable acceleration of drying rate within first 5 hours ($k=0.155\pm 0.005 \text{ h}^{-1}$), which decreased to $0.07\pm 0.01 \text{ h}^{-1}$ in the next 20 hours. This could be explained by the fact of decreasing EHD efficiency with the receding evaporation front (Alem-Rajabi and Lai, 2005). It follows that low voltage or low moisture content makes EHD drying non-efficient.

Drying kinetics for combined EHD-convective drying is shown in Fig. 3(b-d). Increase of electric field strength resulted in increased drying rate, which was expected for EHD drying (Dalvand et al., 2014). The most significant effect of EHD on drying rate was observed at the highest voltage and lowest air velocity in the range from 0 to 1 m/s. With the increasing of air velocity from 1 to 5 m/s, the EHD effect on drying rate was gradually decreasing. At 5 m/s the difference between EHD-aided drying and sole convective became non-significant. The possible reason could be that with increase of air velocity, convective drying tends to be the major factor, governing moisture transfer. Our results are in agreement with simulation study, which showed EHD activation of mass transfer only within a limited range of cross-flow velocities (Ahmedou et al., 2009).

Intensity of mass transfer was characterized with the drying rate constant $k \text{ (h}^{-1}\text{)}$. The values of drying rate constants, approximated from equation (4), are presented in Fig. 4 as functions of air velocity (Fig. 4a) and voltage (Fig. 4b).

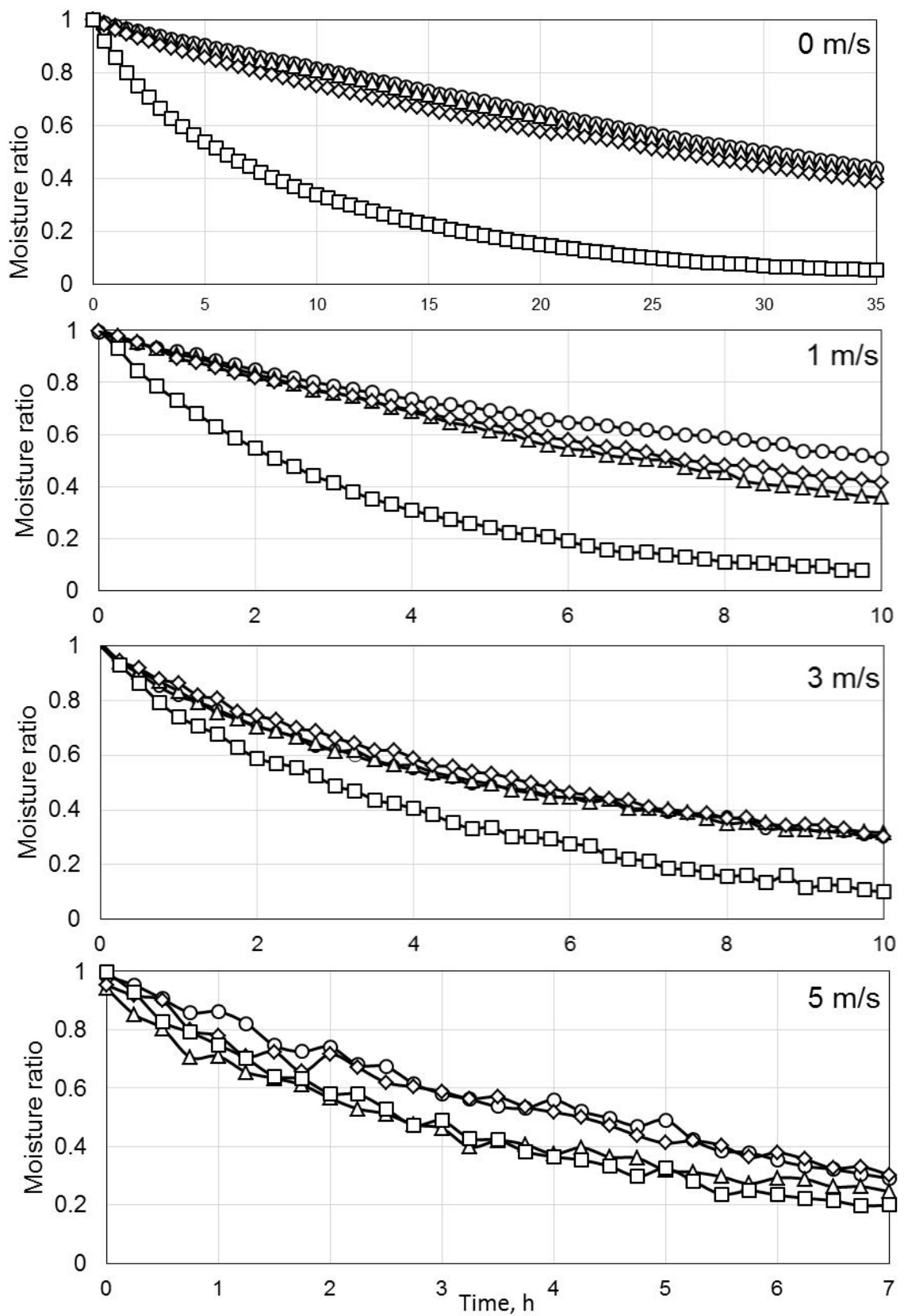


Fig. 3. Drying kinetics for combined EHD-convective drying.

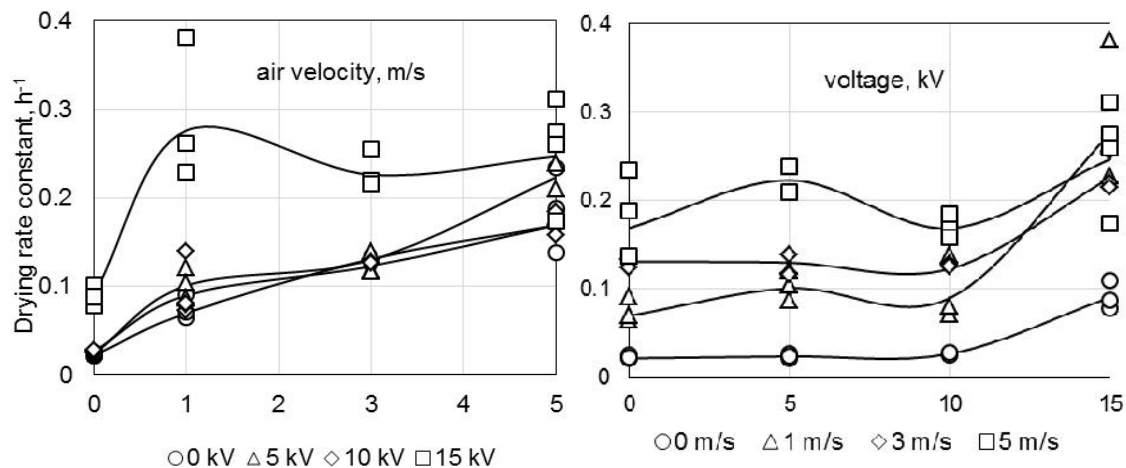


Fig.4. Drying rate constants

Fig 4 a shows that increase of air velocity accelerated mass transfer, which was expected from the theory of convective drying. There was no significant difference between effects of EHD at 0, 5 and 10 kV. However, effect of high electric field (15 kV) on the mass transfer was significant. It is important to mention that this effect was not monotonic, depending on air velocity. In particular, in the range of low air velocities from 0 to 1.0 m/s, the sharp increase of drying rate was noted, but in the range from 1.0 to 5 m/s drying rate became independent of air velocity. This behaviour could be explained by the complex nonlinear interaction between ionic wind and convective cross-flow (Ahmedou at al., 2009). Ionic wind velocity, calculated from equation (5), was 0.54 m/s at 5 kV, 1.0 m/s at 10 kV and 1.63 m/s at 15 kV, which was comparable with chosen range of cross-flow air velocities. It may create discord in aerodynamic interaction of ionic and convective flows on the surface of apple slices.

The sensitivity of mass transfer to electric field was evaluated from Fig 4b. Positive slope of drying rate constant as a function of voltage was consistently observed only in the range of high voltages from 10 to 15 kV. The mostly pronounced EHD effect was at low air velocity of 1.0m/s. It means that the main region of EHD effects is in the range of low air velocities from 0 to 1m/s and high voltages from 10 to 15 kV. However, 15 kV was very close to the breakdown voltage and was not always achievable under our experimental conditions. For example, at stagnant conditions (0m/s), the breakdown voltage was only 12.5-13 kV. Interestingly enough that increase of air velocity resulted in the increase of breakdown voltage and the current between electrodes. For example, increase of airflow from 0 to 5m/s at the voltage 13 kV resulted in increase of the current from 0.5 to 0.7mA. Hence, the effect of low breakdown voltage and low current at stagnant conditions could be attributed to the buildup of charged particles in the gap between electrodes.

To estimate interference between ionic and air convective flows, we calculated EHD numbers N_{EHD} from equation (6). Results of calculation for different combinations of voltages and air velocities ARE presented in Table 1.

Table 1. EHD numbers for different regimes of drying

Voltage, kV	Electric field strength (kV/m)	Air velocity, m/s		
		1.0	3.0	5.0
0	0	0	0	0
5	200	0.54	0.18	0.108
10	400	1.08*	0.36	0.216
15	600	1.63*	0.54	0.326

* EHD effect was significant

Table 1 suggested that EHD number is an excellent indicator of EHD effect on drying. Regimes with EHD number above 1.0 (in bold) coincided with previously found region of significant EHD effect (voltage above 10 kV and air velocity below 1.0 m/s). Above 1.0 m/s convective cross-flow suppressed ionic wind, which is in agreement with Fig.4. Also, it is in agreement with results of Pogorzelski et al. (2013), where ionic wind, generated by the needle electrode (1.45 m/s at 527 kV/m) was much higher than the cross-flow air velocity of 0.1 m/s. These authors confirmed the findings by others that EHD effect is significant at $N_{EHD} > 1$.

Effects of different combinations of voltage and air velocity on drying rate constants, presented separately in Fig.4, were summarized in the form of 3D response surface (Fig.5).

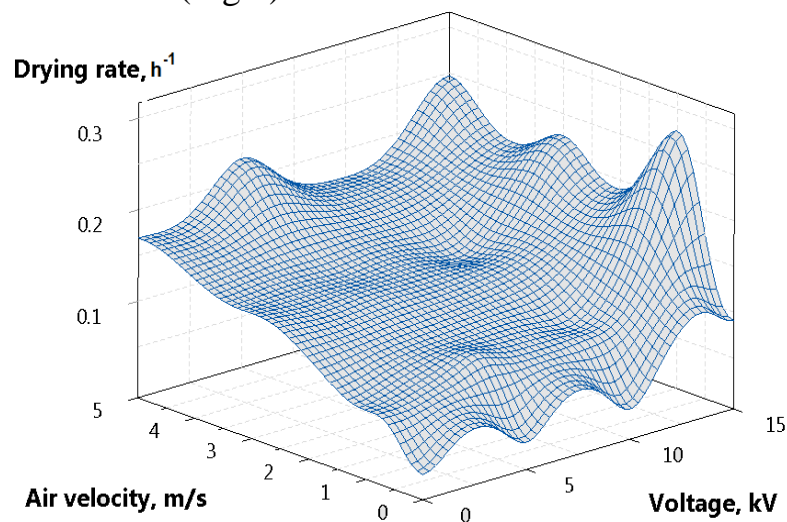


Fig. 5. Response surface for drying rate according to the air velocity and voltage

It follows that effect of convective air flow on drying rate, observed without electric field, was rather monotonic. In contrast, the effect of electric field on drying rate could be described as non-monotonic with periodical oscillations. These periodical oscillations, mostly pronounced at 0 m/s,

depended on applied voltage with the cycle around 5 kV. The same cyclic changes of drying rate were observed for high voltage with the cycle around every 2 m/s. This unusual behavior could be associated with non-linear dependence of breakdown voltage from the gap length.

Color Changes. It is well known that time and temperatures determine color changes during drying. High temperatures or long time of drying could negatively affect food color because of enzymatic (Nicolas et al., 1994) or non-enzymatic (Manzocco et al., 2000) browning. In our low-temperature experiments we expected predominant effect of enzymatic browning. Following literature survey, initial hypothesis was that electric field could mitigate negative consequences of enzymatic browning.

Color changes were calculated for each drying regime, using equation (7). The total color degradation at various combinations of voltage and air velocity was presented in Table 2.

All drying combinations resulted in browning of apple slices at the end of drying. Color degradation was significantly stronger at stagnant air (0 m/s) for all electric treatments. Convective air flow slightly mitigated color degradation in all cases, except of 15 kV. High voltage of 15 kV facilitated color degradation for all air velocities. However, no significant effect of EHD on browning was observed at voltages 5 and 10 kV with respect to control (0 kV). Total color changes as a function of air velocity and voltage are presented in Fig.6.

Table 2 Total color change ΔE at different voltage and air velocity

Voltage, kV	Air velocity, m/s			
	0	1.0	3.0	5.0
0	27.66 ^a	13.08 ^b	11.57 ^b	5.45 ^b
5	28.36 ^a	11.10 ^b	11.33 ^b	6.78 ^b
10	20.45 ^a	14.64 ^b	14.08 ^b	9.61 ^b
15	23.84 ^a	33.87 ^c	20.35 ^a	17.21 ^{ab}

*Mean values, sharing the same letter, are not statistically different

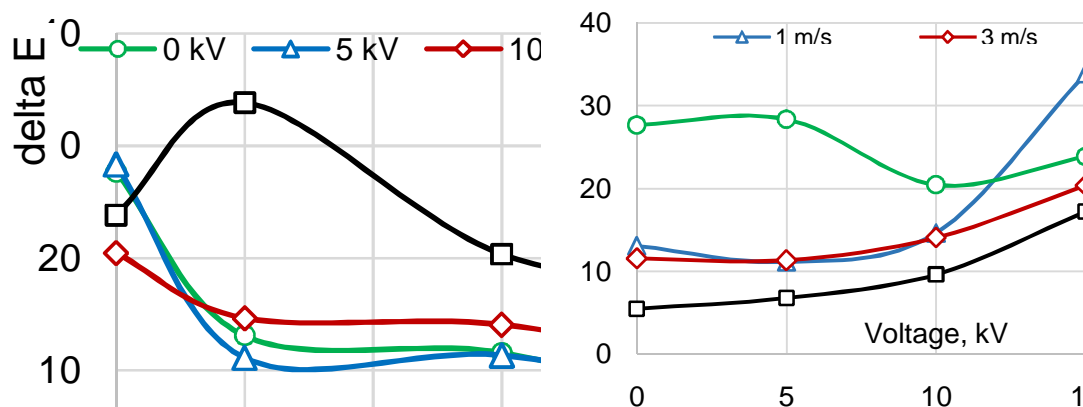


Fig. 6. Color changes at various combinations of voltage and air velocity

From Fig.6a it follows that 15 kV treatment negatively affected color. Apple slices were highly vulnerable to quality degradation in the range of air velocities from 0 to 1 m/s. Interestingly, air velocity of 5 m/s resulted in decrease of color degradation to $\Delta E=12\pm 5$. Diminishing of color degradation at high air velocities indicated positive effect of air convection on color preservation. It could also be related to decreased time of drying.

From Fig. 6b it follows that color degradation was definitely higher at stagnant air conditions (0 m/s), which could be associated with longer time of drying. With the increase of voltage, quality degradation slightly increased, passing through the inflection point at 10 kV. Based on our data, we could conclude that EHD at 10 and 15 kV slightly retarded color degradation, but in all other cases EHD increased color degradation, especially at 15 kV, 1.0 m/s.

Effects of different combinations of voltage and air velocities on color change, presented separately in Fig.6, were summarized in the form of 3D response surface (Fig.7).

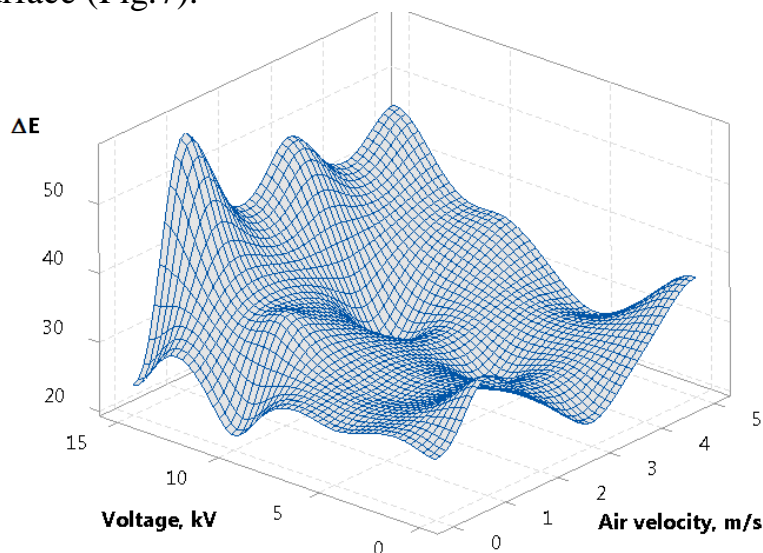


Fig. 7. Response surface for color changes ΔE at different voltage and air velocity.

It could be seen that in general EHD enhanced color degradation. However, from irregularities of the response surface shown in Fig 7, it follows that certain combinations of voltage and air velocity could potentially mitigate enzymatic browning.

In the absence of electric field, quality degradation significantly depended on the intensity of air flow, decreasing exponentially with the increase of air velocity. We could conclude about positive effect of convective air flow on reducing quality degradation initiated by high voltage.

Energy Consumption. Energy consumption was determined by the electric power of all used equipment, namely AC/DC high voltage converter and convective blower. Energy consumption of high voltage converter was calculated from direct measurements of voltage and current consumed

by AC/DC converter and ranged from 55 to 75 W depending on high voltage output. This power could be translated into 900 to 1350 kJ of energy consumed in 5 hours. Energy, consumed by the AC convective blower was calculated from direct measurements of voltage and currents at different air velocities. The power was in the range from 4.95 to 13.72 W, being dependent on air velocity (Table 3).

Table 3. Energy consumption by convective blower

Air velocity, m/s	Voltage, V	Current, mA	Power, W	Energy consumed in 5 hours, kJ
1.0	120	45	4.95	89.1
3.0	120	87.5	9.63	173.3
5.0	120	124.7	13.72	247.0

It follows that energy consumed by convective blower is much less than energy consumed by AC/DC high voltage converter. At low air velocity the blower consumed 10 times less energy than the high-voltage generator. At high air velocity the blower consumed from 3.5 to 5.5 times less energy than the high-voltage generator with the same effect on drying rate. Energy consumption of electric equipment, used for EHD drying, is summarized in Table 4.

Table 4. Energy consumption at different drying regimes over 5 hours of drying, kJ

Voltage, kV	Air velocity, m/s			
	0	1	3	5
0	0	89.1	173.3	247.0
5	900	989.1	1162.4	1409.4
10	1150	1239.1	1412.4	1659.4
15	1350	1439.1	1612.4	1859.4

The amount of energy, factually used in EHD drying, was calculated from direct measurements of voltage and current of ionic wind. It was independent of air velocity, but dependent on applied voltage (Table 5).

Table 5. Energy used in EHD drying, kJ

Voltage, kV	Current, mA	Power, W	Energy consumed over 5 hours, kJ
5	0.025	0.125	2.25
10	0.05	0.5	9.0
15	0.05	0.75	13.5

From Fig.3 one could see that drying rate at 15 kV, 0 m/s (pure EHD drying) is compatible with the drying rate at 0 kV, 5 m/s (pure convective drying). If we compare energy used in EHD drying (13.5 kJ) with equiva-

lent convective drying (247.0 kJ), it is obvious that EHD drying is at least 18 times more efficient. From the simple comparison of energy output (Table 5) with energy input (Table 4), it became clear that energy used in EHD drying is by two orders (65 to 100 times) lower than energy consumed by the AC/DC voltage converter. Hence, we could conclude about the extremely low (about 1 to 2%) energy efficiency of the AC/DC high voltage converter. This conclusion could explain common misconception that energy consumption in EHD drying is negligibly small (Lai et al., 2004, Dinani et al., 2014).

Energy Efficiency. Energy efficiency calculated from actual energy consumption (Table 4) and water evaporated over 5 hours under different drying regimes is presented in Table 6.

Table 6. Energy efficiency of EHD drying, kJ/kg

Voltage, kV	Air velocity, m/s			
	0	1	3	5
0	0	18000	24875.6	39710.6
5	242152.5	240461.9	191709.7	172228.1
10	229540.9	254784.1	232557.6	179913.3
15	124884.4	166819.9	180223.5	209785.6

From data presented in Table 6, it follows that the simple convective drying offers the best energy efficiency. Energy efficiency with EHD was almost independent of drying regime, because the vast majority of energy consumption was due to the power supply unit. This is in agreement with previous analysis of energy efficiency in EHD drying (Kudra et al., 2014). This efficiency increased with increasing of voltage applied, which is in agreement with Dalvand et al. (2014).

Practical applications.

In our experiments the EHD effect on drying was observed in the range of 10-15 kV and 0-1.0 m/s. This regime of drying resulted in the fastest mass transfer, but it is the most damaging for product quality. Hence, it is difficult to compromise both objectives of high efficiency and high quality of EHD drying. Further fine-tuning of drying parameters in order to find sufficient combination of high voltage and air velocity is required.

Also, the low efficiency of AC/DC high voltage converter as the major limiting factor in EHD drying has been identified. Unfortunately, current efficiency of AC/DC high voltage converters (1-2%) is too low for industrial acceptance of the EHD technology. Further engineering towards design of more efficient AC/DC high voltage converters is required.

Conclusions.

1. Positive effect of EHD on drying rate was significant at air velocities below 1m/s, increasing with voltage and decreasing with air velocity. For example, EHD enhancement of drying rate at 15 kV was 3.9 at 1.0 m/s, decreasing to 1.73 at 3.0 m/s and 1.46 at 5 m/s of air velocity. The EHD number could be an excellent indicator of EHD effect on drying.
2. Negative effect of EHD on color degradation was significant and increased with voltage, especially at low air velocity. However, high air velocity (mostly convective drying with low EHD number) resulted in lower color degradation as compared to low air velocity and high voltage (mostly EHD drying with high EHD number).
3. Energy consumption at different regimes of drying was mostly determined by the efficiency of AC/DC high voltage converter. Despite numerous statements that energy consumption in EHD drying is negligibly small, current efficiency of AC/DC high voltage converters (1-2%) is too low for industrial application of EHD drying.

References

1. Agriculture and Agri-Food Canada.(2013). Canadian Food Trends to 2020: A Long Range Consumer Outlook. Available at: http://www.weldenscott.ca/pdf/ft-ta_e.pdf.
2. *Ahmedou, S.A.O., Rouaud O., Havet M.* (2009). Assessment of the electrohydrodynamic drying process. *Food and Bioprocess Technology*, 2(3), 240-247.
3. *Alem-Rajabi, A., Lai, F.C.* (2005). EHD-enhanced drying of partially wetted glass beads. *Drying Technology*, 23(3), 597-609.
4. *Allen, P. H. G., Karayiannis, T. G.* (1995). Electrohydrodynamic enhancement of heat transfer and fluid flow. *Heat Recovery Systems & CHP*, 15(5), 389-423.
5. *Andres, A., Bilbao, C., Fito P.* (2004). Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63(1), 71-78.
6. *Bai, Y., Qu, M., Luan, Z., Li, X., Yang, Y.* (2013). Electrohydrodynamic drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *LWT - Food Science and Technology*, 54(2), 570-576.
8. *Bai, Y., Yang, Y., Huang, Q.* (2012). Combined electrohydrodynamic (EHD) and vacuum freeze drying of sea cucumber. *Drying Technology*, 30(10), 1051-1055.
9. *Bajgai, T., Hashinaga, F.* (2001a). Drying of spinach with a high electric field. *Drying Technology*, 19(9), 2331-2341.
10. *Bajgai, T.R., Hashinaga, F.* (2001b). High electric field drying of Japanese radish. *Drying Technology*, 19(9), 2291-2301.
11. *Bajgai T.R., Raghanvan G.S., Hashinaga F., & Ngadi M.O.* (2006). Electrohydrodynamic drying - a concise overview. *Drying Technology*, 24(7), 905-910.

12. *Balcer, B.E., Lai, F.C.* (2004). EHD-enhanced drying with multiple-wire electrode. *Drying Technology*, 22(4), 821–836.
13. *Basiry, M., Esehaghbeygi, A.* (2010). Electrohydrodynamic (EHD) drying of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Electrostatics*, 68, 360–363.
14. *Beaudin, M.* (2005). *The Agri-Food Industry in Atlantic Canada: Recognition and Development*, CIRRD.
15. *Brncic, M., Karlovic, S., Brncic, S.R., Bosiljkov, T., Jezek, D., Tripalo, B.* (2010). Textural properties of infrared dried apple slices as affected by high power ultrasound pre-treatment. *African Journal of Biotechnology*, 9(41), 6907-6915.
16. *Cao, W., Nishiyama Y., Koide S.* (2004). Electrohydrodynamic drying characteristics of wheat using high voltage electrostatic field. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 209-213.
17. *Chen, Y. H., Barthakur, N. N.* (1994). Electrohydrodynamic drying of potato slabs. *Journal of Food Engineering*, 23, 107–119.
18. *Chen, Y., Martynenko, A.* (2013). Computer vision for real time measurements of shrinkage and color changes in blueberry convective drying. *Drying Technology*, 31(10), 1114-1123.
19. *Chong, C.H., Figiel, A., Law, C.L., Wojdylo, A.* (2014). Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques. *Food & Bioprocess Technologies*, 7, 975-989.
20. *Dalvand, M.J., Mohtasebi, S.S., Rafiee, S.* (2013). Effect of needle number on drying rate of kiwi fruit in EHD drying process. *Agricultural Sciences*, 4(1), 1-5.
21. *Dalvand, M.J., Mohtasebi, S.S., Rafiee, S.* (2014). Modeling of electrohydrodynamic drying process using response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 2(3), 200-209.
22. *Dinani, S.T., Havet, M., Hamdami, N., Shahedi, M.* (2014). Drying of mushroom slices using hot air combined with an electrohydrodynamic (EHD) drying system. *Drying Technology*, 32(5), 597-605.
23. *Dutta, B., Raghavan, G.S.V., Dev, S.R.S., Liplap, P., Murugesan, R., Anekella, K., & Kaushal, T.* (2012). A comparative study on the effects of microwave and high electric field pre-treatments on drying kinetics and quality of mushrooms. *Drying Technology*, 30(8), 891–897.
24. *Esehaghbeygi, A.* (2012). Effect of electrohydrodynamic and batch drying on rice fissuring. *Drying Technology*, 30, 1644-1648.
25. *Esehaghbeygi, A., Basiry M.* (2011). Electrohydrodynamic (EHD) drying of tomato slices (*Lycopersicon Esculentum*). *Journal of Food Engineering*, 104(4), 628-631.
26. *Figiel, A.* (2007). Dehydration of apples by a combination of convective and vacuum-microwave drying. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4), 131-135.

27. *Goodenough, T.I.J., Goodenough, P.W., Goodenough, S.M.* (2007). The efficiency of corona wind drying and its application to the food industry. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1233–1238.
28. *Gourdine, M.C.* (1968). Engineering aspects of electrogasdynamics. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 30(6), 804-814.
29. *Hashinaga, F., Bajgai, T.R., Isobe, S., Barthakur, N.N.* (1999). Electrohydrodynamic (EHD) drying of apple slices. *Drying Technology*, 17(3), 479–495.
30. *Huang, L.L., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Sun, D.F., Tan, G.W., Tang, S.* (2009). Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices. *Drying Technology*, 27, 938-946.
31. *Huang, L.L., Zhang, M., Wang, L.P., Mujumdar, A.S., Sun, D.F.* (2012). Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices. *LWT- Food Science and Technology*, 47(1), 183-188.
32. *Isobe, S., Barthakur, N., Yoshino, T., Okushima, L., Sase, S.* (1999). Electrohydrodynamic drying characteristic of agar gel. *Food Science Technology Research*, 5(2), 132-136.
33. *Karami, R., Ayazi, M., Samiee, L., Mobarake, M.D., Goodarzvand-Chegini, F.* (2012). An experimental study of the effect of high electric field on mass transfer enhancement. *Journal of Petroleum Science and Technology*, 2(2), 40-49.
34. *Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D.* (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59, 391–403.
35. *Kudra, T.* (2004). Energy aspects in drying. *Drying Technology*, 22(5), 917-932.
36. *Kudra, T., Martynenko, A.* (2014). Energy aspects of electrohydrodynamic drying. *Proceedings of 19th International Drying Symposium IDS 2014, Lyon, France, August 24-27, 2014.*
37. *Lai, F.C., Lai, K.W.* (2002). EHD-enhanced drying with wire electrode. *Drying Technology*, 20(7), 1393–1405.
38. *Lai, F. C., Sharma, R. K.* (2005). EHD-enhanced drying with multiple needle electrodes. *Journal of Electrostatics*, 63, 223–237.
39. *Magee, T.R.A., Wilkinson, C.P.D.* (1985). Air drying of apple slices. *Journal of Food Science and Technology*, 9(2), 115-122.
40. *Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M.C., Lericci, C.R.* (2000). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11(9-10), 340-346.
41. *Martynenko, A.* (2006). Computer-vision system for control of drying processes. *Drying Technology*, 24(7), 879-888.

42. *Martynenko, A., Janaszek, M.A.* (2014). Texture changes during drying of apple slices. *Drying Technology*, 32(5), 567-577.
43. *Montgomery, D.C.* (2013). Design and analysis of experiments. 8th ed. Wiley, New York.
44. *Nicolas, J.J., Richard-Forget, F.C., Goupy, P., Amiot, M.J., Aubert, S.Y.* (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(2), 109-157.
45. *Nowak, D., Lewicki, P.P.* (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 353-360.
46. *Pakowski, Z., & Adamski, R.* (2012). Formation of underpressure in an apple cylinder during convective drying. *Drying Technology*, 30, 1238-1246.
47. *Palanimuthu, V., Rajkumar P., Orsat, V., Gariepy, Y., Raghavan V.* (2009). Improving cranberry shelf-life using high voltage electric field treatment. *Journal of Food Engineering*, 90, 365-371.
48. *Pogorzelski, M.; Zander, Z.; Zander, L.; Wrotniak, M.* (2013). Drying kinetics of plant material using the electrohydrodynamic (EHD) method. *Chemical Engineering and Equipment*, 44 (6), 552-553 (in Polish).
49. *Reyes, A., Mahn, A., Huenulaf, P.* (2011). Drying of apple slices in atmospheric and vacuum freeze dryer. *Drying Technology*, 29, 1076-1089.
50. *Sacilik, K., & Elicin, A.K.* (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 281-289.
51. *Singh, A., Nair, G.R., Rahimi, J., Gariepy, Y., Raghavan, V.* (2013). Effect of static high electric field pre-treatment on microwave-assisted drying of potato slices. *Drying Technology*, 31, 1960-1968.
52. *Singh, A.; Orsat, V.; Raghavan, G.S.V.* (2012). A comprehensive review on electrohydrodynamic drying and high-voltage electric field in the context of food and bioprocessing. *Drying Technology*, 30(16), 1812-1820.
53. *Vega-Mercado, H., Gongora-Nierto, M., & Barbosa-Canovas, G.* (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49, 271-289.
54. *Weeks, A.R.* (1996). Fundamentals of electronic image processing. Wiley-IEEE Press, NJ.
55. *Wong, D.S., Lai, F.C.* (2004). EHD-enhanced drying with auxiliary heating from below. *Journal of Energy Resources Technology*, 126, 133-139.
56. *Xue, X., Barthakur, N.N., Alli, I.* (1999). Electrohydrodynamic ally-dried whey protein: an electrophoretic and differential calorimetric analysis. *Drying Technology*, 17(3), 467-478.
57. *Zarein, M., Samadi, S.H., Ghobadian, B.* (2013). Kinetic drying and mathematical modeling *Journal of Food Processing and Technology*, 4, 247.

ЕЛЕКТРОГІДРОДИНАМІЧНЕ СУШІННЯ: ЯКІСТЬ ТА ЕНЕРГОВИТРАТИ

Мартиненко О. І.

Анотація - електрогідродинамічне сушіння використовує феномен прискорення тепломасообміну в присутності сильного електричного поля. Енергетична ефективність цього нетермічного процесу значно перевищує ефективність конвективно-дифузійного сушіння. В цій роботі ми вивчали вплив електричного поля 5-10 кВ/см на питомі енерговитрати, інтенсивність і якість сушіння фруктів. Експериментально встановлено, що інтенсивність сушіння в присутності електричного поля зростала в 1.5...4 разів. Ефект був пропорційний напруженості електричного поля і обернено пропорційний швидкості конвекції. Електричне поле не впливало на якість сушіння при напруженості менше 5 кВ/см, але більша напруженість прискорювала біохімічну деградацію. Енерговитрати менші в 18 разів порівняно з конвективно-дифузійним сушінням.

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СУШКА: КАЧЕСТВО И ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

Мартыненко А. И.

Аннотация - электрогидродинамическая сушка использует феномен ускорения тепломассообмена в присутствии сильного электрического поля. Энергетическая эффективность этого нетермического процесса значительно превышает эффективность конвективно-диффузионной сушки. В этой работе мы изучали влияние электрического поля 5-10 кВ / см на удельные энергозатраты, интенсивность и качество сушки фруктов. Экспериментально установлено, что интенсивность сушки в присутствии электрического поля возросла в 1,5 ... 4 раза. Эффект был пропорционален напряженности электрического поля и обратно пропорционален скорости конвекции. Электрическое поле не влияло на качество сушки при напряженности менее 5 кВ / см, но большая напряженность ускоряла биохимическую деградацию. Энергозатраты меньше в 18 раз по сравнению с конвективно-диффузионной сушкой.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j -й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

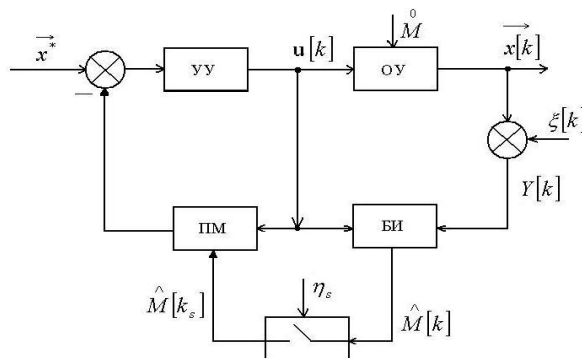


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 681.527.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЙ СТАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЫХОДНЫМИ СИЛОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Зиновкин В.В., д.т.н.,

Бондаренко В.И., к.т.н.,

Соломаха А.В., инженер

Запорожский национальный технический университет

Тел.: (061)7698-279

Аннотация - разработан метод упреждающей компенсации искажений статорного напряжения асинхронного двигателя, вносимых выходными силовыми фильтрами, учитывающий параметры нагрузки. Предложенный метод компенсации искажений применим для управления всеми типами двигателей, питаемых от АИН с ШИМ. Численное моделирование подтвердило работоспособность разработанного алгоритма.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, выходной силовой фильтр, метод упреждающей компенсации.

Постановка проблемы. Асинхронные электроприводы широко применяются в различных областях промышленности и аграрно-промышленного комплекса. Их основным исполнительным механизмом является асинхронный двигатель (АД). При его помощи осуществляется преобразование электрической энергии в механическую. Регулировка напряжения осуществляется, преимущественно, инверторами напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). В отдельных динамических режимах выходные фазные напряжения преобразователя частоты (ПЧ) с ШИМ являются источником искажений напряжения. Такой характер нагрузки электропривода с ШИМ приводит к следующим нежелательным явлениям и последствиям:

- увеличению добавочных потерь в электроприводе и технологической линии;
- перегревам обмоток и питающих кабелей;
- ухудшению диэлектрических свойств изоляционных материалов;
- ускоренному старению изоляции электропривода;
- увеличению общего фона акустических шумов и в спектре октавных частот;

- развитию магнестрикторных явлений в магнитной системе и отдельных деталях конструкции;
- проявлению и дальнейшему развитию релаксационных явлений в электроприводе и технологической линии;
- резонансным ферромагнитным и механическим явлениям;
- возрастанию энергозатрат на единицу вырабатываемой продукции;
- ухудшению технико-экономических показателей, как отдельных технологических линий, так и аграрного промышленного комплекса в целом.

Усматривается, что для оперативного функционирования асинхронных электроприводов целесообразно использовать векторное управление режимами двигателя и технологических линий. Для улучшения режимов электроприводов широко используются специализированные силовые LC-фильтры на выходе преобразователя частоты. Следует отметить что, пассивные фильтры искажают амплитуды и фазы первых гармоник выходных напряжений и токов, что приводит к усложнениям использования систем векторного автоматизированного управления технологическими процессами.

Эти явления существенно влияют на решение инженерных задач энергосбережения и оптимального использования электротехнического оборудования, различного вида исполнительных механизмов и микропроцессорных систем, обеспечения оптимизации и согласованности режимов ряда мощных АД в составе одного электротехнического комплекса [1,2]. С научной точки решение данного вопроса, с учетом совокупности приведенных выше факторов, представляет многопараметрическую математическую модель, решение которой представляет довольно сложные нелинейные зависимости. Полученные результаты не могут прямо использоваться на практике для различных типов и классов мощности АД. Поэтому в инженерные методики вводится ряд полуэмпирических коэффициентов при помощи которых характер зависимостей между определяющими параметрами сохраняется, а их численные значения существенно отличаются для различных типоразмеров мощных АД. С целью снижения влияния искажений напряжения и сглаживания выходного напряжения на выходе преобразователя частоты устанавливаются силовые LC-фильтры [3]. Ограничение скорости изменения напряжения и снижение перенапряжений позволяет оптимально использовать электротехническое оборудование и отказаться от увеличения номиналов напряжений инверторов за счет учета влияния обратной волны в кабелях.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют инженерные и научные методики, которые позволяют одновременно учитывать все нежелательные факторы. Поэтому на практике срок службы мощных АД уменьшается на 10% относительно директивного. Необ-

ходимо отметить, что при решении инженерных задач пассивные фильтры используются в потребителях мощности более 1 МВА. Они более экономичны и их техническое обслуживание не требует дополнительных организационных и технических мероприятий. Наряду с положительными экономическими показателями пассивные фильтры искажают амплитуды и фазы основных гармоник выходных напряжений и токов. Это приводит к ухудшению динамических параметров электропривода и существенному усложнению использования методов векторного управления в электроприводах. Использование последних позволяют существенно повысить быстродействие АД и оперативность электротехнологических комплексов. В особых случаях эта проблема решается путем использования фильтра Калмана и других методов, что требует разработки специализированных программно-аналитических методик и микропроцессорных вычислительных средств [3].

Для обеспечения стабилизации динамических параметров привода в настоящей работе предложено использовать сравнительно упрощенный компенсатор в структуре которого используются перекрестные связи между соответствующими параметрами, но без учета особенностей нагрузки [5].

Формулировка целей статьи (постановка задания). Целью данной статьи является разработка метода упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых силовыми фильтрами с учетом динамических параметров нагрузки.

Постановка задачи поясняется использованием функциональной схемы цепи компенсации неидеальностей пассивного силового фильтра (ПСФ), которая представлена на рис.1. На этом рисунке приняты следующие обозначения: СУ – система управления автономным инвертором с ШИМ (АИН с ШИМ); ПСФ – пассивный силовой LC-фильтр; АД – двигатель переменного тока; $u_{\alpha p}, u_{\beta p}$ – управляющие (программные) сигналы системы управления АИН; $u_{\alpha k}, u_{\beta k}$ – программные сигналы с учетом компенсации; u_{Ak}, u_{Bk}, u_{Ck} – фазовые управляющие сигналы.

Параметры ПСФ выбираются из условия устранения на их выходах высокочастотных помех, обусловленных ШИМ. Поэтому они являются известными, и, с учетом параметров нагрузки, можно считать известными искажения амплитуды и фазы напряжения на выходах ПСФ. Задача состоит в упреждающем изменении программных сигналов по амплитуде и фазе таким образом, чтобы они компенсировали искажения, вносимые ПСФ. Таким образом, коэффициент передачи системы компенсатор – пассивный фильтр будет равен 1. Такая возможность путем использования перекрестных связей между фазами

многофазних сигналів. Достиження цієї цілі упрощається путем преобразования к двухфазным сигналам. Такой методологический подход позволяет осуществить решение задачи синтеза упреждающего компенсатора фильтра.

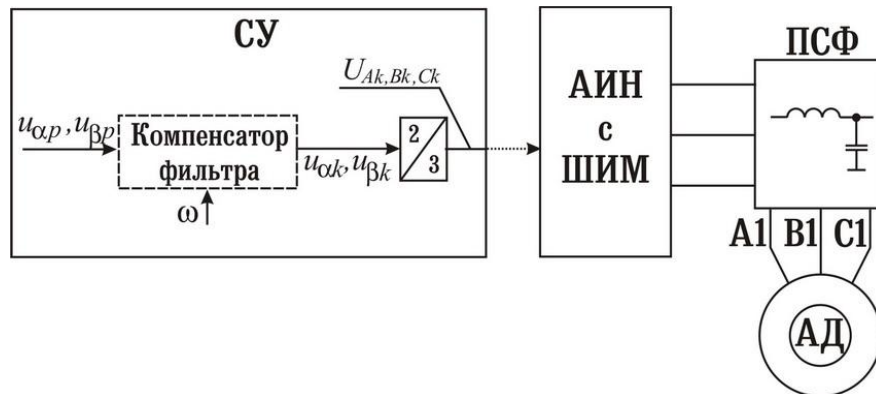


Рис. 1. Функціональна схема цепи компенсации неидеальностей ПСФ.

Основные материалы исследования. Решение поставленной научной задачи будем отыскивать путем физико-математического представления работы цепи компенсации неидеальностей ПСФ. В аналитическом виде, применительно к исследуемой модели и дальнейших теоретических исследований, программный двухфазный сигнал удобно представить в следующем виде:

$$u_{\alpha p} = |u| \cos \omega t, \quad u_{\beta p} = |u| \sin \omega t, \quad |u| = \sqrt{u_{\alpha p}^2 + u_{\beta p}^2}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вектора напряжения u , которая обычно используется в методах управления двигателями переменного тока и считается известной.

После пропускания двухфазного сигнала (1) или эквивалентного ему трехфазного сигнала через фильтр, эквивалентный двухфазный сигнал примет вид:

$$u_{\alpha f} = A(\omega)|u| \cos(\omega t + \psi(\omega)), \quad u_{\beta f} = A(\omega)|u| \sin(\omega t + \psi(\omega)), \quad (2)$$

где $A(\omega)$ и $\psi(\omega)$ – АЧХ и ФЧХ фильтра соответственно.

Очевидно, что для устранения искажений в (2), связанных с наличием $A(\omega)$ и $\psi(\omega)$, целесообразно использовать упреждающий компенсатор фильтра (УК), который должен иметь следующие частотные характеристики:

$$A_k(\omega) = A^{-1}(\omega), \quad \psi_k(\omega) = -\psi(\omega), \quad (3)$$

а его выходные сигналы, с учетом (1), должны иметь вид

$$\begin{aligned} u_{\alpha k} &= A^{-1}(\omega)|u| \cos(\omega t - \psi(\omega)) = A^{-1}(\omega)|u| (\cos \omega t \cos \psi(\omega) + \sin \omega t \sin \psi(\omega)) = \\ &= A^{-1}(\omega)(u_{\alpha p} \cos \psi(\omega) + u_{\beta p} \sin \psi(\omega)), \end{aligned}$$

$$u_{\beta k} = A^{-1}(\omega) |u| \sin(\omega t - \psi(\omega)) = A^{-1}(\omega) (u_{\beta p} \cos \psi(\omega) - u_{\alpha p} \sin \psi(\omega)). \quad (4)$$

Для получения передаточной функции ПСФ рассмотрим одну фазу системы ПЧ-ПСФ-АД, которая показана на рис. 2. АД представляем в виде переменной RL-нагрузки, параметры которой (R_n, L_n) зависят от электромагнитных и конструктивных параметров двигателя, режима работы двигателя, скольжения.

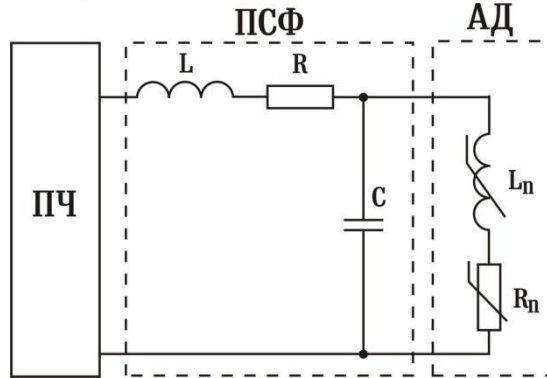


Рис. 2. Функциональная схема одной фазы системы ПЧ-ПСФ-АД.

Передаточная функция системы имеет вид

$$W(p) = \frac{U_{AD}}{U_{PCH}} = \frac{L_n p + R_n}{LL_n C p^3 + (RL_n + LR_n) C p^2 + (L + L_n + RR_n C) p + (R + R_n)}, \quad (5)$$

где U_{AD} – фазное напряжение АД, U_{PCH} – фазное напряжение на выходе ПЧ, R – активное сопротивление дросселя, или при необходимости, специально введенное в состав фильтра для получения необходимой фильтрации выходного напряжения ПЧ, L, C – индуктивность и емкость фильтра.

Передаточной функции (5) будет соответствовать АФЧХ вида

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{[R_n] + j[\omega L_n]}{[R + R_n - \omega^2 C(RL_n + LR_n)] + j[\omega(L + L_n + RR_n C) - \omega^3 LL_n C]} = \\ &= \frac{[N_1] + j[N_2]}{[D_1] + j[D_2]}, \end{aligned} \quad (6)$$

где ω – угловая скорость напряжения U_{PCH} ,

N_1, D_1, N_2, D_2 – действительные и мнимые части в числителе и знаменателе соответственно, введенные для упрощения расчета.

АЧХ и ФЧХ передаточной функции (5), с учетом введенных обозначений, преобразовываем к следующему виду:

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{N_1^2 + N_2^2}}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}, \quad (7)$$

$$\psi(\omega) = \arctg\left(\frac{N_2}{N_1}\right) - \arctg\left(\frac{D_2}{D_1}\right). \quad (8)$$

Воспользовавшись выражением $\operatorname{tg}(\alpha - \beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta}$ для (8), найдем

$$\operatorname{tg}\psi(\omega) = \frac{N_2 D_1 - N_1 D_2}{N_1 D_1 + N_2 D_2}. \quad (9)$$

Используя тригонометрические преобразования

$$\sin\psi(\omega) = \frac{\operatorname{tg}\psi(\omega)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\psi(\omega)}}, \quad \cos\psi(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\psi(\omega)}} \quad (10)$$

и выражение

$$\sqrt{D_1^2 + D_2^2} = \frac{\sqrt{N_1^2 + N_2^2}}{A(\omega)}, \quad (11)$$

полученное из (7), найдем

$$\sin\psi(\omega) = A(\omega) \frac{N_2 D_1 - N_1 D_2}{N_1^2 + N_2^2}, \quad (12)$$

$$\cos\psi(\omega) = A(\omega) \frac{N_1 D_1 + N_2 D_2}{N_1^2 + N_2^2}. \quad (13)$$

Подставив значения N_1, D_1, N_2, D_2 в (12), (13) и упростив, получим:

$$\sin\psi(\omega) = A(\omega)\omega \left(\frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right), \quad (14)$$

$$\cos\psi(\omega) = A(\omega) \left(1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right). \quad (15)$$

Подставляя (14), (15) в (4), получим уравнения работы упреждающего компенсатора фильтра:

$$\begin{aligned} u_{\alpha k} &= u_{\alpha p} \left(1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right) + u_{\beta p} \omega \left(\frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right), \\ u_{\beta k} &= u_{\beta p} \left(1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right) - u_{\alpha p} \omega \left(\frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Моделирование работы упреждающего компенсатора фильтра осуществлялось согласно системы, которая приведена на рисунке 3. Модель представляет следующие последовательно соединенные звенья: источник сигнала с переменной частотой, УК, преобразователь координат $(\alpha, \beta)/(A, B, C)$, блок формирования ШИМ-сигналов, LC-фильтров и RL-нагрузки, имитирующей АД. Напряжения u_{α}, u_{β} - являются желаемыми сигналами, с которыми будем сравнивать выходные сигналы фильтра u'_{α}, u'_{β} .

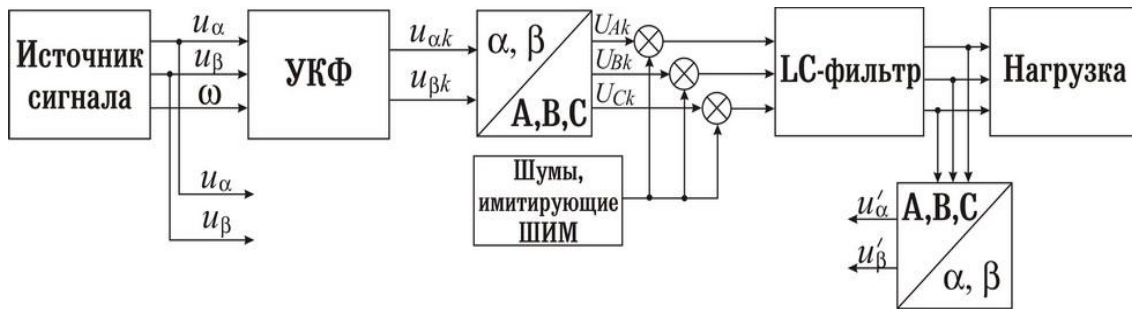


Рис. 3. Структурная схема модели упреждающего компенсатора фильтра.

Источник генерировал периодический двухфазный сигнал амплитудой 100 В и переменной частотой, которая изменялась как показано на рис. 4.

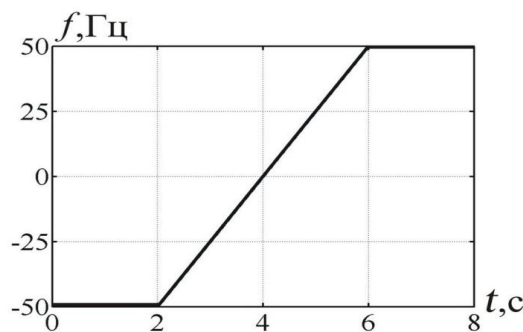


Рис. 4. График изменения частоты сигнала источника в процессе моделирования.

Моделирование осуществлялось при следующих параметрах фильтра: $R=0.01$ Ом, $L=0.01$ Гн, $C=40$ мкФ. Перед LC-фильтрами в блоке формирования ШИМ-сигналов на основной сигнал накладывались шумы, имитирующие искажения вносимые ШИМ, амплитудой в 2 раза большей амплитуды полезного сигнала и частотой 4 кГц. Дискретность алгоритма УК составляла 200 мкс. Результаты исследований приведены на рис. 5, откуда видно, что наблюдается рассогласование между желаемыми и выходными сигналами по каналам α и β

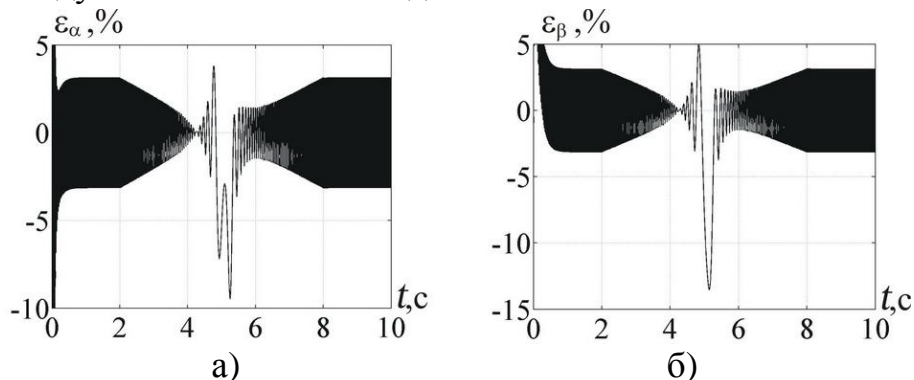


Рис. 5. Результаты моделирования УК:
а, б – ошибки по каналам α и β , соответственно.

Как следует из результатов моделирования (рис. 5), предложенный компенсационный фильтр работоспособен во всем диапазоне частот ± 50 Гц. При этом имеет место 3% ошибка в амплитуде, обусловленная шумами, имитирующими режимы ШИМ. Таким образом предложенный компенсационный фильтр снижает амплитуду шумов и одновременно исключаются искажения главной гармоники по амплитуде и фазе. Сопоставительный анализ результатов выполненных исследований по сравнению с полученными с помощью фильтра Калмана, который использовался в качестве прототипа [3]), показал, что разработанный метод отличается алгоритмической простотой и более приемлем для решения инженерных задач.

Выводы. Приведенные результаты исследований позволяют сформулировать следующее:

1. Разработанный метод упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых силовыми фильтрами, позволяет учитывать реальные параметры нагрузки, что более приемлемо для решения практических инженерных задач.

2. Предложенное решение отличается алгоритмической простотой по сравнению с прототипом (фильтром Калмана) за счет использования системы компенсации входящей в состав основной программы управления ПЧ и не требует дополнительных затрат.

3. Использование цепей компенсатор – пассивный фильтр позволяет снизить амплитуду шумов, при погрешности главной гармоники по амплитуде не превышающей 3% и отсутствии по фазе.

4. Разработанный метод работоспособен в диапазоне частот сигнала от 0 до 50 Гц и может использоваться для управления всеми типами асинхронных электроприводов, питаемых от АИН с ШИМ.

Список использованных источников.

1. *Das J.C.* Passive Filters – Potentialities and Limitation // IEEE Trans. Ind. Applicat.– 2004.–Vol.40, № 1.– P.232–241.
2. *Kojima M., Hirabayashi K., Kawabata Y., Ejiogu E.C., Kawabata T.* Novel Vector Control System Using Deadbeat-Controlled PWM Inverter With Output LC Filter // IEEE Trans. Ind. Applicat.– 2004.–Vol.40, № 1.– P.162–169.
3. *Salomaki J., Hinkkanen M., Luomi J.* Sensorless Control of Induction Motor Drives Equipped With Inverter Output Filter // IEEE Trans. on Ind. Electronics.– 2006.– Vol.53, № 4.– P.1188–1197.
4. *Хойджен П.* Фильтры для частотных инверторов // Chip News. – 2002. – № 8. – С. 58–60.
5. *Потапенко Е.М., Соломаха А.В.* Синтез и анализ компенсатора пассивного LC-фильтра на выходе преобразователя частоты // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління.–2007.–№2.–С.148–151.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕКРУЧУВАНЬ СТАТОРНОЇ НАПРУГИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ВИХІДНИМИ СИЛОВИМИ ФІЛЬТРАМИ

Зіновкін В.В., Бондаренко В.І., Соломаха О.В.

Анотація - розроблено метод упереджуючої компенсації перекручувань статорної напруги асинхронного двигуна, що внесені вихідними силовими фільтрами, з врахуванням параметрів навантаження. Запропонований метод компенсації перекручувань може застосовуватись для керування всіма типами двигунів, що живляться від АІН із ШІМ. Чисельне моделювання підтвердило працездатність розробленого алгоритму.

RESEARCH OF INFLUENCE OF STATOR VOLTAGE DISTORTION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH AN OUTPUT POWER FILTERS

V. Zinovkin, V. Bondarenko, A. Solomakha

Summary

The predictive compensation method with load parameters accounting for eliminating distortions of induction motor stator voltage, which brought in the output passive filter, is designed. The proposed compensation method may used for control of all kind of motors, powered by VSI with PWM. Numerical modeling of serviceability of the designed algorithm has confirmed.

УДК 621.316.1

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10 кВ

Козирський В.В., д.т.н.,

Гай О.В., к.т.н.,

Заводовський О.О., інженер

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044) 527-85-80

Анотація - проведено обґрунтування доцільності впровадження енергозберігаючих заходів в електричних мережах 10 кВ за рахунок їх управління та автоматизації, а саме - встановлення реклоузерів. Наведено приклади та поставлено завдання подальших досліджень.

Ключові слова: енергозбереження, система електропостачання, вакуумні реклоузери.

Актуальність теми. Підвищення ефективності будь-якого виробництва досягається за рахунок зменшення недовідпуску електричної електроенергії, компенсації реактивної потужності, збільшення перерізу розподільних мереж, перехід на вищі класи напруг, підвищення надійності мереж за рахунок їх автоматизації та ін. В даній роботі ми підвищимо надійність для досягнення енергозберігаючого ефекту.

В розподільних електричних мережах сільських регіонів найбільша кількість аварійних відключень відбувається в мережах напругою 10 кВ. У зв'язку з цим для підвищення структурної надійності та зменшенні сумарних втрат розподільних електричних мереж використовують: багаторазове резервування, розукрупнення ліній 10 кВ за рахунок спорудження нових підстанцій 35-110/10 кВ, спорудження кабельних ліній, установку додаткових засобів підвищення надійності.

Одним з актуальних способів підвищення ефективності функціонування електричних розподільних мереж є розміщення засобів підвищення надійності, що особливо раціонально з впровадженням в експлуатаційну практику комутаційних апаратів нового покоління – реклоузерів.

Таким чином, актуальною задачею, є впровадження енергозберігаючих заходів в електричних мережах 10 кВ за рахунок їх управління та автоматизації, а саме - встановлення реклоузерів.

Мета і завдання досліджень. Метою досліджень є розробка науково-методичного апарату енергозбереження шляхом підвищення надійності електропостачання споживачів завдяки установці реклоузерів внаслідок використання методів з визначення місць і параметрів в розподільній мережі.

Об'єктом досліджень є процеси функціонування розподільних мереж з урахуванням їх секціонування.

Предметом досліджень є закономірності впливу комутаційних та селективних факторів на надійність секціонування розподільних мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання досліджень:

1. Проаналізувати сучасні показники якості які впливають на надійність електричних мереж України;
2. Дослідити вплив на мережу 10 кВ встановлення реклоузера.

1. Сучасний стан

В останні роки питома величина аварійних відключень на 100 км ПЛ 35-150 кВ становить 3,95. Аналогічний показник ПЛ 6-10 кВ становить 12,9, що перевищує питоми вимкнення ПЛ 35-150 кВ в 3,3 рази. Розподіл аварійних відключень в Україні:

- погодні умови і стихійні явища - до 35% всіх аварійних відключень в електричних мережах напругою 6-150 кВ;
- внаслідок тривалого терміну експлуатації об'єктів електричних мереж відбувається - до 30% відключень;
- з вини персоналу відбувається - до 10% відключень;
- дії сторонніх особ- 8% відключень;
- нез'ясовані причини - 17% загальної кількості відключень.

За 2009 рік в енергопостачальних компаніях середній показник тривалості відключень одного споживача (SAIDI) склав 952,9 хв. При цьому, цей показник у розвинених країнах становить: Південна Корея - 18,6 хв; Франція - 57 хв; Великобританія - 68,3 хв; США, Італія, Іспанія - на рівні 140 хв. Іншими словами, тривалість відключень одного споживача за рік в Україні від 52 до 7 разів більше в залежності від показника наведеної країни.

Щодо показника середньої кількості відключень одного споживача (SAIFI), то він в Україні становить 5,4, а в: Південній Кореї - 0,45; Великобританії, Австрії - 0,75; США і Франції - 1,3; Іспанії, Італії - 2,7. За цим показником Україна відстає від 12 до 2 разів.

Низький рівень якості обслуговування споживачів енергопостачальними компаніями в порівнянні з розвиненими країнами світу в основному викликано неможливістю резервування при виконанні планових ремонтних робіт на об'єктах електричних мереж. Рівень планових відключень перевищує в 1,4 рази показники аварійних.

Слід зазначити, що найбільш низькі показники SAIDI і SAIFI в Південній Кореї серед передових країн світу досягнуті за рахунок широкомасштабного впровадження автоматизованих систем управління розподільними електричними мережами на базі реклоузерів.

Для реконструкції та технічного переобладнання (модернізації) існуючих (зношених) електричних мереж до 2030 року оціночно необхідно близько 110 млрд. грн або 5,5 млрд. грн на рік.

Для порівняння: відкрите акціонерне товариство "Холдинг між-регіональних розподільних мережних компаній" Росії до 2020 року передбачає проектом Програми реновації розподільного мережевого комплексу виділити на ці цілі 2,85 трлн руб або понад 700 млрд. грн (70 млрд. грн на рік). При цьому намічається зниження зношеності розподільчих електромереж з 69% до 48%, технологічних втрат електроенергії з 8,7% до 6,1% та аварійності на 77%.

Технологічні витрати електроенергії в електричних мережах енергопостачальних компаній за 2009 рік склали 9,4 млрд. кВт · год або 11,7% від її відпуску в електричну мережу.

Слід зазначити, що в 2004 році технологічні витрати електроенергії становили 14,6 млрд. кВт · год або 16,1%.

Для порівняння. Щодо технологічних витрат електроенергії в країнах ближнього і далекого зарубіжжя, то вони складають на рівні: США - 6,5%; Англія - 8,6%; Франція, Південна Корея - 4,5%; Росія - 8,7%. Що стосується нормативної складової технологічних витрат електроенергії, то вона в останні роки майже незмінна і встановилася в межах 9,7-10,0 млрд. кВт · год або 11,5-12,1%.

Найбільш дієвими заходами, які суттєво впливають на зниження нормативних (технічних) витрат електроенергії, є: будівництво, реконструкція та технічне переоснащення (модернізація) об'єктів електричних мереж, або їх окремих вузлів; забезпечення оптимальних режимів роботи об'єктів електричних мереж із застосуванням автоматизованих систем диспетчерського управління (реклоузерів).

2. Дослідження мережі до і після встановлення реклоузера

Розглянемо приклад процесу відновлення електропостачання споживачів в досліджуваній мережі. Для прикладу візьмемо ситуацію (рис. 1), яка виникла в досліджуваній мережі 10 кВ.

Процес відновлення електропостачання розділяють на кілька характерних етапів в існуючих розподільних мережах:

1. Час, через який диспетчеру поступить інформація про наявність ушкодження на лінії;
2. Пошук ушкодженої ділянки;
3. Локалізація ушкодженої ділянки;
4. Включення споживачів неушкоджених ділянок;

5. Пошук безпосередньо місця ушкодження на локалізованій ділянці;
6. Ремонт ушкодженої ділянки.

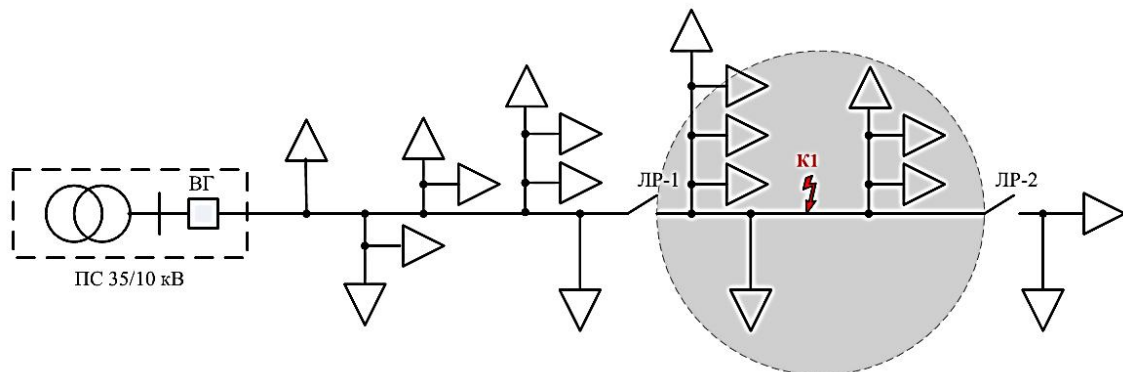


Рис. 1. Аварійна ситуація в досліджуваній лінії з одностороннім живленням.

Загальний час відновлення електропостачання в даній мережі становить менше 5 годин. При цьому близько 60% часу витрачається на пошук і локалізацію ушкодженої ділянки (етапи 1-4) і тільки 40% - безпосередньо на виконання ремонтних робіт (етапи 5-6).

При встановленні реклоузера виділення ділянки ушкодження її відключення відбувається автоматично, за лічені секунди. Таким чином, загальний час відновлення електропостачання фактично скорочується до величини часу, затрачуваного безпосередньо на обхід і ремонт ушкодженої ділянки.

У початковому варіанті схеми Л-1 (рис. 1), імовірність відключення споживачів по всій довжині лінії однакова. Де б не відбулося КЗ (у точках К1, К2) електропостачання втрачають усі споживачі. Ймовірність або кількість відключень лінії визначається її загальною довжиною.

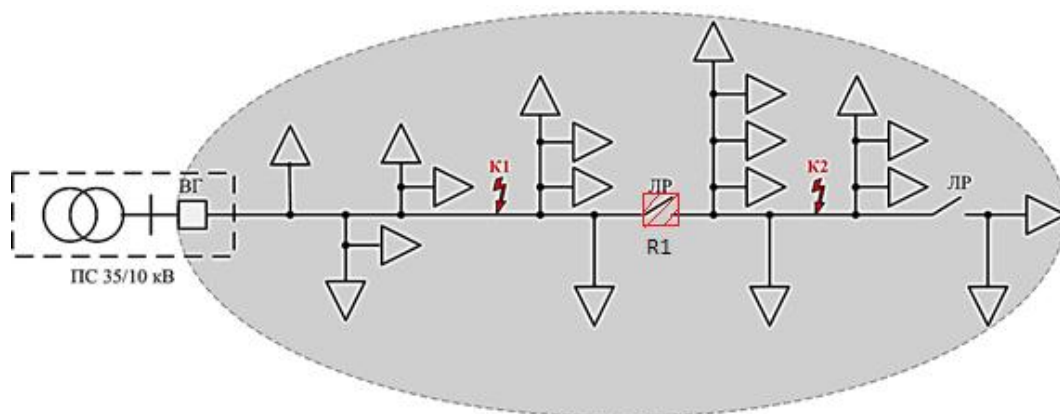


Рис. 2. Досліджувана лінія, після встановлення реклоузера.

Згідно розрахунку в програмному продукті «Оптимум ПСЛ» наукового керівника та програмному продукті «TELARM» який йде в комплекті з реклоузером серії РВА-TEL, в нашій схемі доцільно встановити один реклоузер. Розглянемо схему зі встановленим реклоузером (рис. 1.2). Дана схема розділена надві ділянки. Замість роз'єднувача ЛР встановлений автоматичний реклоузер R1. У цьому випадку імовірність відключення споживачів визначається ймовірністю виникнення ушкодження на кожній окремій ділянці. При виникненні КЗ на ділянці від головного вимикача ВГ до реклоузера R1, електропостачання втрачають усі споживачі. При КЗ на ділянці від R1 відключаються тільки споживачі за реклоузером R1.

Ефективність схеми обумовлена можливістю по кількості відключених споживачів точно ідентифікувати ушкоджену ділянку лінії і оперативно адресно направити ремонтну бригаду. До переваг схеми можна віднести збільшення надійності електропостачання споживачів окремої ділянки яка наближена до центру живлення. Також програмний продукт «TELARM» автоматично розраховує приблизне місце пошкодження після фіксування аварійної ситуації.

У випадку відсутності обмежень по витримці часу РЗА на головному вимикачі в центрі живлення для настроювання захистів і автоматики реклоузера використовуються традиційні ступінчасті принципи узгодження струмових захистів. При обмеженнях витримки часу на головній ділянці використовуються спеціальні функції РВА/TEL – малі ступені селективності, координація послідовності зон, введення або вивід ступені захистів у циклах АПВ.

Отже, можна зробити висновок, що при встановленні реклоузера в лінії з одностороннім живленням, надійність споживачів окремих ділянок уже не однакова і тим вища, чим ближче ділянка з встановленим реклоузером, на якій перебуває споживач, до центру живлення.

Висновок. У результаті виконання курсової роботи вирішено актуальне наукове завдання, що полягає у дослідженні енергозберігаючого ефекту після встановлення у мережі 10 кВ реклоузера. За результатами виконаних у роботі досліджень були сформовані наступні висновки:

1. Дослідження показали, що при зменшенні показників тривалості відключень (SAIDI) та частоти відключень (SAIFI) внаслідок встановлення пристрою автоматизації, має позитивний енергозберігаючий ефект, окрім підвищення надійності самої мережі;

2. Реклоузер може замінити собою велику кількість пристроїв релейного захисту, вакуумного вимикача, окремого пристрою АВР та АПВ, отже чим менше встановлено незалежних пристроїв на мережу, тим менша вірогідність відмови якогось з таких пристроїв;

3. Автоматичний пошук місця пошкодження у мережі за допомогою програмного продукту, що йде в комплекті, зменшує час пошуку пошкодження, а отже і зменшення недовідпуску електроенергії.

Список використаних джерел

1. Вакуумный реклоузер РВА/TEL-10-12,5/630У1. Руководство по эксплуатации. АРТА.674153.101 РЭ. Севастополь: “Таврида Електрик”, 2004 – 132 с. Режим доступа до сервера: http://tavrida-ua.com/documents/download_document/21_vakuumnyu_reklouzer_rvatel-10-125630_u1.html.
2. Іноземцев Г.Б.. Математичне моделювання та оптимізація систем електроспоживання у сільському господарстві / Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський: Навчальний посібник. – К.: Видавництво ТОВ АграрМедіаГруп, 2010 – 139 с.
3. Лыкин А. В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 115 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 р., схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р.
5. Гай О.В. Підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання / О.В. Гай, С.В. Стахнюк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 194(3). – С. 249-258. – Режим доступу до сервера: [http://nbuv.gov.ua/jpdf/nvnau_tech_2014_194\(3\)_42.pdf](http://nbuv.gov.ua/jpdf/nvnau_tech_2014_194(3)_42.pdf)
6. Бодунов В.М. Урахування острівних режимів при виборі потужності джерел розподіленої генерації / В.М. Бодунов, О.В. Гай // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – Вип. 6(111). – С. 82-83. – Режим доступу до сервера: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21251786>.
7. Гай О.В. Формування динамічної моделі відновлення електропостачання споживачів в системах з джерелами розподіленої генерації / О.В. Гай, В.В. Козирський, В.М. Бодунов В.А. Костюк // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. - №13 Т.2. – С. 50-56. - Режим доступу до сервера: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21845123>.
8. Тугай Ю. І. Інтеграція поновлювальних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / Ю.І. Тугай, О.В. Гай, В.В. Козирський, В.М. Бодунов// Технічна електродинаміка.. – 2011. – №5. – С.63-67.). - Режим доступу до сервера: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16691504>.

9. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах//Технічна електродинаміка. -2011. -№1. -С. 46-53.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СРЕДСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 кВ

Козирський В.В., Гай О.В., Заводовський О.О.

Аннотация - проведено обоснование целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий в электрических сетях 10 кВ за счет их управления и автоматизации, а именно - установка реклоузерив. Приведены примеры и поставлена задача дальнейших исследований.

A RATIONALE FOR IMPLEMENTING ENERGY SAVING MEASURES IN ELECTRIC NETWORKS OF 10 kV

V. Kozirsky, O. Guy, O. Zavodovsky

Summary

A rationale for implementing energy saving measures in electric networks of 10 kV due to their control and automation - namely, installation of reclosers. Examples task and further research.

УДК 636.085.53

**ВЛИЯНИЕ ОЗОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА НА ПОВЫШЕНИЕ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЕ РАСХОДА
ТОПЛИВА ПРИ ВЛАГОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОРМА**

**Ксенз Н.В., д.т.н.,
Толстоухова Т.Н., к.т.н.,
Вороной Н.С., к.т.н.,
Леонтьев Н.Г., к.ф.-м.н.,
Финенко В.Ю.**

*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет
Телефон: 89085043534*

Аннотация - приведены теоретические и экспериментальные графические зависимости рабочего процесса влаготермической обработки корма для сельскохозяйственных животных в запарнике-смесителе, показывающие сокращение продолжительности обработки корма, снижение удельного расхода топлива и повышение производительности технологической линии.

Ключевые слова: корм, топливо, интенсификация горения, влаготермическая обработка, озонированный воздух.

Постановка проблемы. Известно, что одним из основных путей повышения продуктивности сельскохозяйственных животных является полноценное их кормление, которое предусматривает использование кормов только в приготовленном виде. Многие технологии приготовления различных видов кормов предусматривают их тепловую обработку. Однако, как показывает практика, одним наиболее существенным недостатком таких технологий являются большие затраты топлива и электроэнергии на их осуществление, что существенно снижает их эффективность.

В этой связи совершенствование процесса тепловой обработки кормов в аппаратах периодического действия за счет использования озонированного воздуха, обеспечивающего снижение удельного расхода топлива, является актуальным.

Анализ последних исследований. Несмотря на проводимые в последнее время в Российской Федерации многочисленные исследования, направленные на снижение энергозатрат в технологических сель-

скохозяйственных процессах, энергоемкость отечественной сельскохозяйственной продукции все еще остается достаточно высокой – в растениеводстве она в два раза, а в животноводстве – в 3-4 раза выше, чем в передовых зарубежных странах [1,2].

Одной из важнейших проблем на современном этапе остается экономия топливно-энергетических ресурсов, стоимость которых в последние годы постоянно возрастает. Это особенно важно, если учесть, что в сельском хозяйстве России еще продолжается использование значительного количества котлов-парообразователей и теплогенераторов устаревших моделей, у которых значительная часть тепла выбрасывается с отходящими газами. Это связано с тем, что отечественное машиностроение для животноводства почти прекратило свое существование, а приобретение новой импортной дорогостоящей техники многим хозяйствам не под силу [2, 3].

Исследованиями [4] установлено, что котлы-парообразователи, используемые в животноводстве для получения горячей воды и пара температурой выше 120 °С и избыточном давлении до 0,07 МПа допускают довольно большие (39 %) потери теплоты. Основными из них являются потери с отходящими дымовыми газами (17 %) и потери от неполного сгорания топлива (12 %).

Особую озабоченность вызывают потери теплоты, связанные с неполным сгоранием топлива, так как они в производственных условиях изменяются в довольно широких пределах – от 3 до 21 %, а в отдельных случаях, как установлено [5,6], они достигают 55-60 %, что существенно снижает эксплуатационный КПД (0,22-0,56) котла-парообразователя, а, следовательно, и КПД всего теплового процесса и приводит к повышению расхода топлива, снижению производительности и увеличению энергоемкости процесса влаготермической обработки корма.

Снизить потери от неполного сгорания жидких видов топлива можно путем интенсификации процессов горения в теплогенерирующих установках.

По определению академика Б.В. Кантаровича (1958) существуют различные способы интенсификации процессов горения: конструкторские, эксплуатационные, технологические, химические, физические.

Анализ научных публикаций за последние 40 лет показал целесообразность использования физических методов (ионизирующие излучения, ультразвук, магнитные и электрические поля) для целей интенсификации процессов горения как наиболее эффективных. Особое внимание заслуживает вопрос использования электрических полей высокой напряженности [7,8].

Для теплогенерирующих установок, используемых в сельскохозяйственном производстве можно, на наш взгляд, предложить следующие пути решения данного вопроса [9].

1. Совершенствование процесса смесеобразования за счет воздействия электрического поля высокой напряженности на топливно-воздушную смесь.

2. Повышение кинетических характеристик процесса горения топлива за счет наложения электрического поля на пламя.

3. Применение ионизированного электроактивированного воздуха в качестве реагента.

Каждый из указанных путей к настоящему времени изучен недостаточно, а что касается их использования в сельскохозяйственных теплогенерирующих установках, то этот процесс только в начальной стадии.

Нашими исследованиями [4,9] подтверждено, что наложение на воздушную среду, используемую в качестве реагента, внешнего электрического поля высокой напряженности приводит к ее ионизации и образованию озона, обладающего большой окислительной способностью, способствующего интенсификации горения топлива и повышению тепловыделения.

Формулировка цели статьи (постановка задания). Показать влияние озонированного воздуха, используемого в качестве реагента, на интенсификацию процесса горения топлива и нагрева корма в технологической машине, а также на снижение удельного расхода топлива в производственных условиях.

Основные материалы исследования (основная часть). По данным лабораторных исследований [10], применение озонированного воздуха в качестве реагента, кроме снижения расхода топлива, способствовало и сокращению времени нагрева воды в калориметре на 8...8,6 %. Это подтверждается и результатами производственных исследований.

Графические зависимости результатов исследований (рис.1) показывают, что применение озонированного воздуха в качестве реагента с концентрацией озона 52 мг/м^3 при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,15$ и температуре топлива $T_T = 20^\circ\text{C}$ увеличивает температуру смеси «пар-вода» в котле-парообразователе (КВ-300Л) на $8,1^\circ\text{C}$ (кривые 1 и 2) и сокращают время выхода его на рабочий режим с 28,8 до 23,6 мин, или на 5,2 мин.

Если при отсутствии озона для достижения температуры смеси «пар-вода» 120°C необходимо 28,8 мин (кривая OO') при расходе топлива 13,018 кг, то при подаче озона за это же самое время температура смеси достигала $128,1^\circ\text{C}$ (кривая OO'') почти при таком же расходе топлива (13,206 кг).

Температура смеси «пар – вода» во втором случае увеличилась на $8,1^{\circ}\text{C}$, а расход топлива увеличился на $0,188$ кг, или на $1,4\%$.

С учетом ошибки опыта расход топлива в обоих случаях практически одинаков, а это значит, что увеличение температуры смеси «пар – вода» и сокращение времени выхода котла на рабочий режим практически не потребовало дополнительного расхода топлива и стало возможным благодаря интенсификации процесса горения топлива, которая достигнута за счет озонирования воздуха, подаваемого на горение, обеспечившего наиболее полное его сгорание.

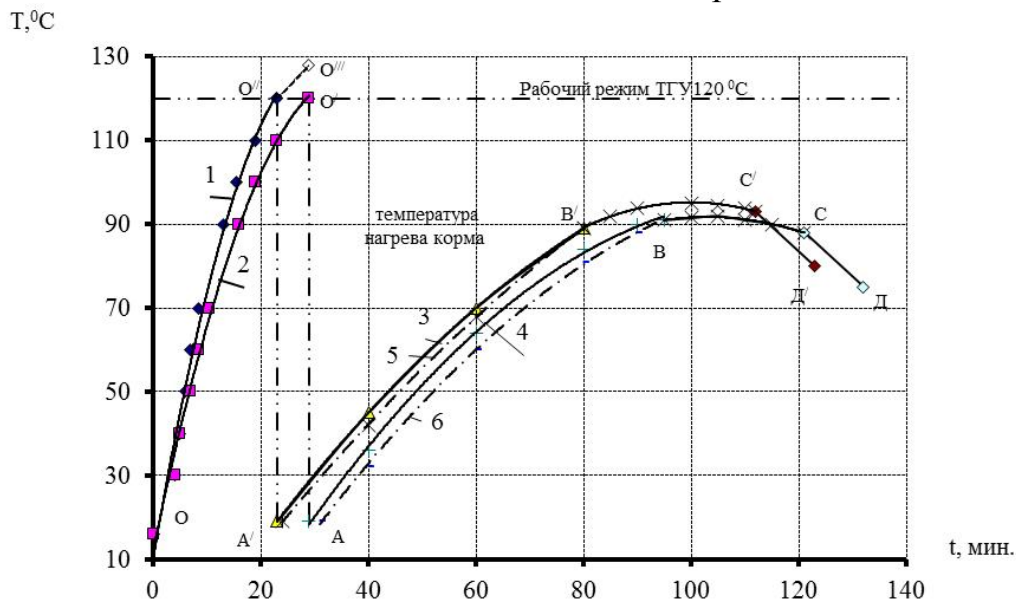


Рис. 1. График рабочего процесса влаготермической обработки корма в запарнике-смесителе С-7-П с использованием озонирующего эффекта: экспериментальные кривые: 1,3 – с подачей озона; 2,4 – без озона; теоретические кривые: 5 – с озоном; 6 – без озона.

Вместе с тем следует отметить, что сокращение времени выхода котла на рабочий режим (120°C) с $28,8$ до $23,6$ мин при подаче озона на горение, сопровождается снижением расхода топлива с $13,018$ до $10,688$ кг, или на $17,9\%$, т.е. пропорционально отработанному времени. Часовой расход топлива в эксперименте постоянный и составлял в среднем $27,12$ кг/ч.

Интенсификация горения печного бытового топлива в котле КВ-300Л при концентрации озона в воздухе, подаваемом на горение, равной 52 мг/м³, составила $18,1\%$.

Интенсификация горения топлива повышает температуру пламени, а, следовательно, и температуру смеси «пар – вода», что подтверждается повышением температуры дымовых газов котла КВ-300Л с 586 до 604°K (313 до 331°C) или на 18°C (рис.2). Что касается продолжительности влаготермической обработки корма в технологической машине, то она зависит от параметров пара и, в первую очередь,

от температуры и давления. Из рис.1 видно, что при обработке кормовой смеси в количестве 3972 кг, состоящей из концентрированного корма и воды, паром с температурой 393 °К (120 °С) (кривая 2, точка O') при отсутствии озона в воздухе, подаваемом на горение, продолжительность нагрева корма до температуры 363 °К (90 °С) составила 61,8 мин (кривая 4, участок AB).

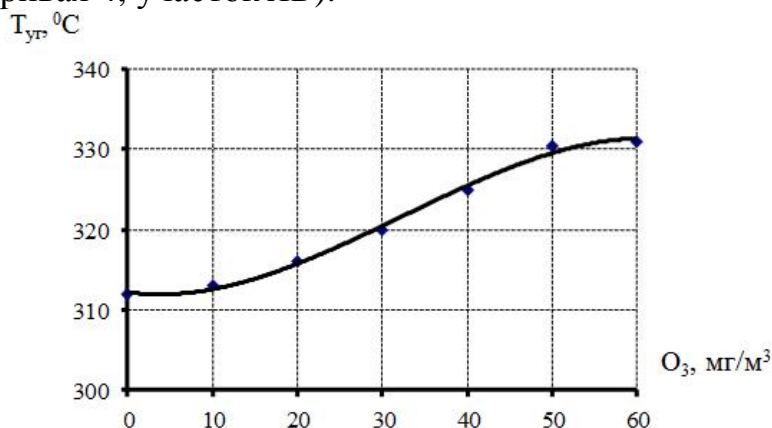


Рис. 2. Температура дымовых газов на выходе из котла КВ-300Л в зависимости от изменения концентрации озона в воздухе, подаваемом на горение.

При подаче воздуха с концентрацией озона 52 мг/м³ температура смеси «пар – вода» в котле увеличилась на 8,1 °С, что привело к повышению температуры обрабатываемого корма в запарнике-смесителе на 4,5...5 °С (кривая 3, участок $A'B'$), а, следовательно, и к ускорению процесса нагрева корма. Продолжительность нагрева корма в последнем случае составила 57,9 мин, что на 3,9 мин (6,3 %) меньше, чем в первом случае, когда озонированный воздух не использовался. Следует заметить, что и томление корма также протекает при более высокой температуре, которая составила в среднем 92,5...93 °С (кривая 3, участок $B'C'$), что на 2,5 °С выше, чем на участке BC кривой 4.

Продолжительность влаготермической обработки корма τ в технологической машине может быть описана выражением

$$\tau = \frac{Q_{HK}}{Q_{KH}}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где Q_{HK} – количество теплоты, необходимой для нагрева кормовой смеси до требуемой температуры, кДж;

Q_{KH} – теплопроизводительность котла-парообразователя, кДж/ч.

Часовую теплопроизводительность котла-парообразователя можно выразить известной зависимостью

$$Q_{KH} = D \cdot (i_n - i_{ng}), \text{ кДж/ч}, \quad (2)$$

где D – количество пара, производимого котлом-парообразователем, кг/ч;
 i_n – энтальпия пара, кДж/кг;
 $i_{нв}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг.

Количество теплоты, необходимой для нагрева корма до требуемой температуры можно представить выражением

$$Q_{нк} = Q_k + Q_v + Q_u + Q_{воз} + Q_{пот}, \quad (3)$$

где $Q_k, Q_v, Q_u, Q_{воз}$ – количество теплоты, необходимой для нагрева корма, воды, массы чана и воздуха в чане, кДж;
 $Q_{пот}$ – потери теплоты в окружающую среду через стенки чана и теплопроводящей сетью, кДж.

Составляющие выражения (3) можно выразить через произведение их масс, массовых теплоемкостей и разность температур.

Потери теплоты в окружающую среду можно представить выражением

$$Q_{пот} = 0,12Q_k, \text{ кДж} \quad (4)$$

где 0,12 – коэффициент, учитывающий указанные потери.

На рис. 1 представлены графические зависимости продолжительности тепловой обработки корма в технологической машине от температуры, построенные по рассчитанным и экспериментальным данным.

Опытные кривые нагрева корма 3 и 4 хорошо согласуются с теоретическими кривыми 5 и 6. Степень их сходимости составляет 91...95 %.

Из графика технологических операций влаготермической обработки корма с учетом работы ТГУ (рис.3) видно, что чистое время работы технологической линии по обработке корма без применения озонированного воздуха составило 130,6 мин., а при использовании озонированного воздуха – 121,5 мин (на 9,1 мин. меньше).

Общее время работы котла КВ–300Л без применения озонированного воздуха составило 90,6 мин., а с применением озонированного воздуха 81,5 мин. или на 10,1 % меньше, а расход топлива соответственно составил 40,951 кг и 36,838 кг или на 10,04 % меньше.

Эксперимент показал (табл.1), что производительность технологической линии при обработке кормовой смеси при использовании озонированного воздуха составила 1969 кг/ч и без его использования 1822 кг/ч, что на 7,7 % больше.

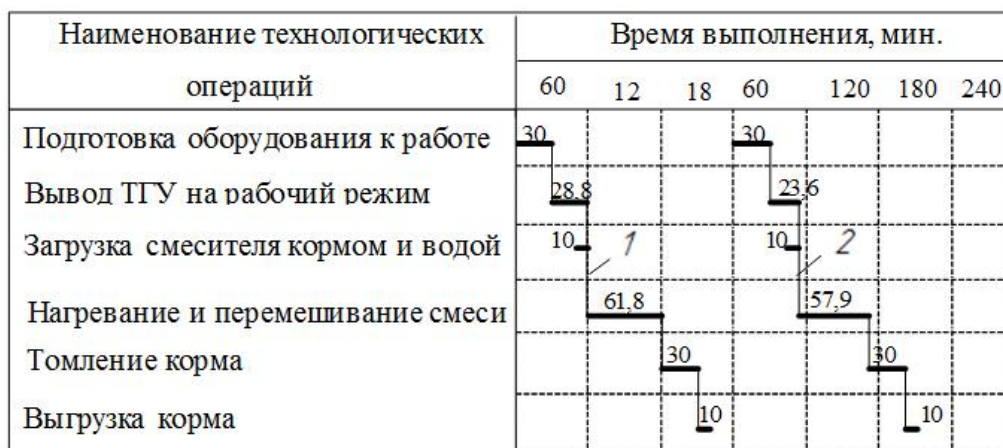


Рис. 3. График технологических операций влаготермической обработки кормовой смеси в запарнике–смесителе С–7–II с учетом работы котла КВ–300Л: 1 – без озона; 2 – с озоном.

Таблица 1 – Результаты производственного эксперимента по исследованию влияния озонированного воздуха на снижение расхода топлива и повышение производительности технологической линии

№, п/п	Наименование основных показателей	Исследуемые варианты		Изменения показателей	
		Без озона	С озоном	Натуральные един.	%
1	Количество обрабатываемой кормовой смеси в опыте, кг	3972	3972		
2	Чистое время работы технологической линии за опыт, мин.	130,6	121,5	9,1	7,0
3	Продолжительность работы ТГУ, мин	90,6	81,5	9,1	10,1
4	Продолжительность нагрева кормовой смеси в запарнике–смесителе до 90 °С, мин.	61,8	57,9	3,9	6,3
5	Время выхода ТГУ на рабочий режим, мин.	28,8	23,6	5,2	18,1
6	Продолжительность тепловой обработки корма, мин.	91,8	87,9	3,9	4,3
7	Расход топлива за опыт, кг	40,98 2	36,838	4,113	10,04
8	Удельный расход топлива, кг/т	10,31 0	9,274	1,036	10,04
9	Производительность технологической линии за час чистой работы, кг/ч	1822	1962	140	7,7

Выводы. Добавление озона в воздух приводит к интенсификации процесса влаготермической обработки корма.

Физической причиной повышения производительности и снижения расхода топлива при влаготермической обработке корма является, как показано нами в [11] увеличение концентрационного диффузионного потока вследствие роста теплового и химического потоков в результате дополнительного энерговыделения при разложении озона.

Список используемых источников

1. Касумов, Н.Э. Анализ структуры затрат энергии на производство сельскохозяйственной продукции / Н.Э. Касумов, И.И. Светницкий // Техника и оборудование для села. – 2013. – №10. – с. 21-23.
2. Энергетическая стратегия сельского хозяйства России на период до 2020 г. / Ю.Ф. Лачуга и др. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2009.
3. Иванов, Ю.Н. Научное обеспечение научно-технической сферы животноводства / Ю.Н. Иванов // Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК. – ч. II. – зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. – 335 с.
4. Вороной, Н.С. Теоретические предпосылки совершенствования процесса влаготермической обработки кормов в аппаратах периодического действия / Н.С. Вороной, Т.Н. Толстоухова // Новая техника и технологии в АПК: сб. науч. трудов РИПКК АПК. – Выпуск 2. – Ростов-на-Дону: ООО Терра, 2004. – 192 с.
5. Горбачев, В.С. Способы сбережения энергии в тепловых процессах животноводства / В.С. Горбачев // Сб. науч. трудов ВИЭСХ. – Москва, 1985. – Том 64. – с. 87-92.
6. Гольдман, В.П. Эффективная эксплуатация котельных установок – путь к сокращению затрат / В.П. Гольдман, Ф.А. Кривицкая // Сб. науч. трудов ВИЭСХ. – Москва, 1985. – Том 64. – с. 93-98.
7. Пурмал, М.Я. Применение ионизированного воздуха для интенсификации горения / М.Я. Пурмал // Энергетика. – 1981. – №4. – с. 110-112.
8. Пурмал, М.Я. Применение электрических полей для интенсификации горения / М.Я. Пурмал // Электронная обработка материалов. – 1983. – №6. – с. 42-43.
9. Вороной, Н.С. Теоретические предпосылки снижения энергоемкости влаготермической обработки кормов / Н.С. Вороной, Т.Н. Толстоухова // совершенствование процессов и технических средств в АПК: сб. науч. трудов. – зерноград: АЧГАА, 1999. – 124 с.
10. Вороной, Н.С. Исследования влияния электроактивированного воздуха на интенсификацию процессов горения жидкого топлива / Н.С. Вороной, Н.В. Ксенз, Т.Н. Толстоухова // Механизация и

электрификация производственных процессов в животноводстве: сб. научных трудов ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 1996. – с. 131-136.

11. Ксёنز Н.В. Озоновоздушная смесь как эффективный инструмент для сушки зерна / Н.В. Ксёنز, Н.Г. Леонтьев, А.В. Белоусов, И.Г. Сидорцов // Международный сельскохозяйственный журнал – 2014. – №4. – с.49-50.

ВПЛИВ ОЗОНОВАНОГО ПОВІТРЯ НА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ ВОЛОГОТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ КОРМУ

Ксенз М.В., Толстоухова Т.М., Вороной М.С. , Леонтьев М.Г.,
Финенко В.Ю.

Анотація - Приведені теоретичні і експериментальні графічні залежності робочого процесу волого термічної обробки корму для сільськогосподарських тварин в запарнику-змішувачі, тривалість обробки корму, що показують скорочення, зниження питомої витрати палива і підвищення продуктивності технологічної лінії.

INFLUENCE OZONE OF AIR ON THE INCREASE OF THE PRODUCTIVITY AND DECLINE OF EXPENSE OF FUEL AT HEAT TREATMENT OF FEED

N. Ksenz, T. Tolstouchova, N. Voronoy, N. Leontiev, V. Finenko

Summary

Theoretical and experimental graphic dependences over of working process of heat treatment of feed are brought for agricultural animals in a steamer-mixer, showing reduction durations of treatment of feed, decline of specific expense of fuel and increase of the productivity of technological line.

УДК: 636.085.53

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОРМОВ

Ксенз Н.В., д.т.н.,

Толстоухова Т.Н., к.т.н.

Азово-Черноморский инженерный институт

Телефон: 89085043534

Аннотация - приведен тепловой баланс технологической линии влаготермической обработки корма и анализ тепловых потерь. Представлено теоретическое обоснование увеличения количества выделяемого тепла в зоне горения топлива за счет интенсификации процесса горения, повышения температуры пара и теплоносителя, сокращения продолжительности влаготермической обработки корма в технологической машине, а также снижения тепловых потерь и топлива.

Ключевые слова: корм, топливо, тепловые потери, влаготермическая обработка, интенсификация горения.

Постановка проблемы. Практика показывает, что одним из наиболее существенных недостатков влаготермической обработки кормов для сельскохозяйственных животных являются большие затраты топлива и в первую очередь жидкого, на ее осуществление, что существенно снижает эффективность процесса.

Поэтому совершенствование процесса тепловой обработки кормов в аппаратах периодического действия, направленного на снижение удельного расхода топлива, является актуальным.

Анализ последних исследований. В реальных условиях влаготермическая обработка кормов осуществляется системой машин (технологической линией), в состав которой входят теплогенерирующая (ТГУ) и теплопотребляющая (ТПУ) установки, а также теплопроводящие сети и устройства (ТС).

Такая система будет работать эффективно в том случае, если она будет обрабатывать максимальное количество корма с требуемым качеством при минимальных эксплуатационных затратах. Этот процесс можно описать выражением, приняв его в качестве экономико-математической модели:

$$\begin{aligned}
z_{уэк} &= \frac{z_{эк}}{G_k} \rightarrow \min, \\
z_{эк} &\rightarrow \min, \quad G_k \rightarrow \max, \\
\Pi_{ТЛ}^{\partial} &\geq \Pi_{ТЛ}^H, \quad \Pi_{ТЛ}^H = \frac{G_k}{\tau_{ТЛ}}, \\
z_{\partial}^{\partial} &< z_{\partial}^H, \quad z_{\partial}^H = z_T + z_{эл}.
\end{aligned} \tag{1}$$

где $z_{уэк}$ – удельные эксплуатационные затраты, руб/т;

$z_{эк}$ – эксплуатационные затраты, руб.;

G_k – масса обработанного корма, т;

$\Pi_{ТЛ}^{\partial}, \Pi_{ТЛ}^H$ – действительная и номинальная производительности технологической машины, т/ч;

$\tau_{ТЛ}$ – общее время работы технологической линии, ч.;

$z_{\partial}^{\partial}, z_{\partial}^H$ – действительные и номинальные энергозатраты, руб.

Эксплуатационные затраты можно описать известным выражением

$$z_{эк} = z_n + z_m + z_{эл} + z_a + z_{то} + z_{пр}, \tag{2}$$

где z_n – зарплата с начислениями, руб.;

$z_m, z_{эл}$ – расходы на топливо и электроэнергию, руб.;

z_a – амортизационные отчисления, руб.;

$z_{то}$ – затраты на техническое обслуживание технологической линии, руб.;

$z_{пр}$ – прочие расходы, руб.

Из всех составляющих уравнения (2), по данным исследований, наибольшими являются затраты на топливо, которые достигают 28...42 % [1, 2].

Для того, чтобы влаготермическая обработка кормов была наиболее эффективной, необходимо, прежде всего, снизить затраты на топливо.

Для установления путей решения данного вопроса рассматривали теоретический график влаготермической обработки корма в технологической машине периодического действия в составе технологической линии (рис. 1).

Из графика видно, что общее время (τ) работы технологической линии можно описать выражением:

$$\tau = \tau_{ТГУ} + \tau_{нк} + \tau_{тк} + \tau_{\epsilon}, \quad (3)$$

где $\tau_{ТГУ}$ – время выхода ТГУ на рабочий режим (120 °С);

$\tau_{нк}$ – время нагрева корма в технологической машине;

$\tau_{тк}$ – время томления корма;

τ_{ϵ} – время выгрузки корма из технологической машины.

На основе анализа выражения (3) можно заключить, что время выгрузки корма определяется производительностью выгрузного устройства технологической машины и является величиной постоянной для конкретного вида корма.

Время томления корма задается зоотехническими требованиями и также является величиной постоянной.

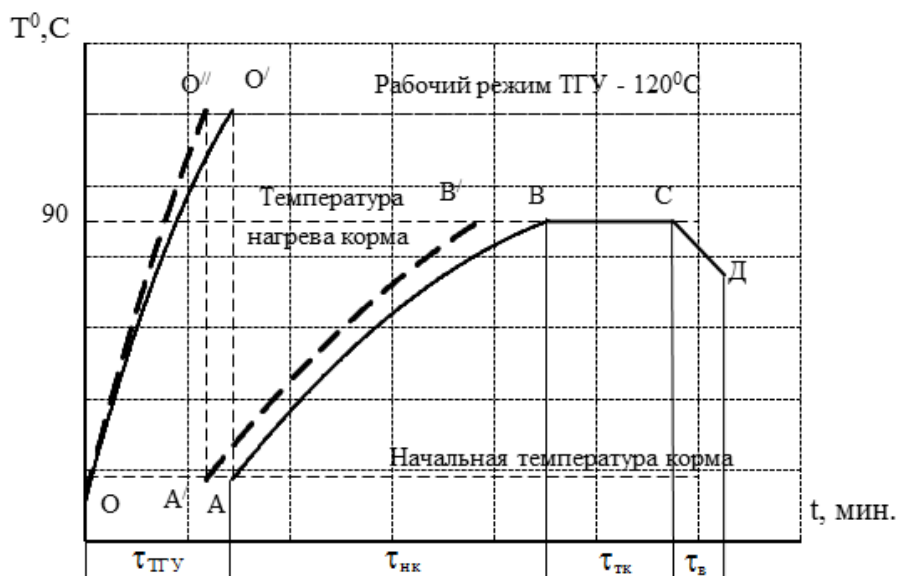


Рис. 1. Теоретический график рабочего процесса влаготермической обработки корма: OO' – кривая нагрева ТГУ до рабочей температуры (120°C); AB – кривая нагрева корма в ТГУ до заданной температуры; BC – кривая томления корма; CD – кривая потерь теплоты при выгрузке корма; в точке O' производится подача пара в ТГУ; в точке B подача пара прекращается.

Время выхода ТГУ на рабочий режим и время нагрева корма в технологической машине до требуемой температуры являются величинами переменными и могут изменяться в зависимости от интенсивности тепловых процессов, протекающих как в ТГУ, так и в технологической машине. Из этого следует, что общее время работы технологической линии можно сократить за счет ускорения выхода ТГУ на

рабочий режим (кривая OO'') и ускорения нагрева корма в технологической машине (кривая $A'B'$) рис.1.

Продолжительность влаготермической обработки корма – основной технологический фактор, от которого зависит не только качество продукта, но и энергозатраты, а, следовательно, и стоимость самой влаготермической обработки.

Таким образом, как видно из проведенного рассуждения, эффективность влаготермической обработки корма можно повысить за счет снижения продолжительности его тепловой обработки, повышения производительности технологической линии и за счет снижения расхода топлива.

В свою очередь, расход топлива можно снизить за счет снижения тепловых потерь, которые, как показывают исследования [2,3,4] в реальных условиях могут достигать 35...72 %.

Для этого рассмотрим тепловой баланс системы "ТГУ-ТС-ТПУ" (технологической линии), который можно представить выражением

$$Q_{mn} = Q_n^P B = Q_{to} + \sum Q_{nom}, \text{ кДж}, \quad (4)$$

- где Q_n^P – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг;
 B – расход топлива теплогенерирующей установкой за время ее работы в технологическом процессе, кг;
 Q_{to} – расход теплоты на осуществление влаготермической обработки корма, кДж;
 $\sum Q_{nom}$ – суммарные тепловые потери системы "ТГУ-ТС-ТПУ", кДж.

Суммарные тепловые потери для системы "ТГУ-ТС-ТПУ" можно представить выражением

$$\sum Q_{nom} = \sum Q_{TГУ} + \sum Q_{ТПУ} + \sum Q_{ТС}, \text{ кДж}, \quad (5)$$

- где $\sum Q_{TГУ}$ – суммарные потери теплоты ТГУ, кДж;
 $\sum Q_{ТПУ}$ – суммарные потери теплоты ТПУ, кДж;
 $\sum Q_{ТС}$ – суммарные потери теплоты ТС, кДж.

Суммарные потери теплоты теплогенерирующей установки можно представить выражением

$$\sum Q_{TГУ} = Q_{ст} + Q_{ос} + Q_{нст} + Q_{ухг}, \text{ кДж}, \quad (6)$$

- где $Q_{ст}$ – потери теплоты на нагрев стенок установки, кДж;
 $Q_{ос}$ – потери теплоты в окружающую среду через стенки установки, кДж;

$Q_{нст}$ – потери теплоты от неполного сгорания топлива, кДж;

$Q_{ухг}$ – потери теплоты с уходящими газами, кДж.

В теплопотребляющих установках теплота при влаготермической обработке корма расходуется на нагревание корма, стенок ТПУ, а также на потери в окружающую среду, продувку и на перегревание корма выше температуры готовности. Следовательно, суммарные потери теплоты, допускаемые теплопотребляющей установкой, можно представить выражением

$$\Sigma Q_{ТПУ} = Q'_{ст} + Q'_{ос} + Q_{нк} + Q_{пр}, \text{ кДж}, \quad (7)$$

где $Q'_{ст}$ – потери теплоты на нагрев стенок установки, кДж;

$Q'_{ос}$ – потери теплоты в окружающую среду через стенки, кДж;

$Q_{нк}$ – потери теплоты при перегревании корма выше температуры готовности, кДж;

$Q_{пр}$ – потери теплоты при продувке установки, кДж.

Аналогичным образом можно представить и суммарные потери теплоты в теплопроводящей сети

$$\Sigma Q_{ТС} = Q''_{ст} + Q''_{ос}, \text{ кДж} \quad (8)$$

где $Q''_{ст}$ и $Q''_{ос}$ – потери теплоты на нагрев стенок теплопроводящей сети и потери в окружающую среду, кДж.

Подставляя выражения (6), (7), (8) в уравнение (4) и делая соответствующие преобразования, получим уравнение теплового баланса, удобное для анализа

$$Q_{тп} = Q_n^P B = Q_{то} + Q_{ст.с} + Q_{ос.с} + Q_{пр} + Q_{нк} + Q_{нст} + Q_{ухг} \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что технологический процесс влаготермической обработки кормов в аппаратах периодического действия будет эффективным, если снизить расход топлива на его осуществление, а это, в свою очередь, возможно при снижении, прежде всего, потерь теплоты всеми или отдельными элементами исследуемой системы.

На основании анализа литературных источников нами установлено, что наибольшие потери теплоты (39%) (табл. 1) допускают теплогенерирующие установки, к которым относятся котлы-парообразователи, широко используемые в животноводстве для получения горячей воды и пара, температурой выше 120 °С и избыточным давлением до 0,07 МПа. Значительно меньше потери (31%) в теплопотребляющих установках (запарниках-смесителях периодического действия, непрерывного действия, варочных котлах высокого давления) и

совсем незначительные (2,25%) имеют теплопроводящие сети и устройства.

Анализ тепловых потерь, допускаемых технологической линией, показывает, что наиболее значительными являются потери теплоты в окружающую среду через стенки тепловых аппаратов и устройств (21,5 %), потери с отходящими дымовыми газами (17 %) и потери от неполного сгорания топлива (12 %) (табл. 1).

Таблица 1 – Тепловые потери, допускаемые исследуемой системой ТГУ-ТС-ТПУ в эксплуатационных условиях при влаготермической обработке кормов

№ н/п	Виды тепловых потерь	Значения тепловых потерь, %			Усредненные значения тепловых потерь, %
		ТГУ	ТПУ	ТС	
1	Нагрев стенок тепловых аппаратов	3...5	3...6	0,5...1	9,25
2	В окружающую среду через стенки тепловых аппаратов	2...10	8...20	1...2	21,5
3	Потери с отходящими газами	8...26	-	-	17,0
4	Потери от неполного сгорания топлива	3...21	-	-	12,0
5	На продувку тепловых аппаратов	-	4...10	-	7,0
6	На страховочный перегрев обрабатываемого корма	-	3...8	-	5,5
Усредненные суммарные значения тепловых потерь		39,0	31,0	2,25	72,25

Потери тепловой энергии в окружающую среду регламентируются на стадии проектирования и реализуются путем применения современных высокоэффективных термоизоляционным материалов, и, как правило не превышают 4-8 %.

Что касается потерь тепла с отходящими газами, то они обусловлены вторым законом термодинамики и составляют 10-26 % для ТГУ малой и средней мощности. Эти потери можно снизить на 3-8 % путем правильной организации топочного процесса [5].

Что же касается потерь теплоты от неполного сгорания топлива, то они в производственных условиях изменяются в довольно широких пределах от 3 до 21 %, а в отдельных случаях, как отмечают некоторые авторы [3,4,6], они достигают 55-60 %, что существенно снижает

эксплуатационный КПД (0,22-0,56) теплогенерирующих установок, а, следовательно, и КПД теплового процесса, что напрямую связано с повышением расхода топлива, а, следовательно, и с увеличением энергоемкости самого процесса влаготермической обработки корма.

Формулировка целей статьи. Таким образом, отыскание способов снижения потерь теплоты от неполного сгорания топлива является одной из задач нашего исследования.

Основная часть. Исследованиями многих ученых установлено, что потери от неполного сгорания топлива обусловлены потерями механического ($q_{мех}$) и химического ($q_{хим}$) недожогов топлива, что можно представить выражением

$$Q_{нст} = q_{мех} + q_{хим} \quad (10)$$

Известно, что эффективность процесса горения во всех случаях определяется временем сгорания каждой частички топлива, которая должна полностью выгореть за время ее нахождения в топке.

Полное время сгорания топлива определяется известным выражением

$$\tau_z = \tau_{\phi} + \tau_x, \quad (11)$$

где τ_{ϕ} – время протекания стадии смесеобразования, с;

τ_x – время протекания химической реакции процесса горения, с.

Если химическая реакция протекает несоизмеримо быстрее смесеобразовательного процесса, т.е. когда $\tau_x \ll \tau_{\phi}$ (к этой области относятся практически все процессы горения), то тогда время процесса сгорания топлива будет определяться чисто физическими факторами, регулирующими скорость смесеобразовательных процессов, т.е.

$$\tau_z \approx \tau_{\phi} \quad (12)$$

а отсюда следует, что смесеобразование является регулятором скорости горения и становится принципом регулировки основных топочных процессов.

Так жидкое топливо предварительно "измельчается" до дисперсионного и тонкодисперсионного состояния чисто механически. В последующей стадии путем теплового воздействия оно доводится до окончательного молекулярного "измельчения" испарением, т.е. до газообразного состояния. Таким образом процесс газификации топлива является неизбежной предварительной стадией высокотемпературного процесса горения. Стадия газификации является самой замедленной стадией, определяющей общую скорость процесса горения.

Таким образом, добиться определенного снижения потерь тепла от механического и химического недожога топлива можно путем интенсификации процессов горения [6,7] и, в первую очередь, процесса смесеобразования и увеличения скорости реакции горения.

Согласно кинетической теории газов [8], скорость химической реакции выражается зависимостью

$$W = \Pi_a \cdot \Pi_v \cdot K_t = P \cdot n_a n_v \cdot d_{cp}^2 \cdot \sqrt{\frac{8\pi RT}{M_{np}}} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (13)$$

где n_a, n_v – количество молекул А и В в 1 см³;

d_{cp} – средний эффективный диаметр сталкивающихся молекул, см;

P – поправочный множитель;

R – универсальная газовая постоянная (постоянная Больцмана), кал/град·моль;

T – абсолютная температура реакции, °К;

$M_{np} = \frac{M_a \cdot M_v}{M_a + M_v}$ – приведенный молекулярный вес;

M_a, M_v – молекулярный вес реагирующих веществ;

K_t – константа скорости реакции горения;

E – энергия активации, кал/моль;

e – основание натурального логарифма.

Из выражения (13) следует, что скорость реакции горения зависит от величины ее константы, от концентрации реагирующих веществ и пропорциональна количеству столкновений молекул друг с другом в единицу времени в единице объема пространства реагирующих газов.

В свою очередь, константа скорости реакции горения определяется температурой горения и энергией активации молекул реагирующих веществ (топлива и окислителя).

Из кинетической теории газов известно, что из числа всех соударяющихся пар частиц (атомов, молекул) в реакцию вступает их незначительная доля и именно те частицы, суммарная кинетическая энергия которых при столкновении превышает некоторую критическую величину E . Возбуждение частиц до критического значения E можно осуществить с различной эффективностью не только в результате тепловых соударений, но и под действием других видов энергии.

Известно, что число активных столкновений Z определяется следующим выражением:

$$Z = Z_o \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (14)$$

где Z_o – число сталкивающихся частиц.

Из уравнения (14) вытекает, что число активных столкновений можно повысить за счет снижения энергии активации E сталкивающихся частиц или увеличения температуры газовой смеси. Повышение температуры газовой смеси до значений, приводящих к образованию активных центров химических реакций, является нецелесообразным по экономическим соображениям. Поэтому остается только снижение энергии активации частиц реагирующих веществ. Здесь возможны два варианта.

Наиболее рациональным является повышение энергии сталкивающихся частиц за счет наложения электрического поля на газовую смесь или на пламя. Одним из таких путей является использование неоднородных электрических полей для интенсификации процесса горения. Предпосылкой применения электрических полей служит наличие в горючей смеси топлива с воздухом электрических зарядов (электронов, ионов) за счет статической электризации капель распыляемого топлива и температуры пламени [9]. Эти заряды рассеиваются в пламени в разных направлениях, и лишь некоторая доля из них участвует в неупругих столкновениях, приводящих к образованию активных центров химической реакции в виде атомов, радикалов, ионов или возбужденных частиц. Химическое взаимодействие частиц обуславливается в основном следующими факторами: природой частиц, энергетической подготовкой их к вступлению в реакцию и вероятностью соударений между ними.

Повышение энергии сталкивающихся частиц за счет наложения электрического поля на пламя приводит к тому, что электрон в поле напряженности E_m на пути x_n приобретает кинетическую энергию и ионизирует или диссоциирует нейтральную молекулу

$$\frac{mV^2}{2} = E_m \cdot x_n \cdot q_e, \quad (15)$$

где m , V – масса и скорость электрона;

E_m – максимальная напряженность электрического поля;

x_n – путь электрона до столкновения с молекулой;

q_e – заряд электрона.

В результате этого появляются частицы с пониженной энергией активации, которые легко вступают в химическое взаимодействие, и

таким образом увеличивают скорость горения топлива (газовой смеси).

Эффективность ионизационных процессов будет значительно выше, если применять неоднородные электрические поля, так как в них удается достичь значительных величин напряженности

$$E_m = \Theta E, \quad (16)$$

где Θ – скалярный коэффициент;

E – напряженность однородного поля.

Понизить энергию активации молекул реагирующих веществ, как нам представляется, можно и путем ионизации воздушной среды, используемой в качестве окислителя топлива, создав в ней высоковольтное неоднородное электрическое поле (коронный разряд) [8].

Рядом научных исследований установлено, что озонированный воздух способствует интенсификации горения топлива и повышению температуры пламени.

В плазме коронного разряда происходят процессы ионизации, диссоциации и возбуждения молекул. Наиболее важным процессом является образование озона. Общепринято считать, что в электрических разрядах, независимо от их формы, образование озона происходит в результате нескольких последовательных процессов по следующему механизму [8]:



где O_2^* – возбужденная молекула кислорода;

M – частица аэрозоля, необходимая для отвода энергии.

Первым актом, ведущим к синтезу озона, является возбуждение ускоренными в электрическом поле свободными электронами молекул кислорода (17). Следующим актом является диссоциация возбужденных молекул кислорода (18). Затем атомы кислорода реагируют с молекулами кислорода, образуя озон (19). Частица M необходима для отвода энергии от образующейся молекулы озона.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно полагать, что использование высоковольтного разряда, вызывающего ионизацию, диссоциацию и возбуждение молекул воздушной среды позволит повысить константу скорости реакции горения топлива, а, следовательно, и скорость самой реакции за счет снижения энергии активации молекул. Кроме того, использование высоковольтного разряда приводит к образованию озона в обрабатываемой воздушной среде, который является сильным окислителем, что также будет способствовать

увеличению скорости реакции горения топлива, а, следовательно, и снижению теплопотерь от химического недожога.

Вместе с тем, наряду с вышеуказанными факторами (концентрация реагирующих веществ, температура реакции, энергия активации), влияющими на скорость горения топлива, определенное влияние будут оказывать и факторы, характеризующие состояние воздуха, подаваемого на горение (озоновоздушной смеси), и топлива. Согласно рис. 2 такими факторами являются: концентрация озона в озоновоздушной смеси, температура и влажность воздуха, подаваемого на горение, температура и вязкость топлива и коэффициент избытка воздуха, т.е. скорость горения топлива в топочных устройствах котлопарообразователей является многофакторной зависимостью.

Для наших исследований из всех вышеуказанных факторов были отобраны те, которые независимы и значимы. Такими факторами являются концентрация озона в озоновоздушной смеси (O_3), температура топлива (T_m) и коэффициент избытка воздуха (α).

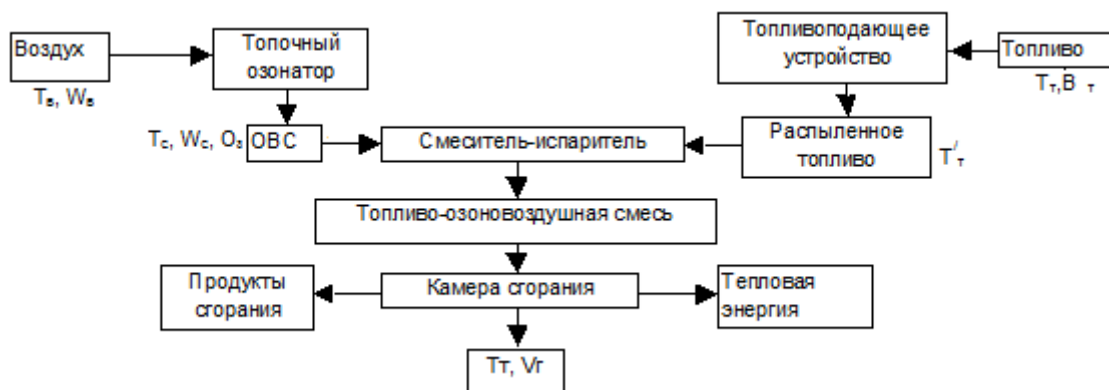


Рис. 2. Схема сжигания жидкого топлива в озоновоздушной смеси.

Таким образом, скорость сгорания топлива в котлах-парообразователях, используемых для тепловой обработки кормов, можно описать целевой функцией вида

$$V = f(O_3, T_m, \alpha) \quad (20)$$

или иначе функцией отклика типа

$$y = f(x_1, x_2, x_3). \quad (21)$$

Для описания возможной связи отклика с факторами используем на первом этапе математическую модель в виде полинома первой степени

$$\hat{y} = \epsilon_0 + \epsilon_1 x_1 + \epsilon_2 x_2 + \dots + \epsilon_n x_n, \quad (22)$$

где x_1, x_2, x_n – независимые переменные;

$\epsilon_0, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_n$ – коэффициенты регрессии.

Таким образом, как показывают проведенные теоретические исследования, можно утверждать, что за счет интенсификации процессов горения топлива в ТГУ можно снизить расход топлива и сократить продолжительность тепловой обработки корма, что приведет к повышению производительности технологической линии, а, следовательно, и к повышению эффективности влаготермической обработки корма. Если производительность технологической линии за один цикл тепловой обработки корма представить выражением

$$P_{ТЛ} = \frac{V \cdot k \cdot \gamma_k \cdot n}{\tau}, \quad (23)$$

где V – теоретический объем запорочного чана теплотребляющей установки, м³;

k – коэффициент использования объема запорочного чана;

γ_k – удельная масса обрабатываемого корма, кг/м³;

n – количество одновременно работающих однотипных теплотребляющих установок;

τ – время одного цикла работы технологической линии, ч,

а время одного цикла работы технологической линии выражением

$$\tau = \tau_{mгy} + \tau_{ц} = \tau_{mгy} + \tau_3 + \tau_t + \tau_в, \quad (24)$$

где $\tau_{mгy}$ – время выхода теплогенерирующей установки на рабочий режим, ч;

$\tau_{ц}$ – время продолжительность цикла тепловой обработки корма в теплотребляющей установке периодического действия, ч;

τ_3 – время загрузки корма, ч;

$\tau_в$ – время выгрузки корма, ч;

τ_t – продолжительность тепловой обработки корма, ч.

то, подставляя (24) в (23), получим

$$P_{ТЛ} = \frac{V \cdot k \cdot \gamma_k \cdot n}{\tau_{mгy} + \tau_3 + \tau_t + \tau_в}. \quad (25)$$

Таким образом, из выражения (25) видно, что производительность исследуемой системы ТГУ-ТС-ТПУ зависит от времени выхода теплогенерирующей установки на рабочий режим и от продолжительности цикла тепловой обработки корма, включающим время загрузки и выгрузки корма, а также его тепловую обработку.

Время загрузки и выгрузки корма определяется техническими характеристиками технологической машины и является постоянной величиной для конкретного вида корма. Следовательно, основным фактором, влияющим на производительность исследуемой системы, будет снижение затрат времени на выход теплогенерирующей установки на рабочий режим и на тепловую обработку корма.

Для подтверждения высказанного предположения рассмотрим теоретический график рабочего процесса влаготермической обработки корма в запарнике–смесителе периодического действия (рис. 1).

Из графика видно, что

$$\tau = \tau_{тгу} + \tau_{нк} + \tau_{тк} + \tau_{в}, \quad (26)$$

где $\tau_{нк}$ – время нагрева обрабатываемого корма до заданной температуры, ч;

$\tau_{тк}$ – время томления корма, ч.

Продолжительность тепловой обработки корма в технологической машине ($\tau_{тм}$) складывается из времени нагрева корма ($\tau_{нк}$) до заданной температуры и времени томления ($\tau_{тк}$), т.е.

$$\tau_{тм} = \tau_{нк} + \tau_{тк} \quad (27)$$

Конечная температура нагрева и время томления корма задаются зоотехническими требованиями и являются величинами постоянными. Отсутствие в выражении (26) времени загрузки корма в технологическую машину (τ_3) объясняется тем, что загрузка корма производится параллельно работе ТГУ.

Вывод. Таким образом, интенсификация горения топлива в ТГУ должна привести к увеличению количества выделяемого тепла в зоне горения топлива, а, следовательно, и к повышению энтальпии пламени и пара, температуры теплоносителя (кривая OO'') и, как следствие, к сокращению времени выхода теплогенерирующей установки на рабочий режим и времени нагрева корма, что в конечном итоге приведет к сокращению продолжительности влаготермической обработки корма, а, следовательно, и к повышению производительности технологической линии и снижению всех потерь, а значит, и топлива.

Список используемых источников

1. Денисов, В.А. Энергоемкость процесса запаривания пищевых отходов / В.А. Денисов М.П. Зыков // исследование процессов комплексной механизации и автоматизации в свиноводстве. – Подольск, 1988. – С. 17-19.

2. Корольков, В.А. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в тепловых процессах: обзорная информация / В.А. Корольков, В.А. Степанов, И.П. Тумин. – Москва: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – 30 с.

3. Горбачев, В.С. Способы сбережения энергии в тепловых процессах животноводства / В.С. Горбачев // Сб. науч. трудов ВИЭСХ. – Москва, 1985. – Том 64. – с. 87-92.

4. Гольдман, В.П. Эффективная эксплуатация котельных установок – путь к сокращению затрат / В.П. Гольдман, Ф.А. Кривицкая // Сб. науч. трудов ВИЭСХ. – М., 1985. – Том 64. – с. 93-98.

5. *Делягин, Г.Н.* Теплогенерирующие установки / *Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков.* – Москва: Стройиздат, 1986. – 559 с.
6. *Кулагин, П.В.* Сжигание жидких и твердых топлив / *П.В. Кулагин, С.С. Охотников.* – Москва: недра, 1967. – 280 с.
7. *Кнорре, Г.Ф.* Теория топочных процессов / *Г.Ф. Кнорре, К.М. Арефьев, А.Г. Блох* и др. – Москва: Энергия, 1966. – 491 с.
8. *Капцов, Н.А.* Электрические явления в газах и в вакууме / *Н.А. Капцов.* – Москва-Ленинград: Издательство технико-теоретической литературы, 1951. – 586 с.
9. *Салимов, А.У.* Вопросы теории электростатического распыливания и интенсификации процессов сгорания жидких топлив / *А.У. Салимов, М.Т. Балабеков, А.М. Багдасаров.* – Ташкент: Издательство ФАН, 1968. – 112 с.

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ОБГРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВОЛОГОТЕРМІЧОЇ ОБРОБКИ КОРМІВ

Ксьонз М. В, Толстоухова Т. М.

Анотація. Наведено тепловий баланс технологічної лінії вологотермічної обробки корму і аналіз теплових втрат. Представлено теоретичне обґрунтування збільшення кількості тепла, яке виділяється в зоні горіння палива за рахунок інтенсифікації процесу горіння, підвищення температури пари і теплоносій, скорочення тривалості вологотермічної обробки корму в технологічній машині, а також зниження теплових втрат і палива.

THEORETICAL BACKGROUND TO THE JUSTIFICATION OF WAYS TO IMPROVE THE PROCESS OF HEAT TREATMENT OF FEED

N. Ksenz, T. Tolstouhova

Summary

An heat balance heat production line feed processing and analysis of thermal losses. The theoretical justification for increasing the amount of heat generated in the combustion zone of fuel due to the intensification of the combustion process, increase the steam temperature and coolant, reducing the duration of the heat treatment of feed processing machine, as well as reducing heat loss and fuel.

УДК 63:535.21

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОПОННОГО
ВИРОЩУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ОВОЧІВ ШЛЯХОМ
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОПТИЧНОЇ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ**

**Кунденко М. П., д.т.н.,
Бархатов О. М., к.т.н.,
Автухов А. К., к.т.н.,
Ковальчук І. М., інженер,
Румянцев О. О., інженер,
Шинкаренко І. М., інженер**

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Тел. (057)712-28-33

Анотація – розглянуті закономірності ефективною зміни виходу біомаси в процесі гідропонного вирощування зелених овочів при умові різних режимів УФ-опромінення та фільтрації живильного розчину.

Ключові слова: опромінення, екстинкція, інактивація, поглинання, знезараження.

Постановка проблеми. До найбільш прогресивних методів гідропонних технологій відноситься проточна культура, що дозволяє протягом цілого року вирощувати багаті вітамінами зелені овочі. Переваги методу полягають в тому, що сприятливі умови для росту кореневої системи створюються за рахунок безперервної циркуляції живильного розчину, якість якого впливає на продуктивність рослин. Для підвищення якості живильного розчину необхідно проводити його знезараження. Представляється доцільним здійснювати знезараження живильного розчину з використанням способів і технічних засобів електротехнології, зокрема ультрафіолетового (УФ) опромінювання, яке летально для більшості хвороботворних мікроорганізмів.

Аналіз останніх досліджень. На основі аналізу встановлено, що до числа найбільш перспективних методів гідропонного вирощування рослин відноситься проточна культура. Для росту і розвитку кореневої системи необхідно створювати оптимальні умови за рахунок безперервної циркуляції живильного розчину, якість якого визначає продуктивність рослин. А для забезпечення відповідності характеристик

живильного розчину фітосанітарним нормам необхідно проводити його знезараження.

Знезараження та очищення живильного розчину доцільно здійснювати при комплексному використанні УФ-опромінення і фільтрації, що є важливим вирішенням питання летального ісходу для більшості бактерій, вірусів і спор. Як правило, у випадку фільтрації рідких середовищ рекомендується видалення механічних домішок. Відмінною особливістю живильного розчину є наявність мікро- (бактерій, спор і т. п.) і нанорозмірних (вірусів і т. п.) патогенів, стійкість яких до впливу УФ-випромінювання поступово підвищується. При цьому для інактивації мікророзмірних патогенів потрібні підвищені дози УФ-опромінення. У зв'язку з цим перспективним видається видалення в процесі фільтрації не тільки механічних домішок, а й мікророзмірних патогенів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Визначити шляхи підвищення ефективності гідропонного вирощування зелених овочів шляхом використання технічних засобів оптичної електротехнології.

Основні матеріали дослідження (основна частина). На підставі розробленої методики виконано розрахунок установки для УФ-опромінення і фільтрації живильного розчину, а також підібрані фільтруючі елементи і джерело УФ-випромінювання. Дані фізико-хімічних характеристик живильного розчину представлені в табл. 1.

Таблиця 1 - Фізико-хімічні характеристики живильного розчину

Коефіцієнт пропускання			Показник поглинання			Екстинкція		
мін.	сер.	макс.	мін.	сер.	макс.	мін.	сер.	макс.
Перед фільтрацією								
кольоровість – 30...33 град., мутність – більш 2,5 мг/дм ³								
0,51	0,57	0,63	0,46	0,55	0,64	0,20	0,24	0,28
Після фільтрації								
кольоровість – 30...33 град., мутність – менш 2,0 мг/дм ³								
0,73	0,74	0,75	0,29	0,32	0,35	0,13	0,14	0,15

Ефективність процесу фільтрації може бути оцінена шляхом визначення фізико-хімічних показників живильного розчину, які безпосередньо впливають на енергетичні витрати процесу УФ-знезараження: коефіцієнт пропускання, показник поглинання, екстинкція і т. д. (рис. 1).

На підставі багатофакторних експериментів отримані рівняння регресії, які адекватно описують відгук рослин на УФ-опромінення і фільтрацію живильного розчину (при зміні витрати живильного роз-

чину в межах 0,019-0,021 дм³/с і температури живильного розчину в межах 18-22 °С):

$$\begin{aligned} y_1 &= 240,8 - 21,5x_1^2 - 24,6x_2^2; \\ y_2 &= 30,7 - 3,1x_1^2 - 3,2x_2^2, \end{aligned} \quad (1)$$

де y_1, y_2 - біомаса листя салату і біомаса кореневої системи відповідно;

x_1, x_2 - витрата живильного розчину і температура живильного розчину відповідно.

Отримані рівняння регресії дозволили визначити, що для досягнення найбільшого відгуку рослин на знезараження живильного розчину необхідно прийняти: дозу опромінення 15 мДж/см²; витрату 0,02 дм³/с; температуру 20°С для живильного розчину з коефіцієнтом пропускання 0,75; показником поглинання 0,3; екстинкцію 0,15.

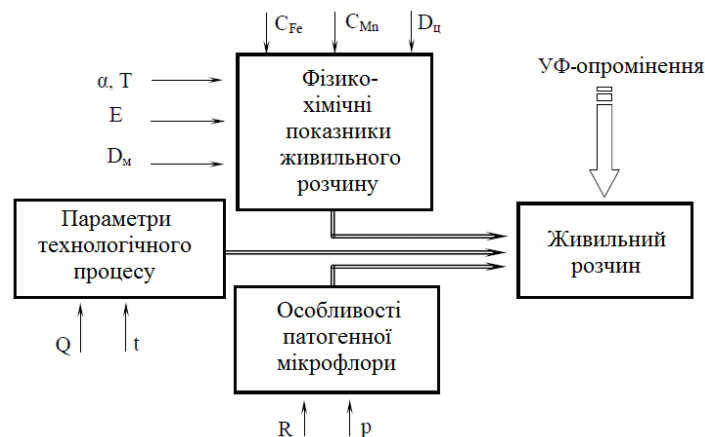


Рис. 1. Фактори, що впливають на енергетичні витрати процесу

УФ-знезараження поживних розчинів: Q - витрата, м³/год; t - температура, °С; R - тип, розміри, мкм, нм; p - рівень необхідної дезінфекції; T - коефіцієнт пропускання, %; E - екстинкція, абс. од.; α - показник поглинання, см⁻¹; D_m - мутність, мг/дм³; D_c - кольоровість, град.; C_{Fe} , C_{Mn} - вміст іонів заліза, марганцю, мг/дм³.

Розроблена нами лабораторна установка (рис. 2) для знезараження живильного розчину включала в себе резервуар, насос, капсульні фільтри, манометри, гнучкі трубопроводи, УФ-виромінювач типу UV-S. Об'єм фільтра – 0,06 · 10⁻³ м³; час фільтрації – 3,5 с; витрати електроенергії на знезараження живильного розчину – 0,2 кВт·год/м³. Для зміни режимів знезараження були передбачені вентилі і байпас.

Для дослідження параметрів живильного розчину використовувалися методи фотометрії (показник поглинання, коефіцієнт пропускання; екстинкція; мутність; кольоровість); іонометрії (активність іонів); кондуктометрії (електропровідність). Експериментальні дослідження проводилися при вирощуванні салату сорту Московський. В

якості відгуку рослин на фільтрацію і УФ-опромінення живильного розчину розглядалися біомаса листя і біомаса кореневої системи, які визначалися по завершенні вегетаційного періоду.

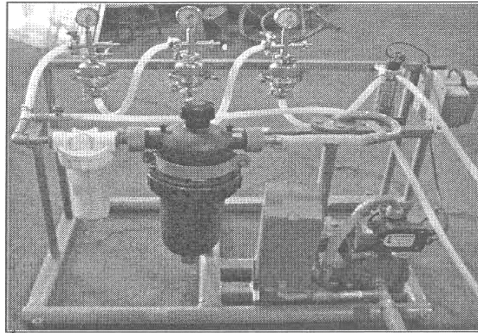


Рис. 2. Фрагмент лабораторної установки.

Вирощування салату здійснювалося протягом 30 діб при дотриманні необхідних параметрів мікроклімату. Розмір вибірки становив 60 рослин; досліди проводилися в чотирикратній повторності; використовувалися принципи рандомізації, що забезпечувало достатню точність досліду. Отриману біомасу визначали на вагах типу ВЛКТ-500. Екологічна чистота біомаси визначалася за вмістом нітратів, пестицидів, радіонуклідів та важких металів (рис. 3).

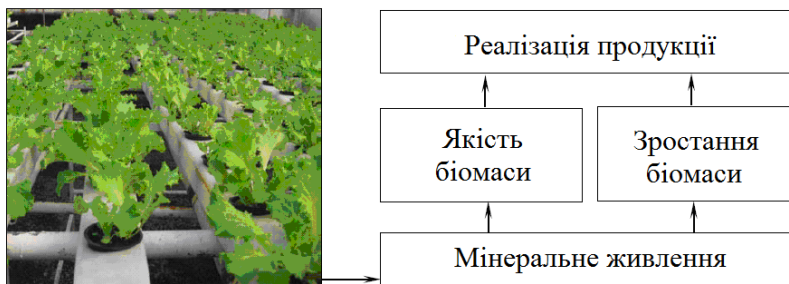


Рис. 3. Оціночні показники ефективності знезараження живильного розчину.

Для каскаду з 5 капсульних фільтрів підібрані фільтруючі елементи з рейтингом фільтрації до 0,2 мкм, що забезпечують ефективність затримання частинок не менше 96 % і розраховані на діапазон робочих температур 0...40⁰С, діапазон рН 2...12.

Проведені дослідження показали, що УФ-опромінення і фільтрація живильного розчину сприяють зменшенню загального числа мікроорганізмів, інактивації хвороботворних організмів і зниженню ураженості рослин хвороботворними мікроорганізмами. У цьому випадку зазначалося перевищення контрольного рівня по виходу біомаси салату на 10...15 % при збереженні біологічної повноцінності та екологічної чистоти отримуваної продукції.

Зміни електропровідності та активності іонів свідчать про активне протіканні процесів росту і розвитку кореневої системи, а також мінерального живлення рослин.

Висновок. Розроблена установка знезаражує живильний розчин шляхом фільтрації і УФ-опромінення, що реально дозволяє знизити необхідний бактерицидний потік і необхідну дозу опромінення в 1,5-1,8 рази за рахунок чого, відбувається зниження енерговитрат на отримання одиниці продукції на 2,5-3,0 ГДж/т та збільшення енергетичної ефективності на 13-15 %.

Список використаних джерел.

1. Кунденко Н. П. Влияние ультрафиолетового излучения на качество питательного раствора теплиц / Н. П. Кунденко, И. М. Ковальчук, И. Н. Шинкаренко // Вісник ХНТУСГ імені П. Василенка. - Вип. 159 (Технічний сервіс машин для рослинництва). - Х.: Апостроф, 2015. - 234 с.

2. Басарыгина Е. М. Сравнение технологий гидропонного выращивания зеленых овощей / Е. М. Басарыгина, Т. Н. Горяинова, Т. А. Басарыгина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 1. – С. 14–15.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОПОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ ОВОЩЕЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Кунденко Н. П., Бархатов А. Н., Автухов А. К., Ковальчук И. М.,
Румянцев А. А., Шинкаренко И. Н.

Аннотация – рассмотрены закономерности эффективного изменения выхода биомассы в процессе гидропонного выращивания зеленых овощей при условии различных режимов УФ-облучения и фильтрации питательного раствора.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GREEN HYDROPONIC CULTIVATION OF VEGETABLES BY USING TECHNICAL MEANS OPTICAL ELECTROTECHNOLOGY

N. Kundenko, A. Barhatov, A. Avtuhov, I. Kovalchuk,
A. Rummyantsev, I. Shinkarenko

Summary

The article considers the characteristics of effective change in biomass yield in the process of hydroponic cultivation of green vegetables subject to different modes of UV irradiation and filtration of nutrient solution.

УДК621.3:633/635.001.73

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ПЛОДІВ ТОМАТІВ

Куценко Ю.М., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (067)639-04-11

Лукашенко М.І., інженер

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Телефон: (098) 824-57-14

Анотація - досліджується магнітогідродинамічний (МГД) сепаратор плодів томатів в електропровідній рідині зі схрещеними магнітним та електричним полями для маневрування параметрами j , ρ та B при побудові технологічних процесів сепарації МГД-сепаратором.

Ключові слова: електротехнологія, магнітогідродинамічний (МГД) сепаратор, сортування плодів та овочів, додаткова електромагнітна сила.

Постановка проблеми. Головним завданням виробника сільсько-господарської продукції є максимальне збереження його корисних властивостей і якостей та доведення їх до споживача.

Важливу роль у цьому відіграє використана технологія. Суть цих технологій - у застосуванні різних електромагнітних явищ в процесі переробки будь якої с.-г. продукції як «живої» речовини і як фізичного об'єкта. Використання електромагнітного поля розширює функціональні можливості традиційних способів очищення, сортування, сушіння сировини та інше, відкриває нові ефекти біотехнологічної та хімічної природи, різко знижує енерговитрати.

Аналіз останніх досліджень. Застосування електротехнологій з іншими технологіями дозволяє покращити споживчі якості та фізико-хімічні властивості продукції сільського господарства [1].

Перед сільським господарством стоїть важливе завдання переходу від традиційних до більш досконалих ресурсо- та енергозберігаючих технологій.

Великі можливості використання електромагнітних полів у сортуванні овочів та фруктів, де останнім часом застосовують гідродинамічні технології [2], [3].

Формулювання цілей статті(постановка завдання). Подальша робота направлена на пошук нових можливостей електротехнологій, побудову технічних пристроїв та обладнання, на яких ця технологія може бути реалізована.

Одним із можливих варіантів вирішення цієї задачі є застосування електротехнологій, де електрична енергія використовується безпосередньо в операціях і процесах без будь-яких проміжних перетворень, що значно підвищує ефективність її використання.

Метою досліджень є вивчення дії електромагнітного поля на плоди як на фізичний об'єкт, а також вплив розмірних та масових параметрів плодів, концентрації розчину, параметрів електромагнітного поля на об'ємну силу, що діє на плоди, які сортуються у провідній речовині.

Основні матеріали дослідження(основна частина). У роботі пропонується магнітогідродинамічний (МГД) сепаратор, принцип дії якого заснований на виникненні додаткової до архімедової електромагнітної сили внаслідок взаємодії електричного струму з магнітним полем, що протікає через електропровідну рідину. В якості електропровідної рідини використовувався розчин хлористого натрію у воді. Такий розчин найбільш сприятливий для сортування сільськогосподарської продукції, так як нешкідливий і має невелику вартість. Слід зазначити, що магнітогідродинамічне сортування дозволяє сортувати продукцію не тільки з густиною, більшою за густину рідини, а навіть продукцію з густиною меншою густини розчину. У теоретичному плані використовується математичний апарат для дослідження руху фізичного тіла в ламінарній рідині з наданням додаткових умов при дії електричного та магнітного полів на провідну речовину.

Рух плоду в рідині визначається диференціальними рівняннями:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{dv_x}{dt} = R; \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = P - G - F_d \pm \Delta F, \quad (2)$$

де m – маса плоду, кг;

x, y – координати плоду через час t після початку спливання/занурення, м;

v_x, v_y – вертикальна та горизонтальна складові швидкості спливання/занурення плоду, м/с;

R – сила дії струменю потоку на плід, Н;

P – виштовхувальна сила, Н;

G – сила тяжіння плоду, Н;

F_d – гідродинамічний опір, Н;

ΔF – додатна або від’ємна сила до виштовхувальної сили, що додатково діє на плід зі сторони електромагнітного поля у провідній речовині, Н.

$$\Delta F = \alpha B j V \quad (3)$$

де α – коефіцієнт (чисельно менший одиниці), який враховує зниження теоретичної величини електромагнітної сили;

B – індукція магнітного поля, Тл;

j – густина струму в провідній рідині, А/м²;

V – об’єм плоду, м³.

Для плодів кулеподібної форми:

$$m \frac{dv_x}{dt} = C_x S \rho_p (v_p - v_x)^2; \quad (4)$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = \frac{mg \rho_p}{\rho_n} - mg - C_x S \rho_p v_y^2 \pm \alpha B j V \quad (5)$$

Після перетворень рівняння траєкторії спливання/занурення плоду в потоці рідини має вигляд

$$y = \frac{m}{C_x S \rho_p} \ln \operatorname{ch} \left(\sqrt{\frac{(g(\rho_p - \rho_n) \pm \alpha B j) C_x S \rho_p}{\rho_n m}} \frac{x}{v_p} \right) \quad (6)$$

де C_x – коефіцієнт лобового опору плоду в рідині;

S – переріз плоду в площині, яка перпендикулярна напрямку руху, м²;

ρ_p – густина рідини, кг/м³;

v_p – швидкість руху рідини, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

ρ_n – щільність плоду, кг/м³.

З рівнянь, які наведені вище, видно складну залежність результуючої сили, яка діє на плід, що знаходиться у провідній рідині, а також складний рух плоду під дією цієї сили.

Був змонтований експериментальний зразок МГД-сепаратора. В якості провідної рідини використовувався 10% розчин хлористого натрію. Роль імітатора плодів виконувала непровідна кулька діаметром 2,75 см щільністю 1,1 г/см³.

Для вимірювань електромагнітної сили, яка діяла на кульку, застосовували терези з точністю до 1 мг. Індукція магнітного поля змінювалася в межах 0,2...0,5 Тл ступенево. Була побудована залежність додаткової електромагнітної сили ΔP , яка діє на кульку-імітатор, від струму I , який проходить через провідну рідину, при сталому значенні індукції магнітного поля. Привертає увагу, що графік залежності має дві галузі: пряму і зворотну.

В певних межах зазначені галузі мають вигляд прямих паралельних ліній, що говорить про пропорційну залежність додаткової сили від сили струму через провідний розчин. Таким чином проявляються

межі щільності плодів овочів та фруктів при їх сепарації у провідній рідині. Середнє значення об'ємної сили, яка діяла на імітатор, складала 42 Н/м^3 [4].

З рівняння (6) видно, що траєкторія спливу/занурення плоду однакової щільності залежить від масово-розмірних характеристик плодів, а також електромагнітних параметрів МГД-сепаратора.

На основі рівняння (6) у форматі Excel була створена формула, яка дозволяє побудувати графічну залежність координати y – висоти спливання/занурення плоду томата від густини розчину NaCl у воді.

Відома залежність густини розчину від концентрації NaCl в розчині [5].

Межі зміни середньої щільності томатів різних ступенів зрілості сорту Солерос: зеленого – 841 кг/м^3 , молочного – 891 кг/м^3 , бурого – 949 кг/м^3 , рожевого – 969 кг/м^3 , червоного – 1086 кг/м^3 наведені в [3].

В таблиці 1 наведені розрахунки для граничного значення функцій y_+ , y_- , Δy на довжині сепарації 1 м, а також знаку + або – комплексу $\alpha j B$ рівняння (6) відповідно при зміні густини розчину ρ_p сталих значеннях наступних параметрів: $D = 0,02 \text{ м}$; $m = 0,003523 \text{ кг}$; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031 \text{ м}^2$; $\alpha = 1$; $B = 0,1 \text{ Тл}$; $j = 5000 \text{ А/м}^2$; $V = 0,0000042 \text{ м}^3$; $v_p = 0,5 \text{ м/с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\rho_n = 841, \text{ кг/м}^3$; $\Delta y = y_+ - y_-$ межі зміни функції y .

Таблиця 1 – Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні густини розчину

Склад NaCl		y_+	y_-	$\Delta y(\rho_p)$
$c, \%$	$\rho_p, \text{ кг/м}^3$	м	м	м
1	1005,3	0,458	0,328	0,130
2	1012,5	0,464	0,337	0,127
4	1026,8	0,476	0,356	0,120
6	1041,3	0,487	0,372	0,115
8	1055,9	0,499	0,388	0,111
10	1070,7	0,509	0,404	0,105
12	1085,7	0,520	0,418	0,102
14	1100,9	0,530	0,432	0,098
16	1116,2	0,539	0,444	0,095
18	1131,9	0,549	0,457	0,092
20	1147,8	0,558	0,470	0,088
22	1164,0	0,566	0,481	0,085
24	1180,4	0,575	0,492	0,083
26	1197,2	0,583	0,503	0,080

Густина розчинів солі віднесена до густини води при 4° C .

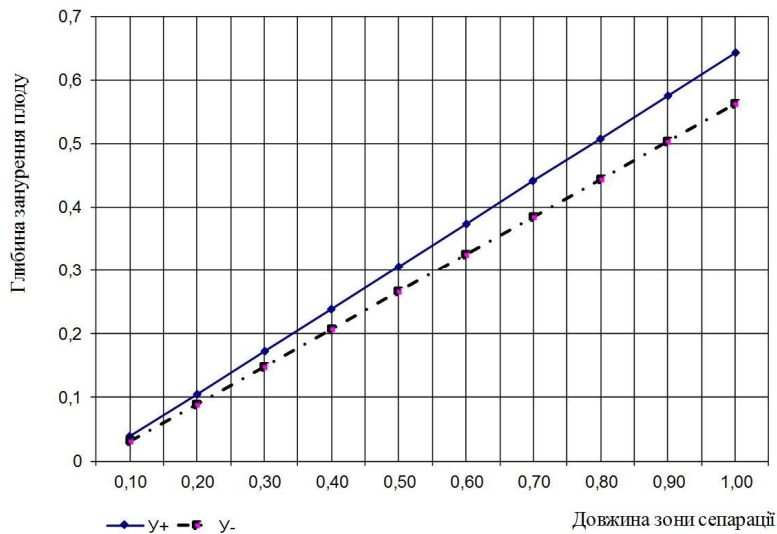


Рис. 1. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні густини розчину ρ_p .

В таблиці 2 наведені розрахунки для граничного значення функцій y_+, y_- дуна довжині сепарації 1 м, а також знаку + або – комплексу αj В рівняння(6) відповідно при зміні щільності струму j та сталих значеннях наступних параметрів: $D = 0,02$ м; $m = 0,003523$ кг; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031$ м²; $\alpha = 1$; $B = 0,1$ Тл; $V = 0,0000042$ м³, $\rho_p = 1041$ кг/м³; $v_p = 0,5$ м/с; $g = 9,81$ м/с²; $\rho_n = 841$, кг/м³.

Таблиця 2 - Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні щільності струму

j	y_+	y_-	$\Delta y(j)$
А/м ²	м	м	м
0	0,433	0,433	0
500	0,439	0,428	0,011
1000	0,445	0,422	0,023
2000	0,456	0,410	0,046
3000	0,467	0,398	0,069
4000	0,477	0,385	0,092
5000	0,487	0,372	0,115
6000	0,497	0,359	0,138
7000	0,507	0,345	0,162
8000	0,517	0,330	0,187
9000	0,527	0,315	0,212
10000	0,536	0,299	0,237
11000	0,545	0,282	0,63
12000	0,554	0,264	0,290

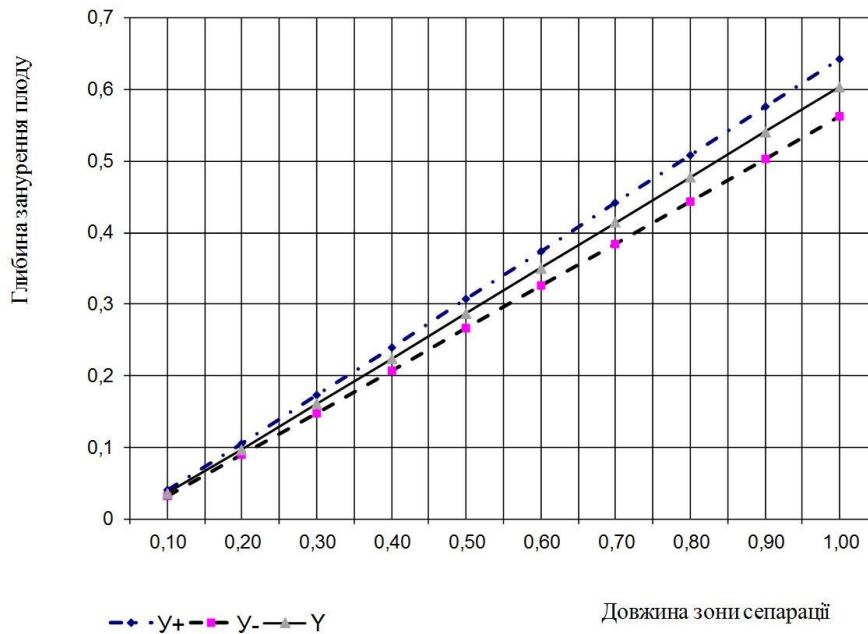


Рис. 2. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні щільності струму j .

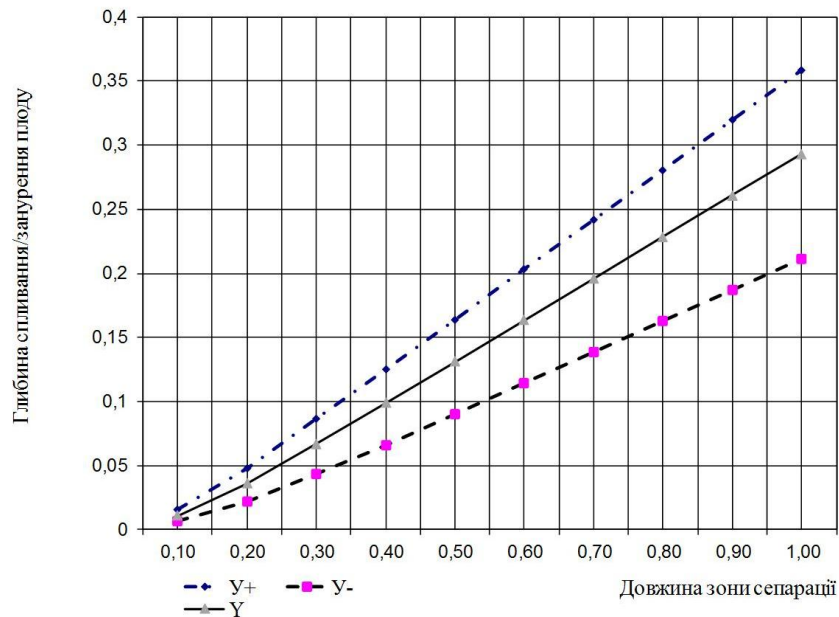
У таблиці 3 наведені розрахунки для граничного значення функцій $y_+, y_-, \Delta y$ на довжині сепарації 1 м, а також знаку + або – комплексу $\alpha j B$ в рівняння(6) відповідно при зміні магнітної індукції B у сталіх значеннях наступних параметрів: $D = 0,02$ м; $m = 0,003523$ кг; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031$ м²; $\alpha = 1$; $j = 5000$ А/м²; $V = 0,0000042$ м³; $\rho_p = 1041$ кг/м³; $v_p = 0,5$ м/с; $g = 9,81$ м/с²; $\rho_n = 841$, кг/м³.

Таблиця 3 - Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні магнітної індукції

В	y+	y-	Δy(B)
Тл	м	м	м
0	0,433	0,433	0
0,025	0,447	0,419	0,028
0,050	0,461	0,404	0,057
0,075	0,474	0,388	0,086
0,1	0,487	0,372	0,115
0,125	0,500	0,355	0,145
0,150	0,512	0,337	0,185
0,175	0,524	0,319	0,205
0,2	0,536	0,299	0,237
0,225	0,547	0,278	0,269
0,25	0,559	0,255	0,304
0,275	0,570	0,230	0,340
0,3	0,581	0,203	0,379

Продовження табл. 3

B	y_+	y_-	$\Delta y(B)$
Тл	м	м	м
0,325	0,591	0,171	0,420
0,350	0,602	0,132	0,470
0,375	0,612	0,079	0,533
0,39	0,618	0,021	0,597

Рис. 3. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні магнітної індукції B .

Висновок. Зміна концентрації провідної рідини призводить до зміни її густини ρ_p , що впливає на величину спливання/занурення y , причому збільшення концентрації c призводить до звуження меж зміни Δy .

За відсутності електричного струму $j = 0$ та магнітного поля $B = 0$ функції y_+ та y_- вироджуються в одну лінію, тобто процес спливання/занурення y плодів проходить без дії додаткової електромагнітної сили ΔF на провідну рідину.

Зміна щільності робочого струму j через провідну рідину впливає на величину спливання/занурення y плодів томатів в більшій мірі, ніж зміна концентрації c робочої рідини, а зміна індукції магнітного поля B у провідній рідині впливає на величину спливання/занурення y плодів томатів в більшій мірі, ніж зміна густини струму через провідну робочу рідину, що відображається функціями $\Delta y(B)$, $\Delta y(j)$.

Функції $\Delta y(j)$, $\Delta y(\rho_p)$ змінюються протилежно відносно одна одної, а функції $\Delta y(j)$, $\Delta y(B)$ змінюються узгоджено відносно одна одної, що дає можливість маневрувати параметрами j , ρ_p та B при побу-

дові технологічних процесів сепарації плодів томатів МГД-сепаратором.

Список використаних джерел

1. Куценко Ю.М., Лукашенко М.І. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах переробки сільськогосподарської продукції. Науковий вісник / Електронний журнал. Національний аграрний університет. – 2006. – Вип. 2. – С. 20–23.
2. Тарасенко В.В., Медведев В.П. Гидродинамическое сортирование плодов томата по степени зрелости. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №11. – С. 29 – 30.
3. Лубко Д.В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи гідродинамічного сортувальника плодів томатів за ступенем зрілості комбайнових зборів. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Мелітополь, 2005. – 24 с.
4. Куценко Ю.М., Лукашенко М.І. Магнітогідродинамічне сортування сільськогосподарської продукції з використанням електромагнітних полів. [Електронний ресурс]. Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 1, т. 2. – С.132 – 141. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/ejournals/nvtdau/index.html>.
5. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. – М.: Наука, 1986.– 245 с.

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ПЛОДОВ ТОМАТОВ

Куценко Ю.Н., Лукашенко Н.И.

Аннотация – исследуется магнитогидродинамический (МГД) сепаратор плодов томатов в электропроводной жидкости со скрещенными магнитным и электрическим полями для варьирования параметров j , ρp и B при проектировании технологических процессов сепарации МГД-сепаратором.

MAGNETOSEPARATOR FRUIT TOMATOES

Y. Kutsenko, N. Lukashenko

Summary

The article studies magnetic hydrodynamic (MHD) tomato fruit separator in conductive liquid with the intersected magnetic and electric fields for varying the parameters of j , ρp and B in projecting technological processes of separation with the MHD-separator.

УДК 621.317.76

МЕТОД РАСЧЕТА КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ**Куценко Ю.Н., д.т.н.,****Орел А.Н., к.т.н.,****Орел И.А., аспирант ****Таврический государственный агротехнологический университет**Тел.: 067-13-62-448*

Аннотация – рассмотрено методику расчета энергетических характеристик кварцевых генераторов СВЧ диапазона, которые используются в устройствах для электромагнитной терапии животных.

Ключевые слова: кварцевый генератор, СВЧ-излучение, автогенератор.

Постановка проблемы. Одной из актуальнейших проблем, которая стоит перед аграрным комплексом Украины на современном этапе, является повышение продуктивности в животноводстве с сохранением и увеличением поголовья сельскохозяйственных животных, которое в большой степени зависит от своевременного лечения их травматизма. В результате травм и их осложнений больные животные снижают продуктивность, преждевременно выбраковываются, нередко гибнут [1, 2].

В настоящее время для лечения травм животных в основном используют медикаментозные способы лечения. Применение антибиотиков и других медикаментов не всегда способствует выздоровлению животных и, кроме того, лекарственные препараты с молоком и мясом попадают в организм человека, оказывая на него отрицательное воздействие. Во многих странах мира ведется неустанный поиск немедикаментозных средств лечения и профилактики заболеваний животных [3, 4].

Решение поставленной задачи возможно на основе применения электромагнитных излучений СВЧ и КВЧ диапазонов [5,6]. Поскольку СВЧ терапия животных связана с резонансным действием и возбуждением акустоэлектрических волн в замкнутых клеточных мембранах, то для передачи максимальной энергии облучения биологическим объектам (95%) следует использовать высокостабильные СВЧ генера-

торы (нестабильность частоты $10^{-7} - 10^{-8}$), перестраиваемые по частоте и выходной мощностью до 50 мВт [7, 8].

Анализ последних исследований. Анализ литературных источников показывает, что отсутствие специализированных высокостабильных монохроматических источников СВЧ излучения сантиметрового диапазона делает проблематичной постановку вопроса о создании низкоэнергетической электротехнологии лечения сельскохозяйственных животных [9, 10].

При решении данной задачи необходимо проводить теоретический анализ основных характеристик кварцевого генератора и анализ его кратковременной нестабильности в зависимости от флуктуационных параметров элементов схемы автогенератора [11, 12].

Формулирование целей статьи (постановка задания). Целью статьи является расчет энергетических характеристик автогенератора, с использованием кварцевых генераторов.

Основные материалы исследования (основная часть). В настоящее время существует большое количество схем кварцевых генераторов до частот 100 МГц, методики расчета которых разнообразны и ограничены в частотной области генерации. В то же время в инженерной практике необходим достаточно простой метод расчета кварцевых генераторов в диапазоне частот от 200 до 500 МГц, доступный при использовании справочных данных или данных, измеренных простыми методами.

Ниже приводится один из возможных вариантов такой методики расчета, которая справедлива в широкой частотной области и при значительных выходных мощностях. Для расчета энергетических соотношений стационарного режима воспользуемся упрощенной структурной схемой рис. 1. При этом положим, что реактивные компоненты $Z_{вх}$, $Z_{вых}$, $Z_{н}$ влияют на фазовые соотношения в генераторе (на баланс фаз), то есть на частоту генерации, и не влияют на баланс амплитуд.

Рассмотрим баланс амплитуд. Из рис. 1 видно, что выходная мощность транзистора $P_{вых}$ выделяется в нагрузке, а часть ее через цепь ОС поступает на вход (базу) транзистора, причем некоторая доля входной мощности рассеивается на кварцевом резонаторе $P_{кв}$

$$P_{вых} = P_{н} + P_{кв} + P_{вх}. \quad (1)$$

Коэффициент передачи транзистора по мощности

$$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}. \quad (2)$$

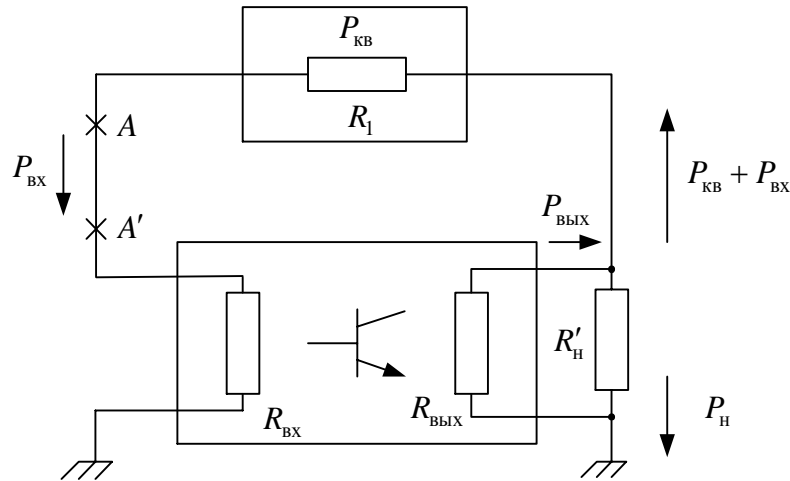


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого генератора.

Обозначим через K_Q коэффициент использования добротности резонатора

$$K_Q = \frac{P_{КВ}}{P_{ВХ}} = \frac{R_1^1}{R_{ВХ}}, \quad (3)$$

где R_1^1 – эквивалентное сопротивление потерь составного резонатора. Полагая $R_{ВХ} = R'_H$, схему рис. 1 можно представить в виде рис. 2.

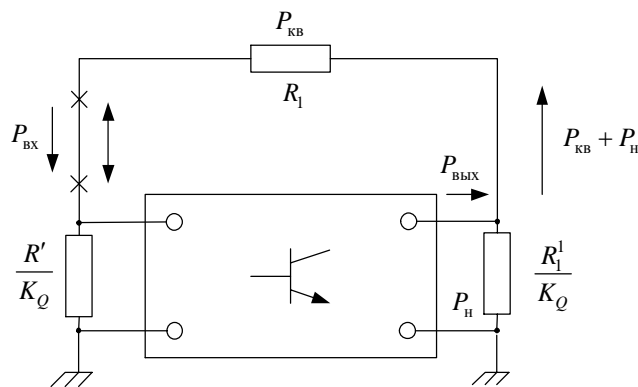


Рис. 2. Эквивалентная схема кварцевого генератора.

Подключение кварцевого резонатора к точкам с сопротивлениями $\frac{R_1^1}{K_Q}$ снижает его добротность до некоторой величины

$$Q_s = Q \frac{R_1^1}{R_1 + 2 \frac{R_1^1}{K_Q}} = \frac{Q_{K_Q}}{K_Q + 2}, \quad (4)$$

где Q – ненагруженная добротность кварцевого резонатора. Из выражений (2) - (4) имеем

$$K_p = \frac{P_n + \frac{P_{кв}}{K_Q} + P_{кв}}{\frac{P_{кв}}{K_Q}} = K_Q \left(\frac{P_n}{P_{кв}} + 1 \right) + 1. \quad (5)$$

Выражение (5) является условием баланса амплитуд генератора в стационарном режиме. После преобразования (5) получим выражение для выходной колебательной мощности генератора

$$P_n = \frac{P_{кв}}{K_Q} (K_p - K_Q - 1). \quad (6)$$

На практике обычно $K_p > 1 > K_Q + 1$. Тогда имеем

$$P_n = \frac{P_{кв} K_p}{K_Q} = \frac{P_{кв} K_p}{2} \left(\frac{Q}{K_Q} - 1 \right). \quad (7)$$

Из выражения (6) видно, что при $K_p = K_Q + 1$, $P_n = 0$, так как вся выходная мощность расходуется на поддержание самовозбуждения.

Обозначим через $K_{Qн}$ коэффициент снижения добротности резонатора

$$K_{Qн} = \frac{Q_3}{Q} = \frac{K_Q}{K_Q + 2}. \quad (8)$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи равен

$$K_{oc} = \frac{P_{ex}}{P_{oc}} = \frac{1}{K_Q + 1}. \quad (9)$$

Отсюда

$$K_{oc} = \frac{1 - K_Q}{1 + K_Q}. \quad (10)$$

Используя выражение для коэффициента регенерации $G = K_{oc} \cdot K_p$, нетрудно получить

$$K_{Qн} = \frac{K_p - G}{K_p + G}. \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что при некотором заданном коэффициенте G , который обычно выбирается равным 2, увеличения $K_{Qн}$ можно добиться лишь посредством повышения K_p . К этому выводу также можно прийти из анализа выражения (6). При повышении K_p

требуемый коэффициент регенерации G может быть обеспечен при меньших значениях $P_{кв}$. В то же время для обеспечения максимального $Q_э$ сильное снижение P_n нежелательно. Оптимальным с этой точки зрения будет значение $P_{кв}$, не вызывающее нелинейных эффектов (многочастотности) колебаний в непосредственной близости к частоте n механической гармонике резонатора. Эта мощность обычно оговаривается на каждый тип резонатора.

Для отечественных резонаторов на 250 МГц величина $P_{кв}=0,5$ мВт. В связи с выше изложенным удобно выразить P_n через K_p , $P_{кв}$, $K_{Qн}$

$$K_Q = \frac{2K_{Qн}}{1 - K_Q}; \quad (12)$$

$$P_n = P_k \frac{K_p(1 - K_{Qн}) - K_{Qн} - 1}{2K_{Qн}}. \quad (13)$$

Реальную величину $K_{Qн}$ можно определить из формулы (12), а затем по формуле (13) можно вычислить при заданном значении K_p максимально достигнутую выходную мощность P_n . Используя выше приведенные соотношения достаточно просто произвести энергетический расчет генератора при заданном G , $K_{кв}$ и $Q_э$.

По известным (измеренным) значениям $Re(Z_{вх})$ и зависимости $K_p(P_{вх})$ можно определить коэффициент трансформации и фазовый сдвиг, после чего составить схему генератора.

Вывод. Инженерная методика по расчету основных энергетических параметров автогенератора проста, действительна для широкой полосы частот и может использоваться для синтеза кварцевых генераторов в диапазоне частот от 200 до 500 МГц.

Список использованных источников

1. Общая ветеринарная хирургия / А. В. Лебедев, В. А. Лукьяновский, Б. С. Семенов [и др.]. - М. : Колос, 2000. - 488 с.
2. Герцен П.П. Профилактика и лечение травм в промышленном животноводстве / П.П. Герцен. - Кишинев : Кармя Молдовеняска, 1981. - 354 с.
3. Веремей Э.И. Справочник по применению лекарственных средств в ветеринарной хирургии / Э.И. Веремей, А.Н. Елисеев, В.А. Лукьяновский. - Минск : Урожай, 1989. - 170 с.
4. Улащина В.С. Актуальные вопросы электролечения и ультразвуковой терапии / В.С. Улащина. - Минск : Урожай, 1983. - 144 с.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа / А.С. Пресман. - М. : Наука, 1968. - 288 с.

6. *Девятков А.Д.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / *А.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий.* - М. : Радио и связь, 1991. - 169 с.

7. *Исмаилов Э.Ш.* Биофизическое действие СВЧ излучений / *Э.Ш. Исмаилов.* - М. : Энергоатомиздат, 1987. - 144 с.

8. *Кузнецов А.П.* Электромагнитные поля живых клеток в КВЧ диапазоне / *А.П. Кузнецов* // *Электронная техника : Сер. 1. Электроника СВЧ.* - 1991. - Вып. 7 (441). - С. 3 - 6.

9. *Справочник по радиоизмерительным приборам* / под ред. *В.С.Насонова.* - М. : Сов. радио, 1986. - 485 с.

10. Hewlett Packard Test Measurement Catalog, 1984 - 1998.

11. *Малахов А.Н.* Флуктуации в автоколебательных системах / *А.Н. Малахов.* - М. : Наука, 1967. - 660 с.

12. *Кабанов Д.А.* Обобщенный подход к исследованию автогенераторов / *Д.А. Кабанов* // *Радиотехника и электроника.* - 1974. - № 8. - С. 1690 - 1697.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КВАРЦОВОГО ГЕНЕРАТОРА НВЧ

Куценко Ю.М., Орел О.М., Орел И.О.

Анотація – розглянуто методику розрахунку енергетичних характеристик кварцових генераторів НВЧ діапазону, які використовуються в пристроях для електромагнітної терапії тварин.

METHOD OF CALCULATION CRYSTAL OSCILLATOR MICROWAVE

Y. Kutsenko, O. Orel, I. Orel

Summary

The method of calculating energy characteristics of quartz microwave generators, which are used in devices for electromagnetic therapy animals.

УДК 621.3.01:519.876.5

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЁВА И ЕГО СХЕМНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Тиховод С.М., д.т.н.,
Корнус Т.М., инженер,
Токмаков И.В., аспирант *

Запорожский национальный технический университет
Тел.: 068 458 16 64

Аннотация – разработан метод расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения уравнений состояния полиномами Чебышёва. Предложена схемная интерпретация разработанного метода. Показано, что в специальной схеме замещения для изображений токов в виде векторов, содержащих значения коэффициентов разложения этих токов по полиномам Чебышёва справедливы законы Кирхгофа.

Ключевые слова: полиномы Чебышёва, переходные процессы, схемная интерпретация.

Постановка проблемы. Одними из важных частей современного АПК являются электротехнические системы. Развитие этих систем невозможно без развития методов базовой дисциплины – теоретической электротехники, в том числе теории переходных процессов. Уравнения состояния, описывающие переходный процесс, являются интегро-дифференциальными уравнениями. Реальные исследуемые цепи могут содержать несколько сотен элементов, что приводит к большим системам дифференциальных уравнений и значительному времени моделирования.

Анализ последних исследований. Известны методы расчёта переходных процессов в электрических цепях [1 – 3]. Однако, они требуют больших затрат труда и времени для их расчета. Поэтому требуется их усовершенствование.

Формулирование целей статьи (постановка задания) – разработка более быстродействующего метода расчета переходных электрических процессов, использующего полиномиальную аппроксима-

цию решения, а также разработка схемной модели метода, создающая удобство при моделировании, что приводит к сокращению времени моделирования.

Основные материалы исследования (основная часть). Рассмотрим одноконтурную цепь, содержащую резистивный (R), индуктивный (L) и емкостный (C) элементы, включенные последовательно. Пусть до коммутации конденсатор был заряжен до напряжения $u_c(0) = u_{c0}$. При подключении в момент t_0 источника ЭДС $e(t)$ в цепи происходит переходный процесс, который описывается интегродифференциальным уравнением

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + u_c(0) = e(t) \quad . \quad (1)$$

Пусть уравнение, составленное по закону напряжений Кирхгофа, соблюдается точно в заданном ряде узловых временных точек t_0, t_1, \dots, t_{N-1} для некоторой функции, которая аппроксимирует зависимость тока от времени. В других точках закон напряжений Кирхгофа соблюдается с некоторой погрешностью. Для аппроксимации функции тока от времени будем использовать полиномы Чебышёва 1-го рода. Полиномы Чебышёва 1-го рода определяются на отрезке $[-1, 1]$ как

$$T_n(x) = \cos(n \arccos(x)). \quad (2)$$

Вычисляются они рекурсией

$$T_{n-1}(x) + T_{n+1}(x) = 2x T_n(x), \quad (3)$$

причем $T_0(x) = 1, T_1(x) = x$.

Как известно [2], полиномы Чебышёва 1-го рода ортогональны на сегменте $[-1, 1]$ с весовой функцией $h(x) = 1/\sqrt{1-x^2}$, следовательно, некоторую функцию $f(x)$, имеющую на отрезке $[-1, 1]$ непрерывные производные, можно разложить по полиномам Чебышёва.

Решение уравнения (1), как функцию от времени, в интервале времени $t \in [a, b]$ разложим по полиномам Чебышёва 1-го рода

$$i(t) \approx p(t) = c_0 T_0(t) + c_1 T_1(t) + c_2 T_2(t) + \dots + c_{N-1} T_{N-1}(t) \quad . \quad (4)$$

Для интерполяции на произвольном конечном отрезке $t \in [a, b]$ нужно сделать замену переменной

$$t = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} x \Rightarrow x \in [-1, 1]. \quad (5)$$

Коэффициенты c_k перед полиномами Чебышёва пока считаем неопределёнными. Определение функции $i(t)$ заключается в определении значений коэффициентов c_k ($k=0 \dots N-1$).

Для аппроксимирующего полинома (4) зададим условие метода коллокаций: в точках t_k деления интервала изменения аргумента

$$i(t_k) = p(t_k) \quad \text{для } k = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (6)$$

где \mathbf{D} – матрица системы линейных уравнений (14), $\tau = b - a$, $\mathbf{\Gamma} = [i'(t_1) \ i'(t_2) \dots \ i'(t_{N-1})]^T$ – вектор значений производных тока для точек с номером $k=1, 2, \dots, N-1$.

Проинтегрируем выражение (4) от t_0 до t_m , что соответствует точкам x_0, x_m на отрезке $[-1, 1]$

$$J(x_m) = \int_{x_0}^{x_m} p(x) dx = \int_{x_0}^{x_m} (c_0 T_0(x) + c_1 T_1(x) + c_2 T_2(x) + \dots + c_{N-1} T_{N-1}(x)) dx \quad (16)$$

Воспользуемся свойством разложения интеграла функции по полиномам Чебышёва: если некоторую функцию можно разложить по полиномам Чебышёва [3]

$$f(x) = \sum_{i=0}^{N-1} c_i T_i(x), \quad (17)$$

то интеграл определяется рекурсивной формулой [3]

$$\int f(x) dx = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{c_{i-1} - c_{i+1}}{2i} T_i(x). \quad (18)$$

В результате, используя свойство (18) для выражения (16), получим

$$\begin{aligned} J(x_m) &= \int_{x_0}^{x_m} p(x) dx = \delta_m i_0 + \left\{ \frac{1}{4} [T_2(x_m) - T_2(x_0)] - T_1(x_0) \delta_m \right\} c_1 + \dots \\ &+ \left\{ \left[\frac{T_{k+1}(x_m) - T_{k+1}(x_0)}{2(k+1)} - \frac{T_{k-1}(x_m) - T_{k-1}(x_0)}{2(k-1)} \right] - T_k(x_0) \delta_m \right\} c_k + \dots \\ &+ \left\{ \left[\frac{T_N(x_m) - T_N(x_0)}{2N} - \frac{T_{N-2}(x_m) - T_{N-2}(x_0)}{2(N-2)} \right] - T_{N-1}(x_0) \delta_m \right\} c_{N-1} = \\ &= S_{m,1} c_1 + S_{m,2} c_2 + \dots + S_{m,k} c_k + \dots + S_{m,N-1} c_{N-1} + \delta_m i_0. \end{aligned} \quad (19)$$

Рассмотрев выражение (19) при значениях x во всех узловых точках при изменении номера m от 1 до $N-1$, получим систему уравнений, которая в матричной форме имеет вид:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \vdots \\ J_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \dots & S_{1,N-1} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \dots & S_{2,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{N-1,1} & S_{N-1,2} & \dots & S_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{N-1} \end{bmatrix} + i_0 \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (20)$$

или

$$\mathbf{J} = \mathbf{S} \mathbf{C} + \Delta \cdot i_0, \quad (21)$$

где \mathbf{J} – вектор интегралов (24) для значений $k=1, 2, \dots, N-1$;

$$\Delta = [\delta_1 \ \delta_2 \ \dots \ \delta_{N-1}]^T; \quad (22)$$

Преобразуем интегро-дифференциальное уравнение (1) с учетом аппроксимации (4) для точек $k = 1, 2, \dots, N-1$. Получим в матричной форме выражение

$$L\mathbf{I}' + R\mathbf{I} + B\mathbf{J} + u_{C0} = \mathbf{e}, \quad (23)$$

где $B=1/C$, \mathbf{e} – вектор значений ЭДС источника в точках 1, 2, ..., $N-1$ текущего временного сегмента.

Если подставить в выражение (23) матрицы \mathbf{I} (9), \mathbf{I}' (14), \mathbf{J} (20), то получим выражение закона напряжений Кирхгофа для изображения \mathbf{C} тока $i(t)$

$$(LD + RV + BS)\mathbf{C} = \mathbf{e} - u_{C0} - Ri_0 - B\Delta \cdot i_0. \quad (24)$$

Зная вектор \mathbf{C} коэффициентов полиномиальной аппроксимации функции тока $i(t)$ и начальные значения тока i_0 можно определить значения тока во всех произвольных точках временного сегмента τ согласно (4)

$$i(x) \approx i_0 + c_1(T_1(x) - T_1(x_0)) + c_2(T_2(x) - T_2(x_0)) + \dots + c_{N-1}(T_{N-1}(x) - T_{N-1}(x_0)). \quad (25)$$

Схемная интерпретация метода численного расчета переходных процессов в магнитоэлектрических цепях. Уравнение (24) можно интерпретировать следующим образом. Пусть в исходной ветви $R-L-C$ протекает ток $i(t)$. Исходной ветви соответствует ветвь замещения (рис.1), по которой протекает изображение \mathbf{C} , тока $i(t)$.

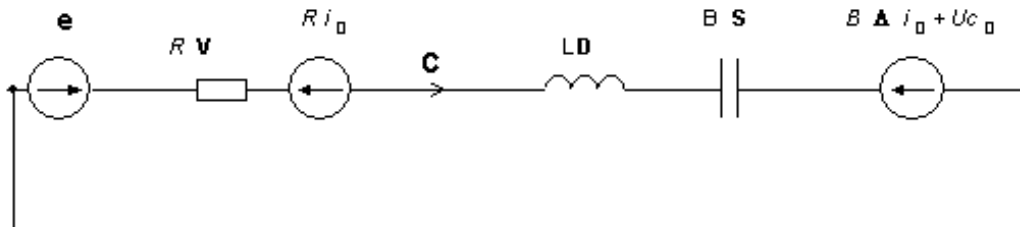


Рис. 1. Схема замещения одноконтурной $R-L-C$ - e цепи.

На схеме замещения вместо оригинала тока имеем изображение \mathbf{C} – это вектор коэффициентов разложения тока $i(t)$ по полиномам Чебышева. При этом в ветви замещения резистивный элемент имеет изображение сопротивления RV и последовательно с ним навстречу току включается постоянная ЭДС величиной $R \cdot i_0$ (рис.1). Индуктивный элемент имеет изображение LD , а емкостный элемент – изображение BS и последовательно с ним навстречу току включается источник постоянной ЭДС величиной $B\Delta i_0 + u_{C0}$.

Можно доказать, что в узлах схемы замещения для изображений \mathbf{C} соблюдается закон токов Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^b C_k = 0. \quad (26)$$

Следовательно, при известных значениях токов ветвей i_{0k} и напряжений на конденсаторах u_{C0k} в начале сегмента $[t_0, t_{N-1}]$, система уравнений, составленная по законам Кирхгофа для изображений токов для всех узлов без одного и для всех главных контуров, имеет единственное решение. В результате решения системы линейных алгебраических уравнений получаем векторы \mathbf{C}_k , содержащие значения коэффициентов разложения функций токов по полиномам Чебышёва для всех ветвей. Зная для любой ветви коэффициенты разложения тока $i(t)$ по полиномам Чебышёва, значение i_0 и напряжение на конденсаторе u_{C0} в начальной точке t_0 , мы можем получить значение тока и напряжения на конденсаторе во всех узловых точках в интервале времени $[t_0, t_{N-1}]$

$$\mathbf{I} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{C} + i_0. \quad (27)$$

Если положения опорных точек x_k в сегменте $[-1, 1]$ выбирать не равномерно, а в нулях полиномов Чебышёва, то погрешность интерполяции можно существенно снизить. В этом случае плотность опорных точек сгущается на краях сегмента.

Пример расчета переходного процесса в электрической цепи. Для апробации разработанного метода составлена компьютерная программа для расчета переходного процесса в электрической цепи (рис.2).

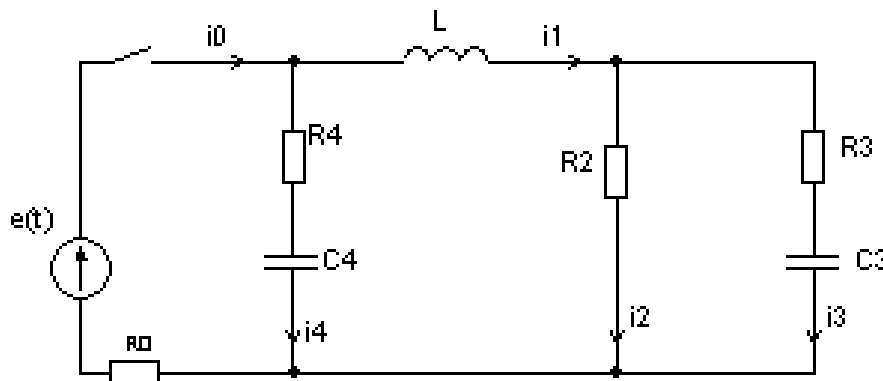


Рис. 2. Электрическая схема исследуемой модельной цепи.

Согласно правилу преобразования, показанному на рис.1, составим схему замещения для изображений токов.

На схеме замещения (рис. 3) дополнительные источники ЭДС имеют следующие обозначения: первый индекс – «0» значение тока берется в точке $k=0$ текущего временного интервала; второй индекс обозначает номер ветви в цепи. $\mathbf{C}_0 - \mathbf{C}_4$ – векторы-изображения токов ветвей, содержащих изображения сопротивления и ЭДС.

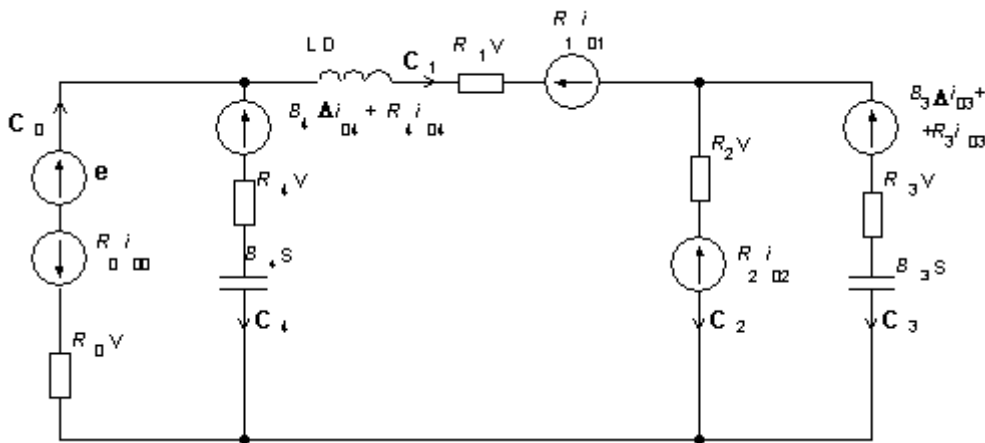


Рис. 3. Схема замещения для модельной цепи.

Для схемы замещения, показанной на рис. 3, система уравнений, составленная по законам Кирхгофа для изображений токов, имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} C_0 - C_1 - C_4 &= 0; \\ C_1 - C_2 - C_3 &= 0; \\ R_0 VC_0 + R_4 VC_4 + B_4 SC_4 &= e - R_0 i_{00} - R_4 i_{04} - B_4 \Delta i_{04} - u_{C04}; \\ R_1 VC_1 + LDC_1 + R_2 VC_2 - B_4 SC_4 - R_4 VC_4 &= -R_1 i_{01} - R_2 i_{02} + B_4 \Delta i_{04} + u_{C04} + R_4 i_{04}; \\ -R_2 VC_2 + R_3 VC_3 + B_3 SC_3 &= R_2 i_{02} - R_3 i_{03} - B_3 \Delta i_{03}, \end{aligned} \right\} (28)$$

где $i_{00}, i_{01}, i_{02}, i_{03}, i_{04}, u_{C03}, u_{C04}$ – значения токов ветвей 0-4 и напряжений на конденсаторах 3,4 в начале текущего цикла, Δ – вектор отклонения узловых точек от нулевой точки.

Система уравнений (28) для изображений токов и напряжений является системой алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами, и имеет единственное решение – векторы C_b , где номер ветви $b=0...4$.

По программе VDS_C, составленной согласно предложенному методу, выполнен расчет переходного процесса, результаты которого представлены на рис.4. При этом достигнута максимальная погрешность не больше 0,1% . Для оценки точности вычислений предложенным методом выполнен также точный аналитический расчет переходного процесса при тех же значениях исходных данных.

На графике рис.4 совмещены кривые, полученные численным методом и табулированием аналитического решения, причем значения, соответствующие точному аналитическому выражению, показаны крупными точками. Выполнен также расчет модельной задачи при использовании метода Гира. Сравнение процессорного времени расчета модельной задачи по предложенному методу и по методу Гира показало, что при решении модельной задачи предложенный метод имеет быстроедействие более чем в четыре раза лучшее, чем многошаговый метод Гира.

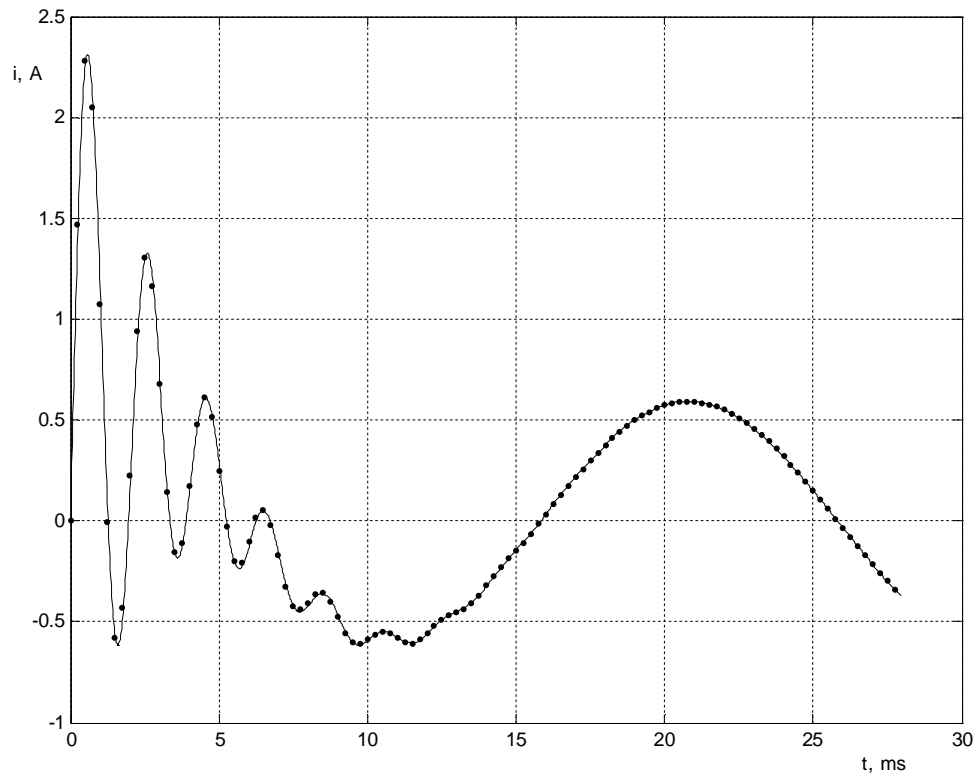


Рис. 4. Зависимость тока $i_i(t)$, полученная в результате расчета по программе VDS_C.

Выводы. Предложенный метод расчета переходных процессов в электрических цепях позволяет интегро-дифференциальные уравнения состояния сводить к алгебраическим уравнениям. Сравнение процессорного времени расчета модельной задачи по предложенному методу и по методу Гира показало, что при решении модельной задачи предложенный метод имеет быстродействие в четыре раза лучшее, чем многошаговый метод Гира.

Список использованных источников.

1. Зевеке Г.В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 424с.
2. Ильина В.А. Численные методы для физиков-теоретиков.1. / В.А. Ильина, П.К. Силаев. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2003. – 132с.
3. Васильев Н.И. Применение полиномов Чебышева в численном анализе. / Н.И. Васильев, Ю.А. Клоков, А.Я. Шкерстена. – Рига: Зинатне. – 1984. – 240с.

**МЕТОД ЧИСЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ
ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПОЛІНОМІВ ЧЕБЫШОВА ТА ЙОГО СХЕМНА
ІНТЕРПРЕТАЦІЯ**

Тиховод С.М., Корнус Т.М., Токмаков І.В.

Анотація – розроблено метод розрахунку перехідних процесів в електричних колах на основі апроксимації розв’язку рівнянь стану поліномами Чебышова. Запропонована схемна інтерпретація розробленого методу. Показано, що в спеціальній схемі заміщення для зображень струмів у вигляді векторів, що містять значення коефіцієнтів розкладу цих струмів по поліномах Чебишова, справедливі закони Кирхгофа.

**NUMERICAL CALCULATION OF TRANSIENTS IN ELECTRIC
CIRCUITS WITH USE OF CHEBYSHEV’S POLYNOMS AND
CIRCUIT INTERPRETATION OF IT**

S. Tykhovod, T. Kornus, I. Tokmakov

Summary

Computation of transients in electric circuits is developed on the basis of approximation of state equations solution by the help of Chebyshev’s polynoms. Circuit interpretation of the developed method is offered. It is shown that Kirchhoff’s rules for images of currents in the form of the vectors, containing the factors values of Chebyshev’s polynoms decomposition of these currents, are fair in the special equivalent circuit.

УДК 621.341

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНИХ
ІНФОРМАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ДЛЯ
ВПЛИВУ НА РЕПРОДУКТИВНУ ЗДАТНІСТЬ
КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА**

Федюшко Ю. М., д.т.н.,

Сілі І. І., аспірант*.

Таврійський державний агротехнологічний університет,

Тел.: +38(0619)42-57-97

Анотація - проведено теоретичне обґрунтування широко-
мугової системи інформаційно-хвильових випромінювань для
пригнічення колорадського жука і його личинок.

Ключові слова: інформаційно-хвильові випромінювання,
широкосмугова імпульсна антена, діаграма спрямованості, коло-
радський жук.

Постановка проблеми. Наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної імпульсної електромагнітної технології [1]. Пригнічення колорадського жука імпульсним електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) пов'язано не тільки з процесом високої швидкості наростання температури в об'єкті, але і з інформаційною дією електромагнітного поля ЕМП на мембрани клітин комах [2].

Практичні результати показують, що при певних параметрах імпульсного ЕМП (частота проходження імпульсів, шпаруватість, потужність, частота заповнення імпульсів, модуляційні параметри, експозиція) може відбуватися руйнування клітинних мембран і загибель жука і його личинок. У той же час, проведений аналіз літературних джерел показує, що в них недостатньо вивчено питання щодо створення імпульсної інформаційно-хвильової антенної системи зі спеціальною діаграмою спрямованості [3].

Аналіз останніх досліджень. Потужні імпульси широкосмугового (ШС) випромінювання знаходять застосування в радіолокації віддалених об'єктів, дослідженні електромагнітної сумісності та стійкості радіоелектронних систем в умовах впливу сильних електромагнітних

полів. Крім того, вони можуть бути з успіхом використані для боротьби з колорадським жуком. Кожне конкретне застосування накладає свої вимоги на параметри імпульсів і систему випромінювання [3].

Для випромінювання радіоімпульсів застосовуються різні антенні системи. Можна виділити, в основному, два типи антен: антени з параболічним рефлектором, що отримали назву IRA (Impulse Radiating Antenna [4]) і ТИМ антени [5]. Для наших цілей антени IRA не підходять у зв'язку з великими розмірами. Зазвичай їх апертура може досягати 4 м. ТИМ антена, як правило, виконана з двох трикутних пластин різного профілю, що забезпечують плавний перехід від хвильового опору генератора до хвильового опору вільного простору. Така антена є антеною біжучої хвилі, тому вона має довжину, відповідну довжині хвилі нижньої межі спектра імпульсу випромінювання. Проведені до теперішнього часу дослідження показують, що основний недолік таких антенних систем - це їх велика довжина в порівнянні з просторовою тривалістю імпульсу збудження.

Таким чином, на підставі всього сказано, можна зробити висновок про те, що найбільш часто використовувані антенні системи для передачі радіоімпульсів для наших конкретних цілей не підходять через їх значні геометричні розміри. Це призведе до збільшення ваги і зниження мобільності установки по знищенню шкідників. Тому ми будемо використовувати антену, близьку за конструктивним виконанням до ТИМ антени, але яка має менші геометричні розміри, а саме - пірамідальний рупор. А оскільки при проходженні по прямокутному хвилеводу радіоімпульс трансформується [6], то застосування пірамідальних рупорних антен в якості випромінювачів імпульсних сигналів дещо обмежено. Тому використання такого типу антеною системи для наших конкретних цілей вимагає проведення додаткових досліджень.

Формулювання цілей статті. Проведення теоретичних досліджень з визначенням основних рівнянь для визначення параметрів широкопasmової радіоімпульсної системи випромінювання.

Основна частина. Уявимо, що поверхня випромінювання є плоскою і прямокутною. Просторова геометрія завдання показана на (рис. 1). Для отримання конкретних результатів будемо розглядати випадок збудження апертури плоскою рівноамплітудною синфазною хвилею.

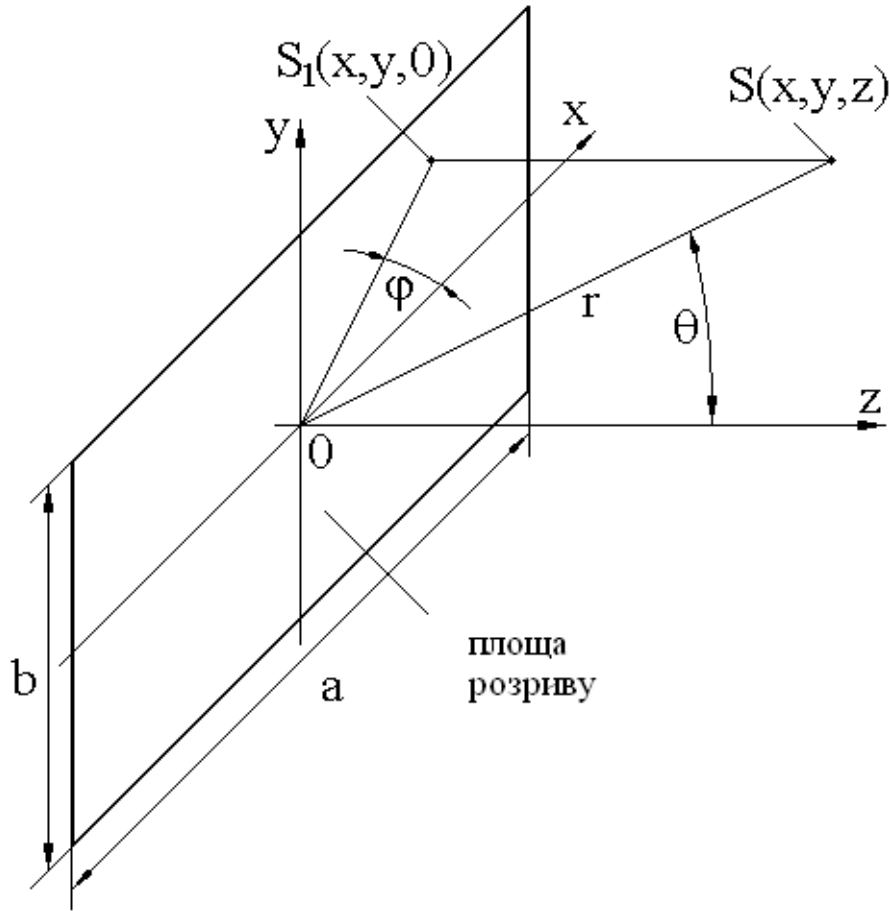


Рис. 1. Схема розкриття прямокутного випромінювача.

Випишемо поля випромінювання в дальній зоні, які в сферичній системі координат при $r \rightarrow \infty$ мають вигляд [5]:

$$E_{\theta}(\omega, r, \theta, \varphi) = \frac{ik}{4\pi} \cos \varphi (1 + \cos \theta) \frac{e^{-ikr}}{r} F(\theta, \varphi), \quad (1)$$

$$E_{\varphi}(\omega, r, \theta, \varphi) = \frac{ik}{4\pi} \sin \varphi (1 + \cos \theta) \frac{e^{-ikr}}{r} F(\theta, \varphi), \quad (2)$$

де $k = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$, $k_x = k \sin \theta \cos \varphi$, $k_y = k \sin \theta \sin \varphi$,

$$F(\theta, \varphi) = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} E_y(x, y) e^{i(k_x x + k_y y)} dx dy. \quad (3)$$

Кут θ відраховується від осі z , а кут φ - від осі x проти годинникової стрілки. $E_y(x, y)$ - перетворення Фур'є поля збудження на розкритті рупорної антени, причому

$$E_y(x, y) = E_0 F(\omega). \quad (4)$$

де E_0 - амплітудний коефіцієнт,
 $F(\omega)$ - спектр сигналу збудження.

Розглянемо вираз (3), який, після підстановки в нього (4), можемо записати в аналітичному вигляді

$$\begin{aligned} F(\theta, \varphi) &= E_0 F(\omega) = \frac{(e^{ik_x a/2} - e^{-ik_x a/2})(e^{ik_y b/2} - e^{-ik_y b/2})}{ik_x ik_y} = \\ &= 4 E_0 F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{k_x a}{2}\right) \sin\left(\frac{k_y b}{2}\right)}{k_x k_y}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для подальшого розгляду введемо функцію

$$\Phi(x) = \sin x / x,$$

тоді співвідношення (5) прийме вигляд

$$F(\theta, \varphi) = E_0 F(\omega) a b \Phi\left(\frac{k_x a}{2}\right) \Phi\left(\frac{k_y b}{2}\right). \quad (6)$$

Підставляючи (6) в вираз (1), одержимо рівняння для E_θ компоненти поля

$$\begin{aligned} E_\theta(\omega, r, \theta, \varphi) &= \frac{ik}{4\pi} \cos \varphi (1 + \cos \theta) \frac{e^{-ikr}}{r} E_0 F(\omega) a b \Phi\left(\frac{k_x a}{2}\right) \times \\ &\times \hat{O}\left(\frac{k_y b}{2}\right). \end{aligned} \quad (7)$$

За аналогією запишемо співвідношення для E_φ компоненти поля. Після підстановки (6) в (3) отримаємо

$$\begin{aligned} E_\varphi(\omega, r, \theta, \varphi) &= \frac{ik}{4\pi} \sin \varphi (1 + \cos \theta) \frac{e^{-ikr}}{r} E_0 F(\omega) a b \Phi\left(\frac{k_x a}{2}\right) \times \\ &\times \Phi\left(\frac{k_y b}{2}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Для переходу в тимчасову область по E_θ і E_φ компонентам використовуємо зворотне перетворення Фур'є [6]:

$$E_\theta(t, r, \theta, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_\theta(\omega, r, \theta, \varphi) e^{-i\omega t} d\omega, \quad (9)$$

$$E_\varphi(t, r, \theta, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_\varphi(\omega, r, \theta, \varphi) e^{+i\omega t} d\omega. \quad (10)$$

При довільних координатах рівняння (9) і (10), взагалі-то, в кінцевому вигляді розв'язку ми не отримаємо. Тому, інтегрування необхідно вести чисельними методами.

Тепер визначимо характеристику спрямованості рупорного випромінювача в дальній зоні в двох взаємно перпендикулярних площинах з енергетичним показником випромінювання в кожному з напрямків:

$$G_1(\theta, \varphi=0) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |E_\theta(t, r, \theta, 0)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |E_\theta(t, r, 0, 0)|^2 dt}, \quad (11)$$

$$G_2\left(\theta, \varphi=\frac{\pi}{2}\right) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left|E_\varphi\left(t, r, \theta, \frac{\pi}{2}\right)\right|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \left|E_\varphi\left(t, r, 0, \frac{\pi}{2}\right)\right|^2 dt}. \quad (12)$$

Величини $G_1(\theta, \varphi=0)$ та $G_2\left(\theta, \varphi=\frac{\pi}{2}\right)$ являють собою енергетичні діаграми спрямованості (ЕДС).

Висновки. Отримані вирази (11,12) дозволяють побудувати діаграми направленості для різних параметрів антени.

Список використаних джерел.

- 1.Рахматулин Р.А. Электрофизические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур/ Рахматулин Р.А., Нугманов С.С. // Сборник научных трудов. Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК. – Самара: 2003.-С.81-83.
- 2.Черенков А.Д. Воздействие низкоэнергетических электромагнитных измерений на мембранный потенциал и объем клеток биологических объектов / А. Д. Черенков // Микроволновые технологии в народном

хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – К.: ТЕС, 2000. – 152–155 с.

3. Губанов В.П. Генерация мощных наносекундных импульсов электромагнитного излучения / В.П. Губанов, С.Д. Коровин, И.В. Пегель, В.В. Ростов, А.С. Степченко, М.Р. Ульмаскулов, В.Г. Шпак, С.А. Шануйлов, М.И. Яландин / Письма в ЖТФ. - 1994. - Т. 20, № 14. - С. 89-93.

4. Baum C.E. Impulse radiating antennas // Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics / Ed. by H.L. Bertoni, L. Karin, and L.B. Felsen. New York: Plenum Press, 1993. - P. 139-147.

5. Giri D.V. Fabrication, and Testing of a Paraboloidal Reflector Antenna and Pulser System for Impulse-Like Waveforms / D.V. Giri, H. Lackner, I.D. Smith, D.W. Morton, C.E. Baum, J.R. Marek, W.D. Prather, D.W. Scholfield/ IEEE Trans. Plasma Sci. - 1997. - V. 25, N 2. - P. 318-326.

6. Хала А.В. Алгоритм расчета сверхширокополосной антенны / А.В. Хала, А.В. Корольков / Математическая морфология. Электрон. математический и медико-биологический журнал. - Т. 9. - Вып. 1. - 2010. - URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/TITL.HTM>.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ВЛИЯНИЯ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ СПОСОБНОСТЬ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

Федюшко Ю. М., Сили И.И.

Аннотация - Проведено теоретическое обоснование широкополосной системы информационно-волновых излучений для угнетения колорадского жука и его личинок.

THE SYSTEMS OF IMPULSIVE INFORMATIONAL RADIATIONS AND IMPACT ON REPRODUCTIVE ABILITY OF COLORADO POTATO BEETLE. THEORETICAL ANALYSIS

Yu. Fediushko, I. Sili

Summary

The theoretical study of broadband information radiation for the oppression of the Colorado potato beetle and its larvae.

УДК 621.3: 631.53.027.33

РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ КОМІРНИХ ДОВГОНОСИКІВ У СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Чміль А.І., д.т.н.,

Усенко С.М., к.т.н.,

Науменко О.В., інженер

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044)527-85-22

Анотація – представлено результати знешкодження комірних довгоносіків у зерновій масі.

Ключові слова: сильне електричне поле, зернова маса, комірні шкідники.

Постановка проблеми. Заселеність зернових комахами-шкідниками досягає 37 %. За даними ФАО, щорічно комахи шкідники запасів поїдають до 15% зерна, виробленого в світі, а в окремих країнах – 50%. В Україні щороку втрачається від шкідників хлібних запасів при зберіганні не менше 4 млн. тонн зерна [1, 10].

Уражене зерно забруднюється відходами їх життєдіяльності, хліб з такого зерна погано випікається, отруйні сечокислі солі, якими просочені ці відходи, потрапивши до хліба, а з ним до шлунка людини чи тварини, викликають гострі шлункові захворювання [10].

До активних засобів знищення шкідників відноситься дезінсекція. На теперішній час є три способи дезінсекції: фумігація, волога та аерозольна обробки.

Для фумігації використовують спеціальні препарати, в основі яких лежить певна діюча хімічна речовина. В якості діючих речовин в хімічних препаратах для фумігації використовують фосфід алюмінію, фосфід магнію і бромистий метил, які є досить токсичними.

Крім того фумігація це досить складний процес, де потрібно враховувати такі вимоги: повна герметизація складських приміщень; у приміщеннях зерно слід накривати плівкою; силоси мають бути повністю завантажені зерном; неможлива обробка окремих частин партії зерна; розпочавши введення препарату, не можна переривати цей процес; недостатньо ефективна обробка проти хлібних кліщів; зерно не захищене від повторного зараження; небезпека отруєння людей газом; тривалий простій підприємства; обмеження щодо температури

зерна не нижче 15 °С, зовнішнього повітря – не нижче 10 °С, всередині приміщення (влітку) – не вище 25 °С. Під час фумігації складських приміщень, зерна та продуктів його переробки виробники препаратів рекомендують експозиції в межах 5...10 діб. Для видалення фуміганта із оброблених об'єктів після закінчення встановленої експозиції фумігації проводять дегазацію. Тривалість дегазації – від 2 до 10 і більше діб. Реалізація продукції проводиться не раніше ніж через 20 діб. Після дегазації об'єктів визначають якість фумігації. У випадку виявлення живих екземплярів шкідників проводять додаткове знезараження [1].

Аналіз останніх досліджень. Авторитетні міжнародні видання Journal of Entomology і Journal of Economic Entomology вказують на те, що озон є потенціальною альтернативою традиційним методам боротьби зі шкідниками зернових запасів [13, 17].

При взаємодії з біологічними об'єктами озон діє комплексно. В результаті його взаємодії з білками й ліпідами (основні компоненти мембран) змінюється мембранна проникність і функції мембранних ферментів, а також інактивація функціональних груп та вторинних процесів [3, 8]. Озон реагує практично з усіма з'єднаннями, що входять до складу живої клітини – пошкоджуються амінокислоти [16], окислюються SH-групи [15], відбувається інактивація ферментів [12].

Літературні дані показують, що при певних дозах обробки озonom досягається повне знищення комах-шкідників зерна [4, 5, 9, 11, 14].

Недоліком традиційних методів озонування є подача озону від окремого генератора озону. Це зумовлює зменшення ефективності озонування (озон нерівномірно розподіляється в зерні), втрати озону в трубопроводах, що забезпечують його подачу до оброблюваного зерна.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної роботи є розробка екологічно чистої технології знешкодження комах-шкідників у зерновій масі.

Основна частина. В основу розробки методу і електротехнічних засобів для обробки зернового матеріалу в сильному електричному полі були покладені розроблені на кафедрі електроприводу та електротехнологій НУБіП України способи та пристрої в яких використовуються електрофізичні процеси, що відбуваються в зерновій масі під дією сильного електричного поля [6, 7].

В 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: сильне електричне поле; поверхневий та об'ємний струм; іонізаційні

процеси, що відбуваються в повітряному просторі зернової маси; аероіони та озон, які утворюється під дією часткових розрядів [2].

Для досліджень було виготовлено лабораторну дослідну установку для обробки зерна під час руху в камері обробки під дією сильного електричного поля [1]. Експериментальна установка (рис. 1) являє собою камеру обробки 5. Від високовольтного трансформатора 2 висока напруга прикладається до плоско-паралельних електродів 3, 4. Стінки камери обробки виготовлено з діелектричного матеріалу (оргскло). Регулювання напруги живлення передбачено за допомогою автотрансформатора 1. Для можливості регулювання швидкості потоку зернової маси на виході камери обробки встановлено випускна засувка 6 та електромагнітний вібратор 7, який живиться з мережі 220 В.

Принципова електрична схема лабораторної дослідної установки наведена на рис. 1.

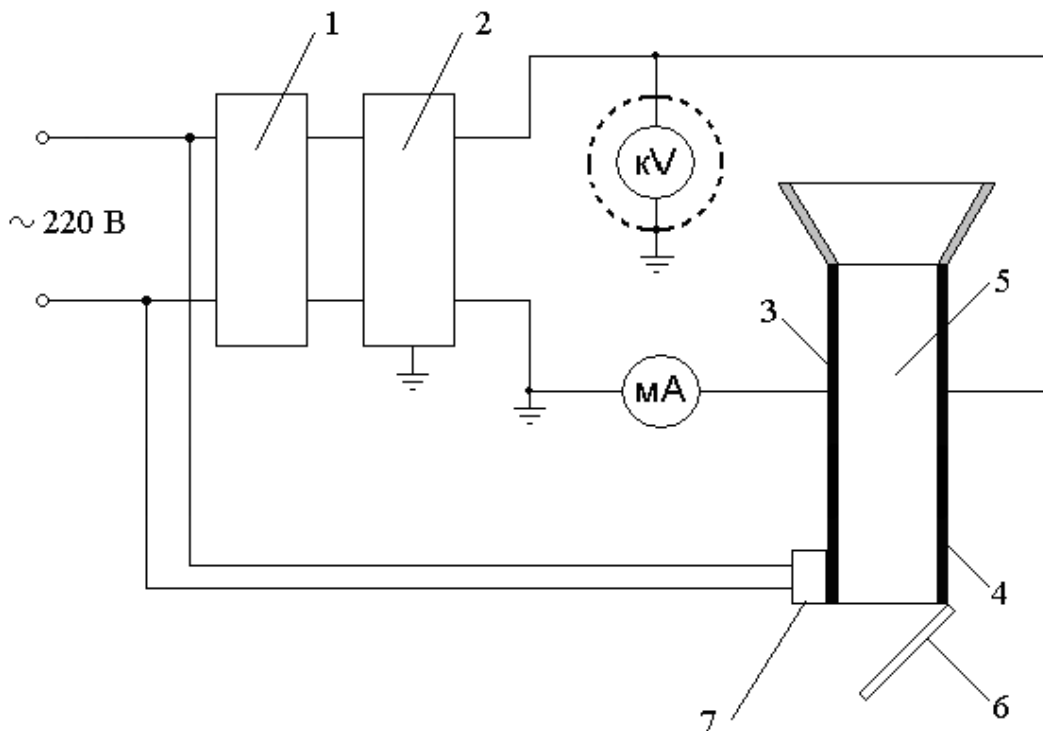


Рис. 1. Принципова електрична схема лабораторної дослідної установки для знешкодження комах-шкідників в сильному електричному полі: 1 – автотрансформатор; 2 – високовольтний трансформатор; 3, 4 – плоско-паралельні пластинчасті електроди; 5 – камера обробки; 6 – випускна засувка; 7 – електромагнітний вібратор.

Знешкодження комірних довгоносиків в сильному електричному полі проводили на зерні ячменю сорту «Солнцедар» відносно вологістю 11,5 %. Для обробки відібрано три зразки зерна, в які помістили по 100 особин комірних довгоносиків.

Для живлення електродів камери використовувався трансформатор напруги ОСВ-1,5 УХЛЗ потужністю 1,5 кВт. Для вимірювання напруги використовувався кіловольтметр С96 з межою вимірювання 30 кВ. Струм, споживаний камерою обробки контролювався міліамперметром М906 з межою вимірювання 5 мА.

Обробка зерна проводилася в камері, розмірами: висота камери – 82 см; ширина електрода – 5 см; відстань між електродами – 3 см.

На електроди камери обробки встановлено діелектричні пластини, виготовлені з целулоїду.

Час обробки зерна регулювався швидкістю руху зерна.

Режими обробки наведені в таблиці 1. Результати обробки наведено в таблиці 2.

Таблиця 1 – Режими обробки зерна ячменю сорту «Солнцедар», зараженого комірними довгоносиками, в сильному електричному полі

Показник	Режими обробки		
	1	2	3
Напруженість ел. поля, кВ/см	5,33	5,33	5,33
Густина струму, мА/м ² :			
початкове значення	39	37	45
кінцеве значення	80	120	200
Час обробки, хв	4	8	15

Таблиця 2 – Результати знешкодження комірних довгоносиків у зерновій масі ячменю сорту «Солнцедар»

Варіант	Кількість мертвих довгоносиків, %					
	2 год	1 доба	2 доба	3 доба	4 доба	5 доба
1	10	45	90	99	100	100
2	37	63	93	98	99	100
3	74	95	99	100	100	100

Найбільш ефективним режимом знешкодження є режим 2 з часом обробки 15 хв – повне знешкодження комірних довгоносиків відбулося через 3 доби після обробки. В той же час обробка з меншою тривалістю (4 і 8 хв) також дозволяє досягти повного знешкодження шкідників. Але відмирання шкідників відбувалося повільніше.

Попередній дослід проводився на камері обробки зі встановленими діелектричними пластинами. Оскільки установка може працювати без діелектричних пластин на електродах, виникла необхідність про-

ведення досліджень по обробці зерна без встановлених на електродах діелектричних пластин.

Для досліджень сформовано три зразки зерна ячменю сорту «Солнцедар» вологістю 12,2 %. В кожен зразок помістили по 100 штук комірних довгоносиків. Обробка проводилася в змінному електричному полі, камера обробки була без встановлених діелектричних пластин. Режими обробки приведені в таблиці 3, результати обробки – у таблиці 4.

Таблиця 3 – Режими обробки комірних довгоносиків в змінному електричному полі

Показник	Режими обробки				
	1	2	3	4	5
Напруженість СЕП, кВ/см	4	4	4	4	4
Густина струму, що проходить через зерно, мА/м ² :					
початкове значення	22	15	16	24	35
кінцеве значення	30	24	32	91	114
Час обробки, хв	3	4	7	12	15

Таблиця 4 – Результати обробки комірних довгоносиків в змінному електричному полі

Варіант	Кількість мертвих довгоносиків, %				
	2 год	2 доби	5 діб	6 діб	8 діб
1	0	47	87	87	87
2	2	98	98	98	98
3	5	92	92	92	92
4	56	91	100	100	100
5	44	91	100	100	100

Результати дослідів показали, що режими обробки з часом обробки 3 хв, 4 хв та 7 хв є неефективними для знешкодження комірних довгоносиків.

Висновки. Отримані результати досліджень по знешкодженню комірних довгоносиків дозволяють зробити висновок, що при застосуванні представлених режимів обробки можна досягти повного знешкодження жуків.

Список використаних джерел.

1. *Берека О. М.* Знешкодження в сильних електричних полях комах-шкідників зерна / *О. М. Берека, О. В. Науменко* // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – 2011. – Volume 13D. – С. 291-295.

2. *Берека О.М.* Дія сильних електричних полів на насіння сільськогосподарських культур / *О.М. Берека* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково-виробничий журнал. – 2007. – № 1(20) – С. 23 – 29.

3. Биофизика живых систем: от молекулы к организму / Под ред. *И. Д. Вологовского*. – Мн.: Белсэнс, 2002. – 204с.

4. *Закладной Г. А.* Озон в хранении зерна (обзор) / *Г. А. Закладной*. – Москва: ВНИИЗ, 1992. – 7 с.

5. *Ловкіс З.В.* Дезинсекція комах-шкідників озоном / *З. В. Ловкіс, Т. П. Троцька* // *Зерно і хліб*. – 2005. – №2. – С. 34-35.

6. Пат. 77281 Україна, МПК А23L 3/32, А01F 25/00. Спосіб обробки продукції при зберіганні і пристрій для його здійснення / *Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П.*; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – №20041008542; заяв. 20.10.2004; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11.

7. Пат. 84978 Україна, МПК А 01 С 1/00. Пристрій для обробки продукції при зберіганні / *Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П., Усенко С.М.*; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – № а200703860; заяв. 06.04.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.

8. *Першин А. Ф.* Исследование режимов работы озонирующей установки с дезинфекционной камерой / *А.Ф. Першин, А.В. Федоров, А.Ю. Евдосеева* // Электротехнологии в сельскохозйственном производстве. Научные труды ВНИИЭСХ. – 1989 . – Т. 73. – С. 73-78.

9. Рекомендации по озонной и ионоозонной технологии дезинсекции зерна при хранении / *Ж. Д. Исмухамбетов, А О. Сагитов, С. Ыскак и др.* – Алматы: 2011. – 18 с.

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. – Issue 4. – p. 371-382.

12. *Freeman B. A.* Reaction of ozone with phospholipids vesicles and human erythrocyte ghosts / *Freeman B. A., Sharman M. C., Mudd J. B.* // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 1979. – Vol. 197. – Issue 1. – p. 264-272.

13. *Holingsworth R. G.* Potential of temperature, controlled atmospheres and ozone fumigation to control thrips and mealybugs on ornamental plants for export / *R. G. Holingsworth, J. W. Armstrong* // *Journal of Economic Entomology* – 2005. – Vol. 98. – №2. – p. 289-298.

14. *Mason L. J.* Efficacy of ozone to control insects, molds and mycotoxins / *Mason L. T., Woloshuk C. P., Maier D. E* // *Proc. Intern. Conf. on CAF.* – Nicosia, Cyprus, 1996. – p. 665-670.

15. *Mudd J. B.* / Enhibition Olicolypid Biosynthesis in Chloroplasts by ozone and sulfydryl Reagents / *J. B. Mudd* // *Plant Physiology.* – 1971. – Vol. 48(3). – p. 335-339.

16. *Mudd J. B.* Reaction of ozone with amino acids and proteins / *Mudd J.B., Leavitt R., Alpaslan Ongun, McManus T. T.* // *Atmospheric Environment.* – 1969. – Vol. 3. – Issue 6 – p. 669-681.

17. *Shadia E. Abd El-Aziz.* Control Strategies of Stored Product Pests / *Shadia E. Abd El-Aziz* // *Journal of Entomology.* – 2011. – №8 (2). – p. 101-122.

РЕЖИМЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ АМБАРНЫХ ДОЛГОНОСИКОВ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Чмиль А.И, Усенко С.М., Науменко А.В.

Аннотация – представлены результаты обезвреживания амбарных долгоносиков в зерновой массе.

DECONTAMINATING MODES OF GRAIN WEEVIL IN A HIGH ELECTRIC FIELD

A. Chmyl', S. Usenko, O. Naumenko,

Summary

The results of granary weevils decontamination in the grain mass are presented in the article.

УДК 621.318

**СТРУКТУРНО-СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛИГРАДИЕНТНЫХ
МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ**

Шведчикова И.А., д.т.н.,
Романченко Ю.А., аспирант*
ВНУ им. В. Даля (г. Северодонецк)
Тел.: (06452) 40342

Аннотация – проведен уточненный структурно-системный анализ функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов. На основе анализа определен полный видовой состав данного функционального класса. Получена информация о структуре неизвестных на данный момент эволюции класса видов, составляющих инновационный потенциал класса полиградиентных магнитных сепараторов. Рассмотрены особенности процедуры идентификации генетического кода. Построена филогенетическая модель макроэволюции полиградиентных магнитных сепараторов.

Ключевые слова: функциональный класс полиградиентных магнитных сепараторов, генетическая программа, геномно-исторический эксперимент, генетический код, вид.

Постановка проблемы. Особый класс магнитносепарирующих устройств, предназначенных для извлечения слабромагнитных и мелкодисперсных ферромагнитных включений из немагнитных сред, образуют полиградиентные магнитные сепараторы. Такие сепараторы широко применяются в мукомольной, комбикормовой, пищевой и в других отраслях, связанных с переработкой сельскохозяйственной продукции [1, 2].

Известные структурные представители класса полиградиентных магнитных сепараторов отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений и достаточно хорошо изучены. Первый патент на полиградиентный магнитный сепаратор матричного типа был получен Францем еще в 1937 г. [1]. В то же время полный структурно-системный анализ этого класса устройств до сих пор не проводился.

Анализ последних исследований. Особенностью полиградиентных магнитных сепараторов является наличие в рабочих зонах их элек-

тромагнитных систем матриц или кассет с дискретной средой, состоящей из ферромагнитных тел (например, шаров, цилиндров, стержней, стальной ваты, заостренных пластин и т.д.), за счет которых происходит изменение первичного магнитного поля, повышающее градиент его напряженности, и, как следствие, надежность извлечения слабомагнитных и мелкодисперсных ферромагнитных частиц из материала [1, 2]. Наиболее распространенные структурные типы полиградиентных сред магнитных сепараторов систематизированы в публикациях [3, 4].

В работе [5] на основе анализа функциональных особенностей магнитных сепараторов предложена их классификация с учетом структурных свойств полиградиентных сред. В зависимости от геометрической формы и размеров ферромагнитных тел, образующих полиградиентные среды, выделены четыре основных типа магнитно-сепарирующих устройств: магнитные сепараторы со стержневыми, пластинчатыми, шарообразными и решетчатыми полиградиентными средами. В [6] приведены некоторые предварительные результаты структурно-системного анализа функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью настоящей статьи является уточненный структурно-системный анализ функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов, предполагающий решение следующих задач:

- определение генетической программы (полного видового состава) функционального класса магнитных сепараторов;
- проведение геномно-исторического эксперимента; получение информации о структуре неизвестных на данный момент эволюции класса видах (неявных видах), составляющих потенциал конкурентоспособности (инновационный потенциал) класса полиградиентных магнитных сепараторов.

Основная часть. Основными структурными элементами полиградиентного магнитного сепаратора являются: электромагнитная (магнитная) система как источник магнитного поля (индуктор); рабочий орган, заполненный полиградиентной средой с заданными электромагнитными свойствами и геометрическими параметрами элементарных ячеек; вторичная дискретная (технологическая) среда с металлическими включениями, подлежащая сепарации. Рабочий орган обычно содержит стержневые, пластинчатые, шарообразные, решетчатые и другие элементы, намагничивающиеся под действием магнитного поля, создаваемого индуктором. В общем случае такие устройства можно рассматривать как электромеханические преобразователи движения, совмещенные с рабочим органом [3, 5]. Исходя из положений генетической теории структурной организации электромаг-

нитных систем [7, 8], полиградиентные магнитные сепараторы могут быть отнесены к классу совмещенных систем, в которых структурно объединены электромагнитная система и рабочий орган (матрица), имеющий свою внутреннюю структуру.

Генетическая программа на уровне произвольного функционального класса электромеханических систем определяется в виде конечного множества парных электромагнитных хромосом, обобщаемых понятием области существования порождающих структур Q . Наличие соответствия между порождающими источниками поля и системной категорией Вид позволяет установить видовой состав (в генетических кодах) функционального класса магнитных сепараторов [6]. Поиск области Q для магнитных сепараторов исследуемого функционального класса осуществляется на элементном базисе генетической классификации (ГК), т.е. на упорядоченном множестве первичных источников электромагнитного поля S_0 [8, 9]. В качестве составляющих и ограничений целевой функции поиска выделим следующие существенные признаки:

1. Функциональная структура рассматриваемого класса ограничивается рассмотрением разнообразия двух подклассов $Q_{вр}$ и Q_n , обеспечивающих возможность реализации вращательного и поступательного движения рабочего органа, соответственно.

2. Порождающая структура произвольного Вида представляется электромеханической парой, образованной в результате скрещивания твердотельной первичной и вторичной дискретной структур. Порождающая структура допускает возможность пространственного совмещения с соответствующей структурой вторичного рабочего органа матричного типа.

3. Поиск осуществляется в пределах первого большого периода P^I ГК $P^I \subset \langle S_0 \rangle$. Из рассмотрения исключаются источники-изотопы и порождающие структуры группы 0.0.

4. На данном этапе решения задачи из рассмотрения исключаются сложные варианты генетически мутированных и гибридных структур.

5. Результаты синтеза включают информацию о генетически допустимом разнообразии как известных (реально-информационных), так и неявных (потенциально возможных) Видов, еще отсутствующих на данный период их эволюции.

Электромеханические объекты с поперечной ориентацией волны электромагнитного поля на цилиндрических (ЦЛ), конических (КН), тороидальных плоских (ТП), тороидальных цилиндрических (ТЦ) и сферических (СФ) поверхностях допускают возможность совмещения и функционирования с рабочими органами вращательного движения.

Электромеханические объекты с продольной ориентацией волны

электромагнитного поля на цилиндрических (ЦЛ), конических (КН), тороидальных плоских (ТП) поверхностях, а также объекты с продольной и поперечной ориентацией волны электромагнитного поля на плоских поверхностях (ПЛ) допускают возможность совмещения и функционирования с рабочими органами поступательного движения.

С учетом вышеизложенного, генетическая программа макрогенетического уровня или видовое разнообразие функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов может быть представлено в форме табл.1, 2.

Таблица 1 – Видовое разнообразие функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов вращательного движения

Группа	Подгруппа	Род				
		ЦЛ	КН	ТП	СФ	ТЦ
0.2	у	ЦЛ0.2у	КН0.2у	ТП0.2у	СФ0.2у	ТЦ0.2у
2.2		ЦЛ2.2у	КН2.2у	ТП2.2у	СФ2.2у	ТЦ2.2у

Таблица 2 – Видовое разнообразие функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов поступательного движения

Группа	Подгруппа	Род			
		ПЛ	ЦЛ	КН	ТП
2.0	х	-	ЦЛ2.0х	КН2.0х	ТП2.0х
2.2		ПЛ2.2х	ЦЛ2.2х	КН2.2х	ТП2.2х
2.2	у	ПЛ2.2у	-	-	-

Для функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов с целью подтверждения достоверности проведенных выше исследований был проведен геномно-исторический эксперимент путем идентификации генетической информации известных реальных и информационных Видов электромеханических систем [10]. Рассмотрим особенности процедуры идентификации генетического кода объектов рассматриваемого функционального класса на примере электромагнитного кассетного сепаратора [1], изображенного на рис. 1:

- геометрический класс – плоский (ПЛ), определяется геометрической формой активной поверхности полюсов 3 электромагнитной системы;

- ориентация направления распространения волны электромагнитного поля – продольная (ПЛ х);

- общее количество дисимметризирующих факторов (краев) активной поверхности – четыре: два – в поперечном направлении; два – в продольном направлении (2.2);

- топологический класс активной поверхности – ориентированная (x-ориентация) двухсторонняя разомкнутая поверхность с краями (2.2 x);

- вид электромагнитной симметрии – продольно-поперечная асимметрия (2.2).

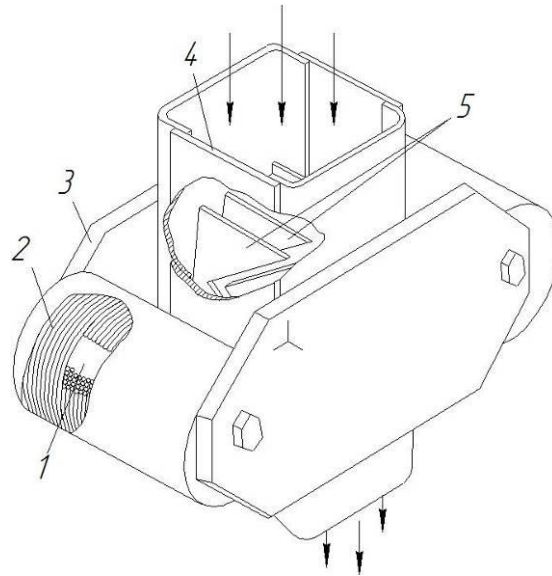


Рис. 1. Электромагнитный кассетный сепаратор как представитель Вида ПЛ 2.2х: 1 – сердечник, 2 – намагничивающие катушки, 3 – полюс, 4 – кассета, 5 – пластины.

Идентификация генетического кода реального объекта (рис.1) и генетический анализ его структуры позволяют определить принадлежность электромагнитного кассетного сепаратора к базовому виду плоских, асимметричных, x-ориентированных (ПЛ 2.2 x). Генетический код также указывает на принадлежность объекта к другим над-видовым классам, например, к роду и подсемейству (рис.1). Электромагнитный кассетный сепаратор (рис.1) (Вид ПЛ 2.2 x) может быть отнесен к роду плоских и подсемейству сепараторов поступательного движения.

Практическая реализация геномно-исторического эксперимента на макроуровне напрямую связана с проведением макрогенетического анализа, который позволяет получить информацию об уровне и темпах эволюции существующего видового разнообразия магнитных сепараторов, а также информацию о структуре неизвестных на данный момент эволюции класса Видах (неявных Видах) [10]. Время $T_{\text{э}}$ эволюции класса полиградиентных магнитных сепараторов составило $T_{\text{э}} = 77$ лет. Анализ существующего структурного разнообразия полиградиентных магнитных сепараторов показал, что все известные технические решения на данном этапе эволюции представлены структурными представителями 7-ми реально-информационных Видов $N_{\text{РИ}}$

$$N_{PI} = (S_{ЦЛ2.0x}, S_{ЦЛ2.2y}, S_{ПЛ2.2y}, S_{ЦЛ0.2y}, S_{ТП2.2x}, S_{ТП2.0x}, S_{СФ2.2y}), \quad (1)$$

где $S_{ЦЛ2.0x}$, ..., $S_{СФ2.2y}$ – порождающие структуры реально-информационных Видов полиградиентных магнитных сепараторов, которые определялись по результатам исторических и патентно-информационных исследований за период с 1937 по 2014 гг.

Количество неявных $N_{неявн.}$ потенциально конкурентоспособных Видов, еще не задействованных в эволюционном процессе (структурное предвидение), составило $N_{неявн.} = 11$.

Следует отметить, что в процессе идентификации видовой принадлежности известных структурных представителей класса магнитных сепараторов по результатам исторического и патентного поиска был проведен, по сути, многократный геномно-исторический эволюционный эксперимент, результаты которого представлены в виде филогенетической модели на рис. 2.

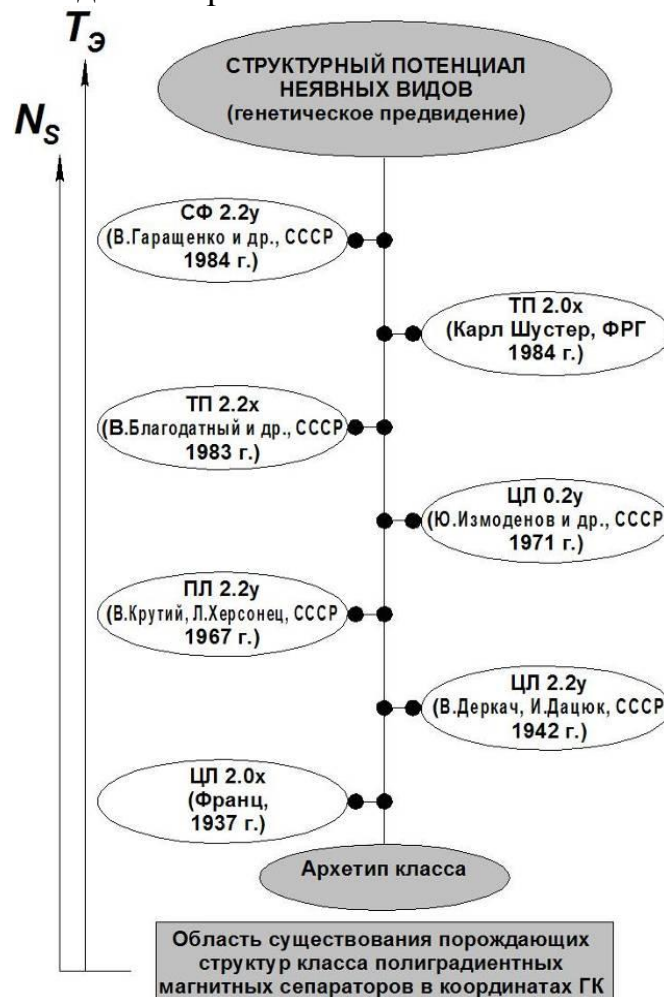


Рис. 2. Филогенетическая модель макроэволюции полиградиентных магнитных сепараторов: ($T_{э}$ – время эволюции (77 лет), N_s – количество видов).

Примеры некоторых генетически идентифицированных структурных представителей реально-информационных Видов показаны на рис. 3.

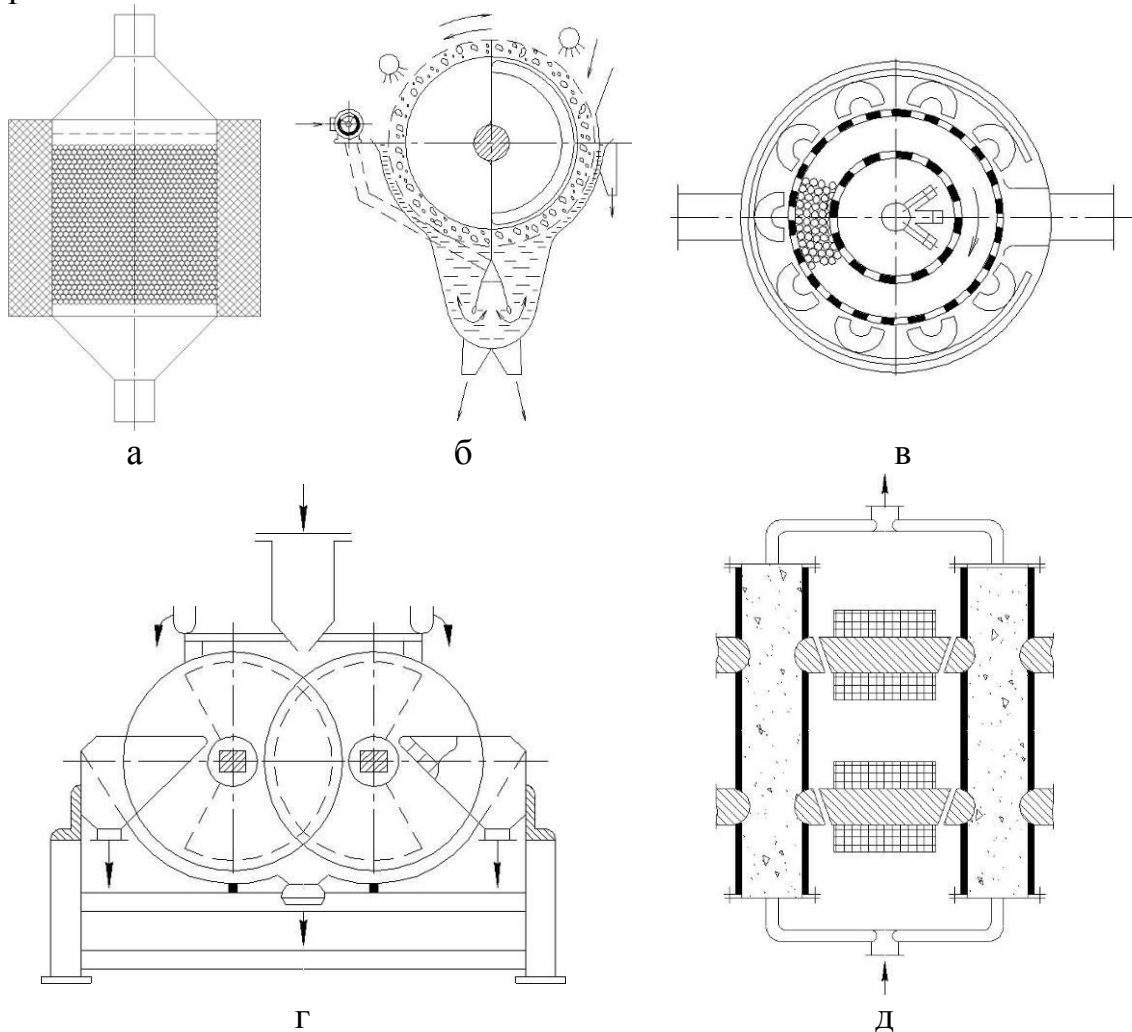


Рис. 3. Примеры структурных представителей реально-информационных Видов полиградиентных магнитных сепараторов:
 а – ЦЛ 2.0х [11]; б – ЦЛ 2.2у [12]; в – ЦЛ 0.2у [13];
 г – ТП 2.2х [14]; д – СФ 2.2у [15].

Выводы. Проведен уточненный структурно-системный анализ функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов. Определено видовое разнообразие функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов вращательного и поступательного движений, представленное 10 и 8 Видом базового уровня, соответственно.

Геномно-исторический эксперимент показал, что разнообразие Видов магнитных сепараторов включает представителей 7 реально-информационных Видов (39% от общего количества Видов), а время

эволюции T_{Σ} класса полиградиентных магнитных сепараторов матричного типа составляет $T_{\Sigma}=77$ лет.

Направлением дальнейших исследований является генетическое моделирование внутренней структуры рабочих полиградиентных сред магнитных сепараторов.

Список использованных источников.

1. Загирняк М.В. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: [монография] / М.В. Загирняк, Ю.А. Бранспиз, И.А. Шведчикова. – К.: Техніка, 2011. – 224 с.
2. Полиградиентные магнитные сепараторы: моногр. / под ред. Н.Ф. Мясникова. – М.: Недра, 1973. – 160 с.
3. Шведчикова И.А. Анализ структурного разнообразия полиградиентных магнитных сепараторов / И.А. Шведчикова, Ю.А. Романченко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : зб. матеріалів конференції. – Кременчук.: КрНУ, 2014. – С. 245-246.
4. Толмачев С.Т. Классификация гетерогенных структур и условие их двоякопериодичности / С.Т. Толмачев, С.Л. Бондаревский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5/5 (65). – С. 24-28.
5. Шведчикова И.А. Классификация полиградиентных магнитных сепараторов / И.А. Шведчикова, Ю.А. Романченко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – № 19 (1062). – С. 64-76.
6. Шведчикова И.А. Определение видового разнообразия функционального класса полиградиентных магнитных сепараторов / И.А. Шведчикова, Ю.А. Романченко // Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики: доповіді. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 151-153.
7. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем (междисциплинарный аспект) / В.Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. – Вип. 13, том 4. – С. 11-20.
8. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
9. Шинкаренко В.Ф. Генетическая программа управляемой эволюции электрических генераторов возвратно-поступательного движения / В.Ф. Шинкаренко, Ю.В. Гайдаенко, С.А. Маляренко, А.Т. Мошняга // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – Випуск 1 (17). – С. 25-30.
10. Шведчикова И.А. Эволюционно-экспериментальные исследования функционального класса магнитных сепараторов /

И.А. Шведчикова // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. – Вип. 13, том 4. – С. 96-103.

СТРУКТУРНО-СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПОЛІГРАДІЄНТНИХ МАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ

Шведчикова І.О, Романченко Ю.А.

Анотація – проведено уточнений структурно-системний аналіз функціонального класу поліградієнтних магнітних сепараторів. На основі аналізу визначено повний видовий склад даного функціонального класу. Отримано інформацію про структуру невідомих на даний момент еволюції класу видів, що складають інноваційний потенціал класу поліградієнтних магнітних сепараторів. Розглянуто особливості процедури ідентифікації генетичного коду. Побудована філогенетична модель макроеволюції поліградієнтних магнітних сепараторів.

STRUCTURAL AND SYSTEMIC ANALYSIS OF POLY-GRADIENT MAGNETIC SEPARATORS

I. Shvedchikova, J. Romanchenko

Summary

The refined structural and systematic analysis of the functional class of poly-gradient magnetic separators has been carried out. On the basis of this analysis, full species composition of this functional class is determined. The authors received the information about the structure of currently unknown for evolution class of species that comprise innovative potential of poly-gradient magnetic separators class. Genetic code identification procedure features are considered. Phylogenetic model of poly-gradient magnetic separators macroevolution is constructed.

УДК 621.311

COMMON APPROACHES OF SMALL WIND TURBINE APPLICATION

Lysenko O.V., candidate of technical science,

Adamova S.V., engineer

Tavria State Agrotechnological University

Phone (0619) 42-11-74

Abstract - the basic problems of application and a number of proposal for small wind turbine project development was shown.

Key words: small wind turbine, hybrid systems, standalone systems, grid connected systems.

Problem formulation. The global Small Wind Turbine (SWT) market has been on the upswing in the five years. The main drivers of this growth are the demand-supply gap in energy, increasing fossil fuel prices, improved small wind turbine technology and the diverse application to which it can be put to—both “grid- tied” and “stand-alone”. [1]

Small wind turbines find application in isolated or standalone systems, mainly rural electrification, commercial applications (telecommunication towers) etc. Most of the existing systems come under this category (standalone). Hybrid systems constitute a major share of these isolated systems, as they combine two or more sources of renewable energy to ensure continuity of supply. Grid connected small wind turbines are becoming popular in the countries like USA, Canada, European countries; the grid connected machine feeds power to the grid via a net metering system and the consumer is allowed to export or import power.[1]

Recent research analysis. As per IEC 61400-2, wind turbines with rotor swept area less than 200 sq.m and is capable of generating 1000 V AC or 1500 VDC are classified as small wind turbines. Several sub-divisions may exist within this classification based on the rating of the machine, swept area of the rotor, axis of rotation, direction in which wind approaches the rotor and kind of force used by the machine to create torque.[4]

Table 1 shows a categorization of commercial SWTs on the basis of rated power.

Also small wind turbines are increasingly being recognized as a technology symbiotic to pure photovoltaic systems. In 2008, the total number of installations in the SWT spectrum was almost 19,000 units, amounting to 33.6 MW of SWT installations. The United States of America is the

leader in SWT applications. The cumulative installed small wind capacity in USA has now reached a whopping 80 MW.

Table 1 - Small wind turbine categories

Category	Rated power, kW	Rotor swept area, m ²
Pico wind	<1	<4.9
Micro-wind	1-7	<40
Mini-wind	7-50	<200

Globally, the trend has been to set up grid-interactive SWT or SWT hybrid systems. Almost 77.5% of all the installations in 2008 were for grid connectivity. Net metering and feed-in tariffs are driving the entire SWT industry and have also been responsible for harnessing it mostly for grid connectivity. Grid connectivity, usually results in increased system costs but due to the recent surge in sales worldwide, equipment manufacturers were able to reduce their prices considerably, further fuelling the prospects of on-grid installations.

The high cost of energy generated has historically been the most significant barrier to the growth of SWT and hybrid system market globally. Most of the SWT and hybrid systems installed are in the 'off-grid mode'. Lowering of the cost of generation can be achieved through technology improvements and production scale-up as well as policy support.

Article purpose formulation. To show the basic approaches of the SWT application, including SWT in hybrid systems and to offer a number of proposal for SWT project development.

Hard core. Standalone systems are designed to produce and store DC power. The output of the wind turbine is converted to DC power from where it goes to the load through the inverter. The battery charger is a DC-DC buck boost converter. The power in excess of the load goes to the battery. If excess power is available after fully charging the battery, it is shunted in the dump load. When no input power is available, the battery discharges through the inverter to provide the load. [1]

Small wind turbines use permanent magnet alternators, which are designed to match the characteristics of the wind turbine. There are two possible schemes of variable speed operation.

Conveniently most turbines operate efficiently on a constant tip speed ratio (TSR). The TSR is defined as the ratio of the tower blade tip speed to that of wind speed [2]

$$TSR = \omega R / V \quad (1)$$

where ω is rotational speed

R is radius of turbine

V is wind velocity.

The optimal TSR is physical characteristics provided by the manufacturers after based on pre-production testing. Though, TSR remains constant throughout the design life but slightly changes as the blade bows bends, pickup dust and debris.

The system design for a constant TSR operating scheme is shown in Fig. 1 below. By measuring the wind speeds locally the optimal rotor speed is computed using reference speed ratio. This optimal speed is compared to the actual rotor speed and electrical loading adjusted to correct the difference. [2]

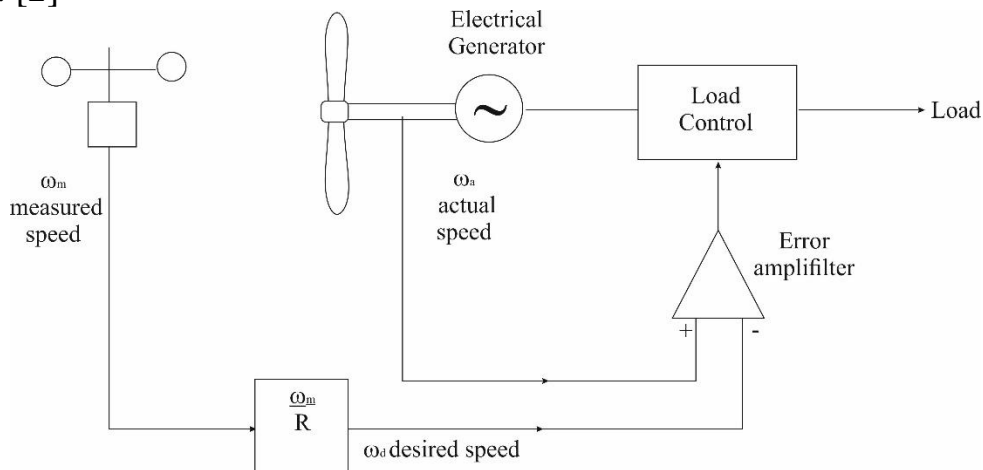


Figure1 - Maximum power extraction using the constant tip speed ratio scheme.

The power Vs rotor speed curve shown in Fig. 2 below as well defined peaks and the following expression provides the condition of maximum power point i.e.

$$dP/d\omega=0 \tag{2}$$

Therefore by incrementally varying the rotor speed by small amounts and evaluating $dP/d\omega$ the peak power tracking scheme continuously tracks the optimal operating point and adjusts rotor speed accordingly.

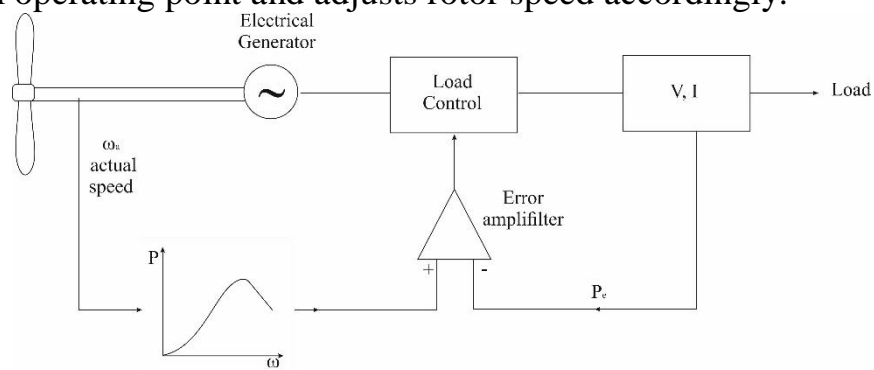


Figure2 - Maximum power extraction using the peak point extraction scheme.

Grid connection of wind power systems helps in riding over the temporary excessor shortfalls in the generated renewable energy. This improves the overall economy. The grid supplies power to the load when needed, or absorbs excess power when available. Fig. 3 indicates schematic of such grid connected systems. [2]

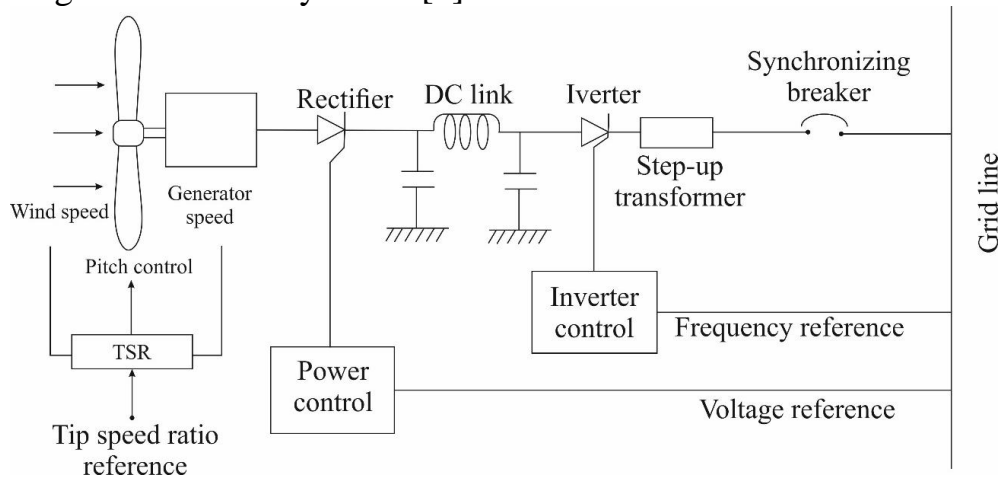


Figure3 - Grid connected wind system.

The renewable energy systems interface through the breaker at the output end of the inverter. The power flows in either direction depending on the site voltage at the breaker terminals.

The fundamental requirements on the site voltage for interfacing with the grid are as follows: [2]

- The voltage magnitude and phase must equal to that required for the desired magnitude direction of the power flow. The voltage is controlled by the transformer turns ratio and/or the rectifier/inverter firing angle in a closed-loop control system.

- The frequency must be exactly equal to that of the grid, or else the system will not work. Meet the frequency requirement; the only effective means is to use the utility frequency as reference for the inverter switching frequency.

Testing of small wind turbines with an objective to verify its engineering integrity is safety philosophy and quality assurance. The idea is to ensure the performance and operation of the small wind turbines are as predicted in the design. Owing to the large number of players coming up in the field there was a dire need to establish testing facility: for small wind turbines so as to streamline the manufacturers based on the performance of their machines for necessary empanelment. [3, 4, 5, 6]

The present testing program focuses on the following tests of the Small Wind turbines.

- Power Performance measurement
- Duration Test
- Safety and function test

Conclusions. Traditional power production of electricity is insufficient today because of exponential industrial growth and higher living standards. Small generation which includes technologies small wind turbines is both a serious form of clean energy production and a cultural movement, which is gathering momentum worldwide. Therefore focus on a program to expand the market for SWTs and hybrid systems by industry stabilization through mass production, (both stand alone and grid interactive systems), diverse product portfolio, standardization of products, product testing, and product certification, improved operation and maintenance service network, business model restructuring, innovative policy and regulatory framework and capacity building.

Bibliography

1. Wind and Solar Power Systems - Mukund R Patel.
2. Wind Power - Paul Gipe.
3. IEC 61400-12-1 Wind Turbine Generator Systems, Part 12: Power Performance Measurement Technique.
4. IEC 61400-2, Wind Turbines, Part 2: Design requirements for small wind turbines.
5. Certification testing for small wind turbines, NREL & southwest Windpower.
6. A strategic road map for developing the market for small wind turbines and wind-solar-hybrid systems in India - Report prepared by WISE on behalf of C-WET.

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ ВІТРОВИХ ТУРБІН

Лисенко О.В., Адамова С.В.

Анотація - представлені основні проблеми застосування малих вітрових турбін та запропоновано рекомендації щодо їх використання при розробці нових проектів.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАЛЫХ ВЕТРОВЫХ ТУРБИН

Лысенко О.В., Адамова С.В.

Аннотация - представлены основные проблемы применения малых ветровых турбин и предложены рекомендации по их использованию при разработке новых проектов.

УДК 536.24

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И
МАССОПЕРЕНОСА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ ПРИ ФАЗОВЫХ
ПРЕВРАЩЕНИЯХ АККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА**

Антипов Е.А. аспирант*

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Телефон: (099)-335-11-12

Аннотация – разработана конструкция и проведено экспериментальное исследование процессов теплопереноса в аккумуляторе теплоты фазового перехода. Изучены и проанализированы полученные значения динамики температурных полей и распределения тепловых потоков в тепловом аккумуляторе, а также накопления и расходов тепловой энергии в исследуемом объекте.

Ключевые слова: аккумулятор теплоты, теплоаккумулирующий материал, фазовый переход, зарядка и разрядка аккумулятора.

Постановка проблемы. Аккумуляирование теплоты производится с целью ее запасания в определенные моменты времени, когда имеется ее переизбыток, и дальнейшего ее использования в другие периоды, когда имеется ее дефицит. К таким источникам тепловой энергии могут относиться, например, солнечные коллекторы, тепловые насосы (низкопотенциальная тепловая энергия) и другие источники. Аккумуляирование тепловой энергии может проводиться при нагревании какого-либо материала (воды, твердых материалов) или используя фазовые или химические превращения материала (процессы плавления и кристаллизации, прямые и обратные химические реакции, сопровождающиеся поглощением и выделением теплоты). Аккумуляоры теплоты (АТ) с фазовыми или химическими превращениями позволяют сконцентрировать большое количество энергии в сравнительно небольших объемах аккумулялирующего материала (АМ). В качестве аккумулялирующих материалов при фазовых превращениях могут быть использованы, например, соли Na или K, а также природные материалы (парафин, глауберова соль), обладающие низкой температурой плавления и кристаллизации [1, 2].

© Антипов Е.А.

* Научный руководитель – Горобец В.Г., д.т.н., професор

Анализ последних исследований. Исследования плавления теплоаккумулирующих материалов около тепловых источников, проведенные рядом автором экспериментальными [3, 4] или численными методами [5] позволили выявить определяющее влияние свободной конвекции в процессах переноса теплоты при фазовом переходе вещества из твердого в жидкое состояние. Поэтому, представляет интерес изучение тепловой эффективности и геометрии размещения теплообменных поверхностей в объеме аккумулирующих материалов таких аккумуляторов.

Формулирование целей (постановка задания). Эффективность тепловых аккумуляторов (с фазовыми или химическими превращениями АМ) в значительной степени зависит от степени использования потенциала накопления и отдачи энергии за полный цикл работы соответствующего устройства. Это ставит перед исследователями задачу выбора оптимальных параметров их конструкции, куда входят объем, масса теплоаккумулирующего материала и т.п. Целью настоящей работы является – экспериментальное исследование процессов фазового перехода в теплоаккумулирующих материалах органического происхождения и их влияние на оптимальные параметры и геометрию размещения теплообменных поверхностей в таких теплоаккумуляторах.

Основные материалы исследования (основная часть). В настоящей работе исследованы процессы переноса тепла в замкнутой емкости при плавлении АМа вокруг горизонтального цилиндрического теплового источника (труб) с гладкой поверхностью. При проведении экспериментов геометрия размещения теплообменных труб с наружным диаметром 21,3 мм, внутри объема теплоаккумулирующего материала, выполнена на осевом расстоянии 40 мм от стенок и дна корпуса теплоаккумулятора.

За 8-мь часов работы аккумулятора тепла на основе парафина (период наименьшей стоимости электроэнергии при зональном учете энергопотребления), АМ прогрелся равномерно по экспоненте. Однако на внутренней стороне стенок и дне теплового аккумулятора остался шар непрогретого аккумулирующего материала толщиной 1,0 и 2,5 см соответственно. Изложенное подтверждается данными измерений температур в контрольных точках в объеме теплоаккумулирующего материала аккумулятора теплоты фазового перехода: на расстоянии 50 мм над и под нагревной трубой. Результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Как видим, процесс прогрева, с последующим плавлением, теплоаккумулирующего материала над тепловым источником происходит существенно (в 1,5 раза) быстрее, чем под ним, что в последствии влияет и на конечную температуру нагрева, а отсюда, и на неравно-

мерность прогрева верхнего (до 65 °С) и нижнего (до 57 °С) уровней АМ в аккумуляторе теплоты фазового перехода.

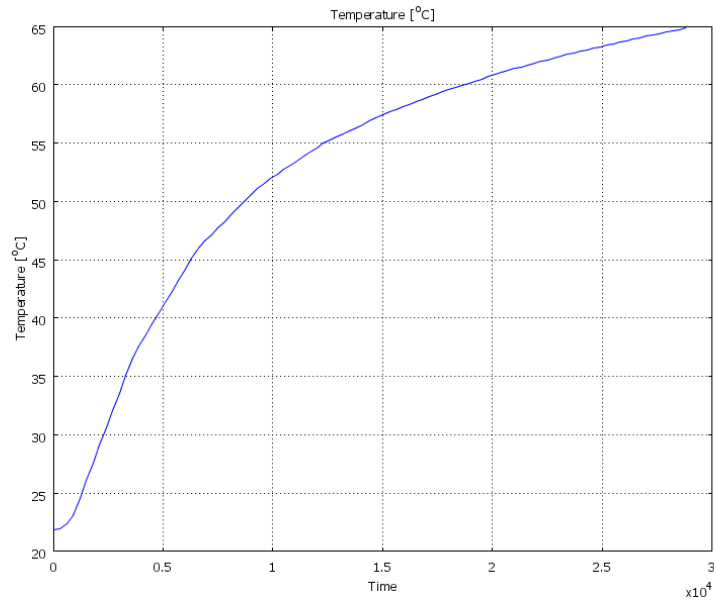


Рис. 1. Динамика роста температур над нагровою трубою.

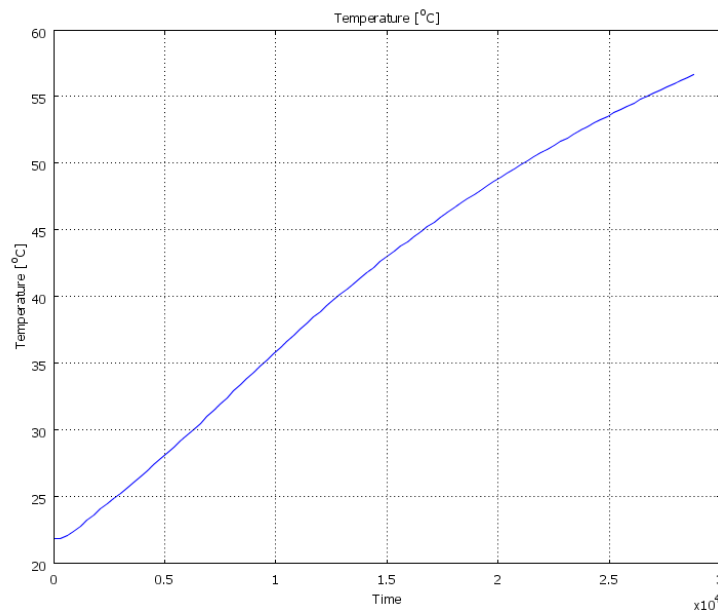


Рис. 2. Динамика роста температур под нагровою трубою.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили результаты ранее выполненного численного моделирования [6], что дало возможность получить значения конечного радиуса распространения теплоты в массиве теплоаккумулирующего материала фазового перехода в зависимости от площади теплообменной поверхности, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Граничные расстояния размещения теплообменной поверхности относительно внутренних стенок корпуса аккумулятора теплоты

Параметр		Номинальный диаметр (дюймы)					
		½	¾	1	1 ¼	1 ½	2
Условный проход, мм		13	19	25	32	38	50
Внешний диаметр теплообменных труб, мм		21,25	26,75	33,50	42,25	48,00	60,00
Расстояние от теплообменных труб до дна и стенок корпуса теплоаккумулятора, мм	min	29,0	37,0	46,0	58,0	66,0	83,0
	max	31,0	39,0	49,0	61,0	70,0	87,0

Выводы. В результате проведенного экспериментального исследования процессов плавления и затвердевания теплоаккумулирующего материала при нагревании и охлаждении его пучками труб определены основные характеристики исследуемых процессов (распределение температурных полей, профили границ плавления и затвердевания, распределение поля скоростей в расплавленном материале и другие их характеристики).

Кроме того, в результате численного моделирования получена динамическая картина процесса образования и временно-пространственного распределения конвективных тепловых потоков. Направление распределения последних учтено при определении размеров теплообменной поверхности и выборе оптимальной геометрии размещения пучков труб в аккумуляторе теплоты, для которой процессы «зарядки» и «разрядки» аккумулятора будут протекать за минимальные промежутки времени.

Список использованных источников.

1. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272с.

2. Быстров В. П. Теплоаккумуляторы с использованием фазового перехода / В. П. Быстров, А. В. Ливчак / Вопросы экономии тепло-энергетических ресурсов в системах вентиляции и теплоснабжения: Сб. науч. тр. – М.: Изд-во ЦНИИЭПИО, 1984. – С.75–90.

3. Спэрроу, Шмидт, Рэмси. Экспериментальное исследование роли естественной конвекции при расплавлении твердых веществ // Теплопередача, 1978. – №1. – С.10-16.

4. Соуза-Мендес, Пиньо-Бразил мл. Теплообмен при плавлении в окрестности изотермического вертикального цилиндра // Теплопередача, 1988. – №3.

5. Хо, Висканта. Теплопередача при плавлении от изотермической вертикальной стенки // Теплопередача. 1984. – №1. – С.9-18.

6. Горобець В.Г. Компьютерное моделирование процессов тепло-массопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты / В.Г. Горобец, Е.А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №1(14). – С. 15-19.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСОПЕРЕНОСУ В
НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ
ПРИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ АКУМУЛЮЮЧОГО
МАТЕРІАЛУ**

Антипов Є.О.

Анотація – розроблена конструкція та проведено експериментальне дослідження процесів теплопереносу в акумуляторі теплоти фазового переходу. Вивчені та проаналізовані отримані значення динаміки температурних полів і розподілення теплових потоків в тепловому акумуляторі, а також накопичення та витрат теплової енергії у досліджуваному об'єкті.

**INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN LOW-
TEMPERATURE HEAT ACCUMULATOR WITH PHASE
TRANSFORMATIONS OF ACCUMULATING MATERIAL**

I. Antypov

Summary

Design is developed and experimental studies of the heat accumulator. As a result of experimental studies the temperature fields are got in the system a pipe bunch and heat-accumulating material. The dynamics of accumulation process and charges of thermal energy in the investigated object is studied.

УДК 004.896

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ СТРУКТУР ПРИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОМУ УПРАВЛІННІ ТЕПЛИЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Болбот І.М., к.т.н.*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
066-111-89-11

Анотація - проаналізовано сучасні архітектури систем управління тепличними підприємствами; продемонстровано приклади ефективного використання нейронних мереж при вирішенні задач управління та розпізнавання образів; запропоновано удосконалені архітектури енергоефективних систем управління тепличними комплексами із нейромережевими блоками підтримки прийняття рішень та роботехнічними засобами.

Ключові слова: нейронна мережа, Байєсівська статистика, персептрон, робото технічний комплекс.

Постановка проблеми. Системи управління з класичними методами вибору параметрів мікроклімату не враховують зміни збудованих дій, зокрема температурних, на біотехнічний об'єкт протягом усього періоду технологічного утримання рослинної (тваринної) продукції. Застосування таких систем при забезпеченні належної продуктивності біологічного об'єкту може призвести до зменшення енергетичних витрат тільки до 5% порівняно із системами, що синтезовані на основі інтелектуальних підходів [1, 2]. Тому актуальним є задача таких програмно-апаратних засобів управління, які б підвищили ефективність промислового використання біологічних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень. Розроблені математичні та програмно-апаратні засоби інтелектуального управління промисловим пташником як біологічним об'єктом [3-4], продемонстрували вірний тренд такого підходу. Створені температурні фрейми та образи пройшли позитивну апробацію на виробничому об'єкті [3].

Однак, було встановлено, що запропонований алгоритм класифікації образів на основі статистичних рішень має певний недолік – суттєву нечутливість до початку зміни одного образу на інший, що може

призвести до значних фінансових втрат. Хоча при певній стаціонарності температурних режимів ним досягається потрібна предиктивна якість.

Виходячи із необхідності адекватного аналізу початку зміни одного образу на інший, для вирішення такої задачі було запропоновано застосування математичного апарату ймовірнісних нейронних мереж.

Формулювання цілей статті. Провести аналіз існуючих та розробити нову архітектуру системи управління тепличними комплексами.

Основні матеріали дослідження. Для встановлення початку зміни одного образу на інший використали окремий випадку Байєсівських мереж – ймовірнісні нейронні мережі (probabilistic neural networks – PNN). Це – вид нейронних мереж, що ефективно застосовуються для вирішення задач класифікації, де щільність ймовірності приналежності класам оцінюється за допомогою ядерної апроксимації [5].

При вирішенні задач класифікації виходи мережі можна з користю інтерпретувати як оцінки ймовірності чи елемент належить деякому класу. Мережа фактично вчиться оцінювати функцію щільності ймовірності.

Наприклад, для Сакського району Автономної Республіки Крим було сформовано 132 температурні образи з відповідними числовими значення вхідних параметрів [3].

При синтезі PNN-класифікатора температурних образів як вхідні величини використали (табл.1): математичне сподівання (m_0); амплітуда температурних коливань (A); мінімальне середньоквадратичне відхилення (σ_{\min}); максимальне середньоквадратичне відхилення (σ_{\max}).

Таблиця 1 – Діапазони зміни вхідних величин

$m_0, ^\circ\text{C}$	$A, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\min}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\max}, ^\circ\text{C}$
-24 – +18	0 – 10	0,5 – 2,5	3 – 5

Вихід мережі – номер класу (образу), до якого відноситься отриманий набір вхідних величин.

Нейромережевий шар додавання матиме по одному елементу для кожного класу з навчальної множини даних – 132. До всіх елементів цього шару йдуть зв'язки тільки від елементів шару зразків, що належать до відповідного образу.

Активність елемента шару зразків дорівнюватиме

$$O_j = \exp\left(-\frac{\sum (w_{ij} - x_i)^2}{\sigma^2}\right). \quad (1)$$

де w – значення вагових коефіцієнтів;

σ – параметр, який задає ширину функцій;

x – невідомий вхідний зразок.

Вагові значення зв'язків, що йдуть від елементів шару зразків до елементів шару додавання, фіксуються рівними 1.

Елемент шару додавання просто підсумовує вихідні значення елементів шару зразків. Ця сума дає оцінку значення функції щільності розподілу ймовірності для сукупності примірників відповідного класу. Вихідні елементи являють собою дискримінатори порогової величини, що вказують елемент шару додавання з максимальним значенням активації (тобто вказують на один із 132 температурних образів).

У контексті нашого завдання, цікавить не стільки дискретна класифікація, скільки значення вихід шару додавання, який вираховує щільності розподілу ймовірності для сукупності примірників відповідного класу. Тобто на виході цього шару зможемо відслідковувати динаміку зміни (потенційної зміни) температурних образів.

Для дослідження якості класифікації створили 20 можливих наборів вхідних параметрів, при чому вони належать до певних різних класів.

Ймовірнісна нейронна мережа вірно класифікувала всі набори з чіткою перевагою на виході шару додавання щільності розподілу ймовірностей відповідних образів-переможців (рис. 1).

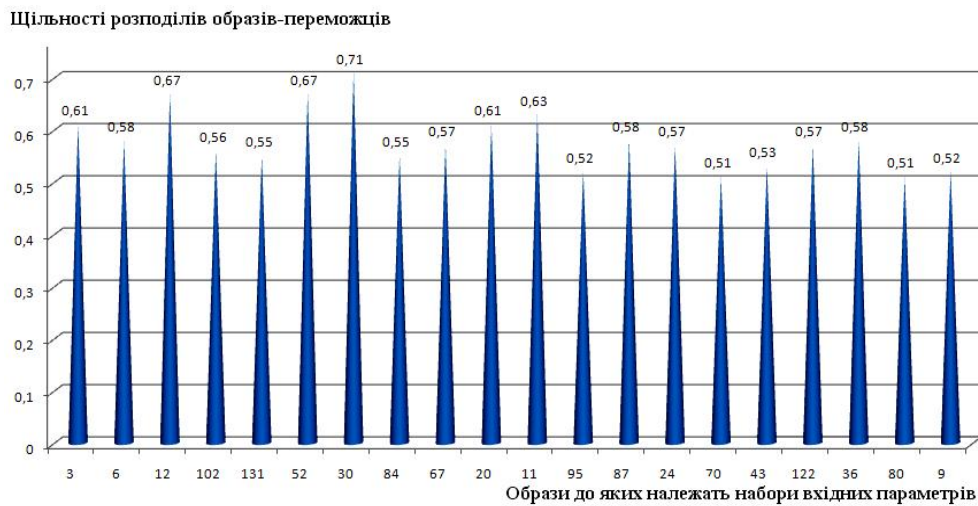


Рис. 1. Щільності розподілу ймовірностей образів-переможців при дослідженні якості класифікації за допомогою PNN.

Інший недоліком традиційної системи полягає у тім, що при її створенні були використанні багаторічні спостереження зміни зовнішніх природних збурень тільки у вигляді температури. Вони показали, що такі збурення є реалізаціями нестационарного випадкового процесу, які можна поділити на ділянки, що становлять реалізації стаціонарного процесу або стаціонарного з детермінованими складовими (квазістаціонарного). У випадку ж, наприклад, природних збурень у

вигляді сонячної радіації (інформаційно-вимірюючий комплекс встановлено у Броварському районі Київської області), яка вагомо впливає на продуктивність рослин, експериментально встановлено, що такий часовий ряд є нелінійним та нестационарним без явно виражених детермінованих складових. Тобто підхід щодо формування та розпізнавання образів природних збурень, запропонований у прототипові, досить складно реалізувати у випадку збурень, які не відносяться хоча б до квазістационарних.

Усунення такого недоліку вбачається у заміні в підсистемі прийняття рішень блоку розпізнавання образів на основі статистичних рішень на блок нейромережевого прогнозування часових рядів, який продемонстрував ефективні предикативні властивості із усіма варіантами температурних часових рядів. Що, перш за все пов'язано із тим, що більшість моделей класичного статистичного аналізу часових рядів можна реалізувати за допомогою нейронних мереж, при чому будь-яка залежність з безперервною нелінійною функцією може бути відтворена багатошаровою мережею [6]. Тобто замість того, щоб відображати поверхню у вхідному (фазовому) просторі, утворену даними за допомогою однієї гіперплощини, кількох гіперплощин, або декількох гіперплощин, гладкоз'єднаних одна з одною, нейронна мережа може здійснити довільне її нелінійне відображення.

Для підвищення якості прогнозування проводилась попереднє нормування вхідних даних ($\theta_{зов}$) згідно лінійної залежності

$$x_i = \frac{\tilde{\theta}_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (2)$$

де: x_i – реальне значення елемента часового ряду;

x_{\min} – елемент часового ряду який має мінімальне значення;

x_{\max} – елемент часового ряду який має максимальне значення.

У результаті розв'язку оптимізаційної задачі кращими НМ були вибрані: радіально-базисна функція RBF (помилки: навчальна – 2,617 °С, контрольна – 2,617 °С, тестова – 2,06 °С), лінійна з двома нейронами у вхідному шарі Linear 1 (помилки: навчальна – 0,103 °С, контрольна – 0,086 °С, тестова – 0,097 °С), лінійна з трьома нейронами у вхідному шарі Linear 2 (помилки: навчальна – 0,103 °С, контрольна – 0,086 °С, тестова – 0,096 °С), багатошаровий перцептрон із п'ятьма нейронами у прихованому шарі MLP 1 (помилки: навчальна – 0,077 °С, контрольна – 0,068 °С, тестова – 0,074 °С), багатошаровий перцептрон із двома нейронами у прихованому шарі MLP 2 (помилки: навчальна – 0,073 °С, контрольна – 0,065 °С, тестова – 0,07 °С).

Щодо отримання прогнозів, котрі виходитимуть за межі навчальної, контрольної та тестової вибірок, реалізували проекцію часового

ряду для кожної із мереж, задавши глибину прогнозу на 8 елементів вперед (рис. 2).

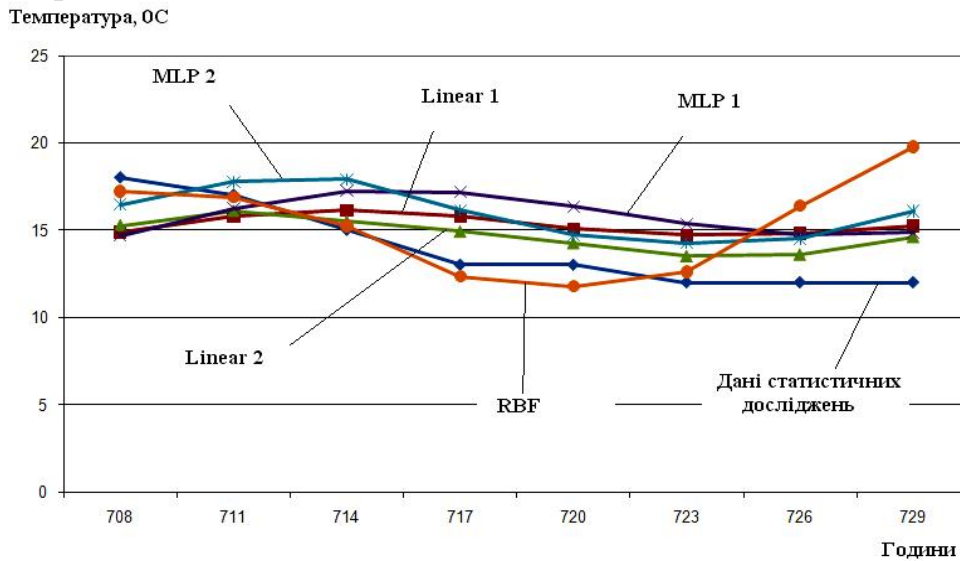


Рис. 2. Нейромережеві проєкції часових температурних рядів.

При прогнозуванні на добу вперед в цілому спостерігається (див. рис. 2) достатня точність прогнозу. Найкращу адекватність продемонструвала НМ Linear 2 (табл. 2).

Таблиця 2 – Середньоквадратичні похибки прогнозування температури при глибині проєкції 8 елементів часового ряду

RBF, °C	Linear 1, °C	Linear 2, °C	MLP 1, °C	MLP 2, °C
3,220811	2,503599	1,789107	3,007316	2,555901

Однак, аналіз проєкційного графіка показує, що найкраща предиктивність має місце при глибині 5 елементів – 15 годин (табл. 3). Особливо стосовно НМ RBF. Це пояснюється логістичною функцією активації вихідного шару мережі, яка здійснює “зрізання” вихідних значень, не дозволяючи екстраполювати.

Таблиця 3 – Середньоквадратичні похибки прогнозування температури при глибині проєкції 5 елементів часового ряду

RBF, °C	Linear 1, °C	Linear 2, °C	MLP 1, °C	MLP 2, °C
0,566589	1,748116	1,313599	2,376692	1,735387

У всіх випадках виробничого застосування нейронні мережі накопичуватимуть технологічну інформацію (базу знань) та періодично здійснюватимуть «донавчання» на нових даних.

Однак, навіть із врахуванням переваг нейромережевого аналізу, для досягнення енергоефективного управління тепличним комплексом необхідно усунути ряд недоліків:

–технологічна інформація на систему управління потрапляє від незначної кількості локальних стаціонарно-встановлених датчиків, створюючи можливість не передачі на блок управління, за умов дії на об'єкт збурюючих впливів техногенного та природного походження, достовірної інформації щодо реального відхилення технологічних параметрів від нормативних вимог утримання біологічних об'єктів;

–для отримання даних із усієї виробничої площі потрібна значна кількість стаціонарно-встановлених датчиків (розрахунок ведеться залежно від типу виробництва), що спричиняє: значні капіталовкладення, затрати на експлуатацію та зниження надійності системи управління в цілому.

Вирішуються такі недоліки за рахунок того, що технологічні параметри стану біологічного об'єкта θ_{mex} (температура, вологість, загазованість тощо) поступають від датчиків, сприймаючі елементи яких встановлені на базі мобільного робототехнічного комплексу, який горизонтально переміщується по всій виробничій площі. Дані у режимі реального часу передаються на блок управління (рис. 3) об'єктивно забезпечуючи режим реального часу.

Така система управління функціонує таким чином: сигнал із стаціонарних сприймаючих елементів ($\theta_{зов}$) потрапляє у блок фільтрації сигналу 2 (зовнішня температура, сонячна радіація тощо), який працює на основі перетворення Гільберта-Хуанга. Особливістю роботи такого блоку полягає у необхідності адекватного представлення даних із можливістю формування адаптивного базису, який функціонально залежатиме від змістової складової самого сигналу, а не буде попередньо вибраним та незмінним, як у класичних підходах.

Очищений від зашумленості інформаційний сигнал (θ_{ϕ}) потрапляє у блок нейромережевого прогнозування часових рядів 3. На етапі навчання нейронної мережі вхідні дані розбиваються на такі блоки: навчальний, контрольні, тестові.

Прогнозоване значення природного збурення (Z_p) передається в блок прийняття рішень 4. Технологічні дані із мобільного робота передаються на блок управління 5. За допомогою блоку управління 5 проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління $U_{от}$ у локальному автоматичному управляючому пристрої 8.

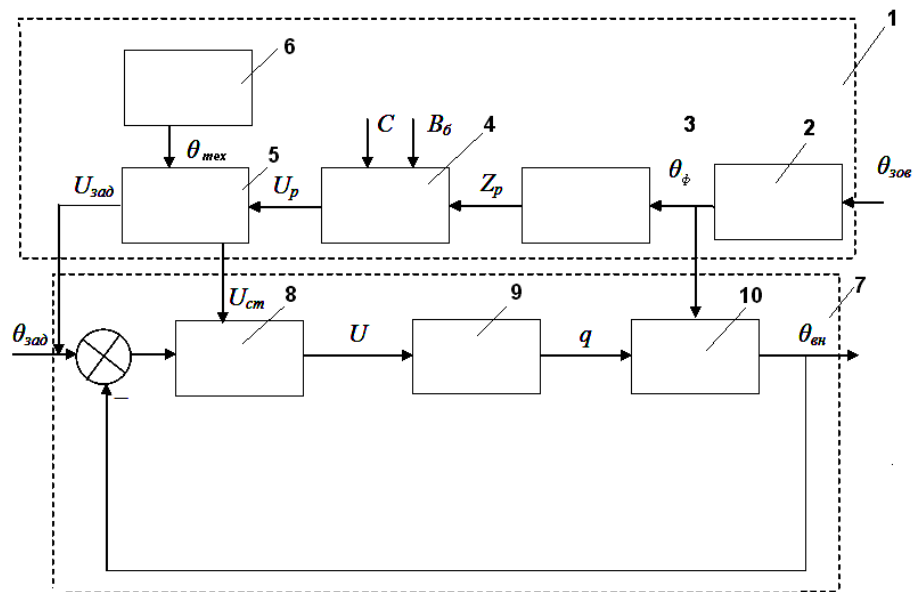


Рис. 3. Архітектура енергоефективної системи управління теплицею із застосуванням нейромережевого аналізу та робототехнічного комплексу: 1 – підсистеми прийняття рішень, 2 – блок фільтрації вхідного сигналу, 3 – блок нейромережевого прогнозування часових рядів, 4 – блок прийняття рішень, 5 – блок управління, 6 – мобільний робототехнічний блок моніторингу технологічних параметрів, 7 – локальна системи управління, 8 – локальний автоматичний управляючий пристрій, 9 – виконавчі елементи, 10 – теплиця.

Висновок. Удосконалення архітектур систем управління теплицями шляхом включення нейромережевих блоків у інтелектуальні підсистеми прийняття рішень та робототехнічних комплексів збору технологічної інформації, дозволить розширити перелік ефективно опрацьовуваних природних збурень та забезпечити підвищення прибутку від реалізації виробленої продукції при мінімізації енергетичних витрат на утримання.

Список використаних джерел.

1. Лисенко В.П. Визначення оптимальної температури у пташнику для утримання птиці ячного напрямку з урахуванням енергоємності процесу / В.П. Лисенко, І.М. Болбот // Науковий вісник НАУ – К., НАУ. – 2002. – Випуск 50. – С. 219-227.

2. Лисенко В.П. Використання методу Лагранжа для визначення оптимальних параметрів в промисловому пташнику / В.П. Лисенко, М.О. Русиняк // Електрифікація і автоматизація сільського господарства. – К.: НАУ. – 2004. – № 2 (7). – С. 75-83.

3. Лисенко В.П. Адаптивний алгоритм оперативного управління промисловим пташником на основі теорії статистичних рішень / В.П. Лисенко, Б.Л. Головінський, В.М. Решетюк, А.А. Руденський // Науко-

вий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2010. – №153. – С. 235-244.

4. *Лисенко В.П.* Метод оцінки ефективності роботи систем управління умовами утримання біологічних об'єктів для промислового виробництва сільськогосподарської продукції / *В.П. Лисенко, Б.Л. Головінський* // Аграрна наука та освіта – К.: НАУ. – 2005. – Т.6. - № 3-4. – С. 127-133.

5. *Гареев А.Ф.* Применение вероятностной нейронной сети для задачи классификации текстов / *А.Ф. Гареев* // Наука и образование. – М.: НиО. – 2004. – №11. – С. 105-117.

6. *Круглов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика / *В.В. Круглов.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ СТРУКТУР ПРИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕПЛИЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Болбот И.М.

Аннотация - проанализированы современные архитектуры систем управления тепличными предприятиями; продемонстрировано примеры эффективного использования нейронных сетей при решении задач управления и распознавания образов; предложены усовершенствованные архитектуры энергоэффективных систем управления тепличными комплексами с нейросетевыми блоками поддержки принятия решений и роботехническими средствами.

CONCEPTUAL BASES OF USE NEURAL NETWORK STRUCTURES IN ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT GREENHOUSE COMPLEX

Bolbot I.

Summary

Analyzes modern architecture control systems hothouse enterprises; demonstrated examples of effective use neural networks to solve problems of management and recognition; energy-efficient architecture provides an improved control system of the greenhouse complex with neural network units and decision support tools robotics.

УДК 626.81/84: 626.83

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ НА ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНОСТЬ ЗРОШУВАНОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Бохон І.М., аспірант*

*Якимівське міжрайонне управління водного господарства
Запорізького облводресурсів Держводагентства України.
Тел.: (06131) 9-19-72*

Анотація - у статті розглянуто питання впливу експлуатаційних та технологічних дефектів насосного устаткування на його енергоефективність і відповідно собівартість водоподачі для зрошення сільськогосподарських культур. Виконано аналіз багаторічних даних економічних показників при вирощуванні вологоємких культур на зрошуваних землях в умовах півдня України. Визначено вплив рівня питомої норми витрати електроенергії на складову вартості послуг з подачі води та повну собівартість продукції рослинництва. Виконаний аналіз гідравлічних процесів в проточній частині відцентрових насосів, наведено порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання.

Ключові слова: зрошуване землеробство, економічна ефективність, відцентрові насоси, питома норма витрати електроенергії, технічний стан, енергоаудит.

Постановка проблеми. Стратегічною лінією державної політики розвитку економіки України є енергозбереження. Основним нормативним документом, який визначає правові, економічно-соціальні і екологічні основи енергозбереження в державі, є Закон України "Про енергозбереження", прийнятий 1 липня 1994 року.

На меліоративних системах України більшість НС експлуатуються від 25 до 35 років. Близько 55% насосних агрегатів, що перебувають в експлуатації, мають ККД нижчі від 5 до 30% за паспортні значення, що призводить до марнотратного споживання електроенергії на перекачування ними води.

Аналіз останніх досліджень. За результатами енергетичних обстежень (енергоаудит), проведених ІГіМ УААН на багатьох об'єктах

водорозподільних систем України технічно доступний потенціал енергозбереження становить від 25 до 40% [1].

Згідно даним інвентаризації меліоративних фондів за 2009 і 2011рр., основними чинниками зниження затребуваності існуючих зрошувальних систем з тривалим терміном експлуатації є:

- низька експлуатаційна надійність;
- висока собівартість водоподачі, внаслідок значних експлуатаційних витрат і зайвого енергоспоживання насосним устаткуванням.

Гідравлічний привод машини "Фрегат" через неможливість забезпечити швидкий рух візків спонукає установлювати на водопровідному поясі середньострумінні дощувальні апарати, а не короткострумінні насадки, що викликає підвищені витрати енергії на створення більш високих напорів води [2].

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування принципів відновлення та технічного вдосконалення складних та енергоємних елементів насосних станцій – насосно-силового устаткування, з метою підвищення його енергоефективності і відповідно зниження собівартості водоподачі

Основна частина. До узагальнюючих додаткових показників економічної ефективності зрошувального землеробства відносяться: загальний рівень рентабельності як відношення чистого доходу до виробничих витрат, виражене у відсотках, або рівень рентабельності додаткових витрат на зрошування як відношення додаткового чистого доходу до додаткових витрат [3, 4, 5].

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100\% \quad (1)$$

де Π - прибуток від реалізації продукції;

C - повна собівартість продукції (валові витрати на виробництво).

Аналіз багаторічних даних валових витрат при вирощуванні вологоємких культур на зрошуваних землях в умовах півдня України показав, що складова вартості послуг з подачі води C^B становить до 43% від повної собівартості продукції рослинництва C (табл. 1).

Відповідно до [6], собівартість подачі води розраховується за формулою

$$C^B = C^0 + C^E, \text{ грн/ м}^3 \quad (2)$$

де C^0 - собівартість подачі води за постійними витратами додатковим до бюджетного фінансування водогосподарських організацій (без урахування електроенергії), грн/ м³;

C^E - собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії на подання води, грн/ м³.

$$C^E = e \cdot T \cdot 1000, \text{ грн/м}^3 \quad (3)$$

де e - питома норма витрати електроенергії на перекачування води, кВт · год/1000м³;

T - тариф на електроенергію для споживачів I (II) класу, грн/кВт · год.

Таблиця 1 – Фактичні затрати та складові собівартості при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошенні

Найменування культури	Площа яка поливається, га	Марка дощувальних машин	Подано води на полив, тис. м ³	Витрати на електроенергію, грн	Витрати на послуги з подачі води, грн	Фактична собівартість, грн./га	Відсоток витрат на послуги з подачі води до фактичної собівартості, %
2013 рік							
Соя	365	«Фрегат»	1642,5	596786	1030406	7800	36
Кукурудза на зерно	114	«Фрегат»	462,8	176453	331861	7606	34
2014 рік							
Соя	310	«Фрегат»	1395	582910	1003503	7567	43
Ячмінь ярий	66,5	«Фрегат»	86,5	36145	62224	3980	23

Для створення необхідного напору на гідранті дощувальної машини (0,47...0,70 МПа) максимальний напір на виході з насосного агрегату повинен складати – 0,7...1,2 МПа. Для обладнання з такими характеристиками планова питома норма витрати електроенергії на перекачування води, в окремих випадках, доходить до 550 кВт · год/1000 м³ (табл. 2).

Таблиця 2 – Планові питомі норми витрати електроенергії найбільш поширених типів насосних агрегатів.

Марка насосного агрегату	Планова питома норма витрати електроенергії, кВт год/1000 м ³
250QVD 570-45	352,0
250QVD 570-50	354,7
Д630-90(8 НДВ)	347,2
Д630-120в	494,3
220Д90	325,5
350Д40 (200Д70)	519,0

Аналіз тарифів на послуги з подачі води на закритих зрошувальних масивах Каховської ЗС та Приазовської ЗС за 2011...2015 рр. показав, що складова собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії C^E становить 65...85% від повної собівартості водо-

подачі C^B . Таким чином складова собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії C^E становить до 37% від повної собівартості продукції рослинництва C .

В процесі експлуатації, внаслідок природного зносу та старіння насосно-силового обладнання, відбувається збільшення питомих норм витрати електроенергії. Досвід експлуатації найбільш поширених у системі водного господарства відцентрових насосів типу Д показав, що основний вплив на енергоефективність устаткування справляють об'ємні та гідравлічні втрати енергії.

Об'ємні втрати енергії є наслідком перетікання води з полоти високого тиску через щілинне ущільнення у всмоктувальну полоть. Для кожного типу насосів виробники встановлюють необхідну величину щілинних зазорів під час експлуатації - у найбільш поширених в галузі меліорації насосів 250 QVD 570-50 (виробництва ЧССР) - 0,35 мм, 300 Д 90 (болгарського виробництва) - 0,40 мм. Під час експлуатації устаткування зазор між робочим колесом і корпусом насоса збільшується внаслідок абразивно-кавітаційного руйнування поверхонь ущільнення, що призводить до зростання внутрішнього кругообігу води. За результатами обстеження насосного устаткування після тривалого терміну експлуатації та порівняльного енергоаудиту встановлено, що стан щілинного ущільнення суттєво впливає на енергоефективність устаткування (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НС 61 МК КЗС, НС 3 Р8 КЗС і НС 4 ЗМК ПЗС.

Марка НСА	Витрата Q , м ³ /ч	Напір H , атм.	Струм I , а	Потужність P , кВт	Питома норма вир- трати ел. енергії. кВт·год/1000м ³	Зазори щілинних ущільнень, мм	Відсоток відхилен- ня %
250 QVD-570-50	650	9,5	34,5	297	456,9	0,3	100
	650	9,5	36	302	464,6	0,5	101,6
250 QVD-570-45	920	7,8	35	301	327,2	0,4	100
	916	7,8	36	307	335,2	0,6	102,4
250 QVD-500-54	810	6	375	202	249,4	0,3	100
	806	6	387	207	256,8	0,6	102,9

Гідравлічні втрати енергії виникають внаслідок втрат напору в процесі руху води в проточній частині насоса. Велика швидкість руху рідини в проточній частині насоса визначає турбулентний режим її руху, що пов'язано з утворенням пограничного шару і можливістю його спотворення. При ідеальному стані проточної частини гідравлічні

втрати будуть визначатися тертям рідини об її внутрішні поверхні. При наявності дефектів проточної частини формуються місцеві вихрові спотворення потоку, що викликають додаткові гідравлічні втрати напору.

Дефекти проточної частини робочих коліс насосів мають експлуатаційне та технологічне походження.

В процесі експлуатації відцентрових насосів найбільш поширеною причиною виникнення дефектів робочого колеса є кавітаційні пошкодження лопатей і дисків у вигляді каверн.

Найбільш поширеними технологічними дефектами при виготовленні робочих коліс є:

- взаємне зміщення ливарних напівформ, при яких на лопатях утворюється характерна «сходинка» (рис. 1а);

- не прилягання або руйнування кромки ливарних напівформ, в результаті чого на лопатях утворюються напливи («гребені») (рис. 1б);

- відкриті раковини і тріщини що виникають у процесі лиття (рис. 1с);

- в умови масового виробництва насосів вихідні кромки лопатей робочого колеса, в результаті його обробки, набувають явно виражену характерну "сходинку" (рис. 1д).

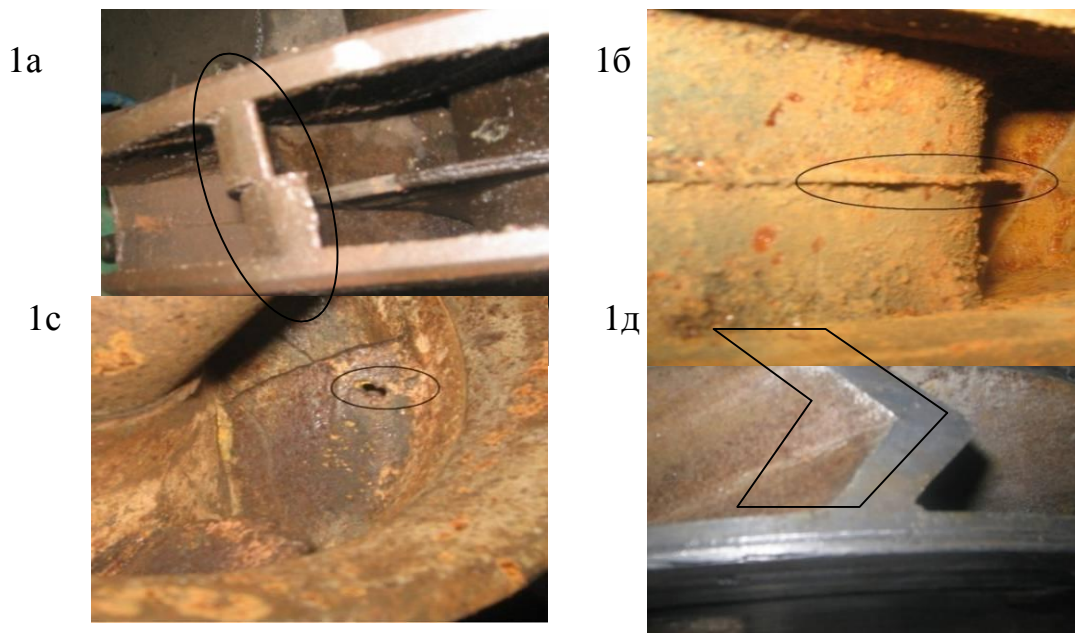


Рис. 1. Технологічні дефекти робочих коліс відцентрових насосів.

Описані вище експлуатаційні та технологічні дефекти проточної частини робочих коліс безпосередньо впливають на пограничний шар потоку, який за рахунок пульсацій швидкості і тиску збільшує свою товщину в зоні місцевих опорів [7, 8]. Наявність спотворень в пограничному шарі, за рахунок огинання дефектів, викликає деформацію

ядра потоку, що безпосередньо позначається на втратах енергії в насосі (рис. 2).

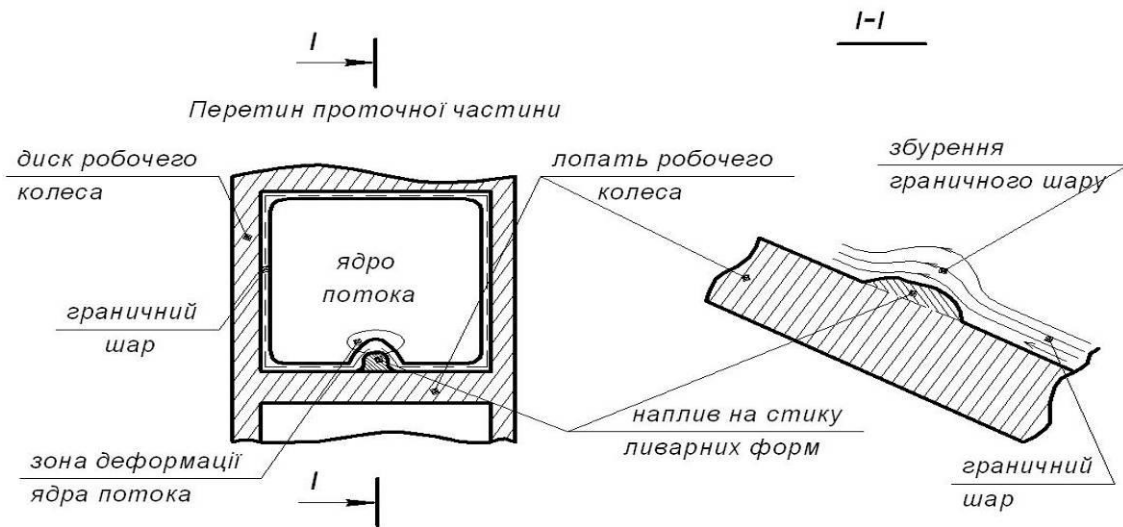


Рис. 2. Схема зміни пограничного шару при наявності напливу на лопаті робочого колеса.

Результати обстеження та порівняльного енергоаудиту, проведених з метою визначення впливу дефектів робочих коліс відцентрових насосів на енергоємність водоподачі, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НСП 5 ПЗС (насос Д 800-57, робоче колесо \varnothing 432 мм).

№ НСА	Стан Р/К	Витрата $Q_{\text{стац}}$, м ³ /ч	Потужність Р, кВт	Тиск у трубопроводі, м.в.ст.	Питома норма витрати електроенергії кВт год/1000м ³	Відсоток Відхилення %
1	напливи на лопатях Р.К.	740	160,5	53	216,9	108,2
2	норма	788	158	56	200,5	100
3	незначні кавітаційні пошкодження крайок лопатей (до 0,5 мм)	775	156	55,5	201,2	100,3
5	взаємний зсув ливарних напівформ	750	157	53,5	209,3	104,3

Наявність технологічного дефекту - "сходинки" на вихідній частині лопаті, утворює зону завихрення в місці "зриву" потоку з лопаті робочого колеса за рахунок пульсацій швидкості і тиску, що викликає спотворення і пульсацію потоку рідини в точці відриву від лопаті і переходу в спіральний відвід (рис. 3).

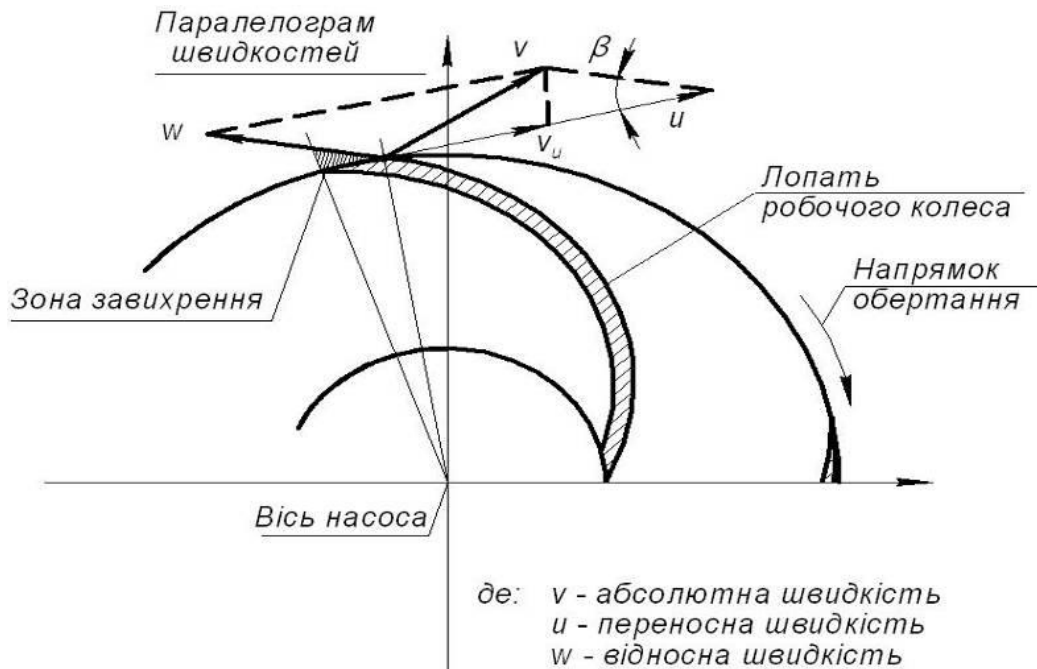


Рис. 3 Схематичне зображення робочого колеса відцентрового насоса з діаграмою векторів швидкостей.

З метою підвищення енергоефективності наявного насосного устаткування розроблена та впроваджена технологія модернізації існуючих відцентрових насосів методом надання (зміни геометрії) вихідним кромкам лопатей робочих коліс гідравлічно вигідного профілю.

Для визначення ефективності запропонованої технології усунення технологічного дефекту відцентрових насосів проведено порівняльний енергоаудит (табл. 5).

Оскільки основний вплив на енергоефективність насосного устаткування справляють різні види втрати енергії, які не змінюють умов підходу рідини до кожного подальшого місцевого опору, повна втрата енергії системи визначається як сума втрат усіх видів. Відповідно, природна деградація і старіння насосного устаткування в процесі роботи, при неналежному рівні експлуатації призводить до погіршення його технічного стану і як наслідок суттєвого підвищення енергоємності водоподачі. Результати енергоаудиту ряду об'єктів Запорізької та Херсонської областей показали, що за рахунок незадовільного технічного стану насосного устаткування наднормативне енергоспоживання може становити до 40%, що в свою чергу викликає збільшення складової вартості послуг з подачі води C^B понад 50% від повній собівартості продукції рослинництва C .

Таблиця 5 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НС 60 МК і НС 4 ЗМК (насоси 250 QVD 570-50, робоче колесо Ø 560 мм)

№ НСА	Миттєва витрата по стаціонарному витратоміру, $Q_{стат.}$, м ³ /год	Миттєва витрата по портативному витратоміру, $Q_{порт.}$, м ³ /год	Напір Н, м.в.ст.	Струм ЕД I, А	Напруга U, В	cos φ	Споживана потужність по лічильнику Р _с , кВт	Розрахункова споживана потужність Р _р , кВт	Питома норма витрати електроенергії, кВт год/1000м ³	Відсоток відхилення
При роботі трьох дощувальних машин ДМУ-Б434-90 «Фрегат»										
1*	970	969	8	41	6000	0,81	350,4	345	361	100
4	930	923	8	42	6000	0,81	354	353	380	105,3
При роботі двох дощувальних машин ДМУ-Б434-90 «Фрегат»										
1*	650	650	9	34	6000	0,7	262	247	403	100
4	630	620	9	35	6000	0,7	269	255	426	105,7
При роботі трьох дощувальних машин ДМУ-Д463-90 «Фрегат»										
1*	970	959	8	37	6000	0,8	305	307	314	100
3	958	954	7,7	38	6000	0,81	317	319	331	105,4
При роботі двох дощувальних машин ДМУ-Д463-90 «Фрегат»										
1*	631	637	9	32	6000	0,79	258	262	409	100
3	620	612	8,5	34	6000	0,79	275	279	444	108,5

* - насосне обладнання з модернізованими робочими колесами.

Висновки.

1. Проведеними дослідженнями доведено, що наявність експлуатаційних та технологічних дефектів насосного устаткування негативно впливає на його енергоефективність і призводить до збільшення енергоємності водоподачі, що відповідно збільшує складову вартості послуг з подачі води від повної собівартості продукції рослинництва, з 37% для справного насосного обладнання до 50%, при наявності дефектів ущільнень та робочих коліс .

2. У зв'язку з тим, що зрошувальні системи систем побудовані в 70-ті роки ХХ століття вже на стадії проектування мали досить високу енергоємність водоподачі, в окремих випадках до 550 кВт·год/1000 м³, додаткове її підвищення, за рахунок фізичного зносу та старіння насосного обладнання, негативно впливає на економічну ефективність зрошуваного землеробства, що суттєво впливає на ефективність використання та затребуваність зрошуваних земель.

3. Експлуатаційним організаціям необхідно особливу увагу приділяти стану щільних ущільнень та проточних частин робочих коліс відцентрових насосів, оскільки ці вузли найбільш схильні до зносу і деградації, при цьому істотно впливають на енергоефективність насосного обладнання. Запроваджена технологія надання вихідним кромкам лопатей робочих коліс гідравлічно вигідного профілю

забезпечує зниження питомих норм витрати електроенергії на 3...5% (залежно від коефіцієнта швидкохідності відцентрових насосів), що забезпечує зниження собівартості подачі води по фактичним затратам електроенергії на 1 насосний агрегат до 16 тис. грн./рік.

Список використаних джерел.

1. Програма підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010 – 2014 роки // Державний комітет України по водному господарству – К., 2009 – 38 с

2. *Ромащенко М. І.* Зрошення земель в Україні. Стан і шляхи поліпшення / *М. І. Ромащенко, С. А. Балюк* – К.: Світ, 2000. – 114 с.

3. Справочник экономиста сельского хозяйства / Под редакцией кандидатов экономических наук *Н.П. Кононенко, Н.Я. Кушвида* – К.: Урожай, 1985. – 528 с.

4. *Жминько В. И.* Себестоимость продукции растениеводства на орошаемых землях / *В. И. Жминько, В. П. Мацкевич, Л. Н. Куринная.* - Днепропетровск : Проминь, 1980. - 61 с.

5. *Randall A.* Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy / *A. Randall* // *The Australian Journal of Agricultural Economics*, 25(3), 1981. - pp. 195-220.

6. Методика формування ціни на подачу води на зрошення, промислові та комунальні потреби / [*Ромащенко М.І., Ковальчук П.І., Михальська Т.О., Матяш Т.В., Шевчук С.А., Волошин М.М., Пендак Н.В.*] – К., 2006. – 33с.

7. *Лезнов Б.С.* Экономия электроэнергии в насосных установках / *Б. С. Лезнов* – М: Энергоатомиздат, 1991 - 144 с.

8. *Шендрик В. В.* Физическая модель рабочего процесса в проточных частях насосов с полуоткрытыми и открытыми рабочими колесами / *В. В. Шендрик* // «Вісник Сум ДУ Технічні науки». №.1 2007.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

И.Н. Бохон

Аннотация - в статье рассмотрены вопросы влияния эксплуатационных и технологических дефектов насосного оборудования на его энергоэффективность и соответственно себестоимость водоподдачи для орошения сельскохозяйственных культур. Выполнен анализ многолетних данных экономических показателей при выращивании влагоемких культур на орошаемых землях в условиях юга Украины. Определено влияние удельной нормы

расхода электроэнергии на составляющую стоимости услуг по подаче воды и полную себестоимость продукции растениеводства. Выполнен анализ гидравлических процессов в проточной части центробежных насосов, приведены сравнительные данные энергетических обследований насосно-силового оборудования.

INFLUENCE OF TECHNICAL PUMPING EQUIPMENT ON THE ECONOMIC PERFORMANCE OF IRRIGATED AGRICULTURE

I. Bokhon

Summary

The article discusses the impact of operational and technological defects of pumping equipment on the energy efficiency and therefore the cost of water supply for irrigation of agricultural crops. The analysis of long-term data of economic indicators in growing moisture-loving crops on irrigated lands in southern Ukraine. The effect of the level of specific norms of consumption for a component of cost of services for water supply and total cost of crop production. The analysis of hydraulic processes in the flow path of centrifugal pumps, comparative data on energy audit of pumping equipment.

УДК 621.313.333

КОНТРОЛЬ ВИТРАТИ РЕСУРСУ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ ВІДХИЛЕННІ НАПРУГИ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.,

Квітка О.С., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: 0619-42-32-63

Анотація – запропоновані спосіб та пристрій контролю витрати ресурсу ізоляції асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги живлячої мережі за швидкістю теплового зносу ізоляції електродвигунів з урахуванням коефіцієнту завантаження.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, відхилення напруги, швидкість теплового зносу ізоляції, пристрій контролю витрати ресурсу.

Постановка проблеми. На сьогодні більше 50 % електричної енергії, що виробляється у світі, споживається асинхронними електродвигунами [1]. Таке розповсюдження ці електродвигуни отримали завдяки високій конструкційній надійності та порівняно незначній вартості виготовлення. В той же час експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів як у промисловості та і у сільському господарстві невисока: щорічно виходять з ладу та ремонтуються близько 30 % зазначених електродвигунів, час напрацювання на відмову становить 0,5 ... 1,5 роки [2]. Головними причинами невисокої експлуатаційної надійності вказаних двигунів є зовнішні впливи на них як з боку живлячої мережі, так і з боку робочих машин. Одним з таких впливів є зниження напруги живлячої мережі на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів.

Аналіз впливу відхилення напруги на асинхронні електродвигуни показує, що збільшення напруги живлячої мережі лише на 1 % призводить до збільшення реактивної потужності електродвигунів на 3 ... 7 % (в залежності від їх номінальної потужності) [3]. Зниження напруги на 10 % (що допускається стандартом) призводить до зниження обертаючого моменту електродвигуна на 19 %, збільшення ковзання

© Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С.

*Науковий керівник – Стьопін Ю.О., к.т.н., доцент

на 27,5 %, збільшення струму ротора на 14 %, а струму статора – на 14 %. Збільшення напруги на 10 % призводить до збільшення обертаючого моменту на 21 %, що є причиною перевантаження валів та передач, до збільшення пускового струму на 12 %, зниження коефіцієнта потужності на 5 % [4]. Таким чином, необхідна розробка і впровадження пристроїв контролю та захисту асинхронних електродвигунів від відхилення напруги живлячої мережі.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі на сьогодні пристрої дозволяють захищати асинхронні електродвигуни при відхиленні напруги живлячої мережі тільки у стандартизованих межах без урахування завантаження асинхронного електродвигуна та температури навколишнього середовища [5, 6].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Тому завданням статті є розробка пристрою контролю та захисту асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії при відхиленні напруги живлячої мережі з урахуванням завантаження асинхронних електродвигунів та температури навколишнього середовища.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Пристрій контролю та захисту асинхронних електродвигунів технологічної лінії базується на наступних принципах:

1. Експлуатаційні параметри кожного електродвигуна лінії, значення яких безперервно контролює пристрій, наступні: поточні діючі значення напруг у кожній фазі – U_A, U_B, U_C ; поточні діючі значення сил лінійних струмів – I_A, I_B, I_C ; поточна температура навколишнього середовища – $\vartheta_{сер}$.

2. Конструкційні параметри кожного електродвигуна лінії, значення яких вводяться у пристрій, наступні: номінальна швидкість теплового зносу ізоляції – ε_n ; параметр, що характеризує ізоляцію – B ; номінальне усталене перевищення температури ізоляції обмотки – τ_{1n} ; номінальна температура навколишнього середовища – $\vartheta_{сер.n}$; параметри Г-подібної схеми заміщення – r_1', r_2'', x_1', x_2'' ; коефіцієнт втрат – a ; температурний коефіцієнт опору провідників обмотки – α ; номінальне ковзання – s_n ; номінальна фазна напруга – U_n ; номінальний лінійний струм – I_n ; показник ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості – x ; відносне значення початкового моменту опору робочої машини – M_{0*} .

3. Пристрій, маючи значення експлуатаційних та конструкційних параметрів, обчислює швидкість теплового зносу ізоляції кожного електродвигуна лінії – ε .

4. У разі перевищення швидкості теплового зносу ізоляції хоча б одного з електродвигунів лінії понад номінальне значення (тобто 1 баз.год./год.) пристрій сигналізує обслуговуючому персоналу про

виникнення аварійного режиму роботи та вмикає стабілізатор напруги у силове коло електродвигунів лінії для підняття значення напруги на необхідний рівень.

5. У разі стабілізації напруги живлячої мережі, тобто досягнення нею допустимого значення на ділянці до підключення стабілізатора напруги пристрій сигналізує обслуговуючому персоналу про її стабілізацію та відключає стабілізатор напруги.

Взаємозв'язок між вказаними вище експлуатаційними та конструкційними параметрами асинхронних електродвигунів і швидкістю теплового зносу ізоляції досліджено авторами у [7]. На прикладі робочої машини з незалежної від швидкості механічною характеристикою він наступний:

$$k_U = \frac{\sqrt{\frac{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2}{3}}}{U_H}; \quad (1)$$

$$k_3 = \frac{\sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3}}}{I_H}; \quad (2)$$

$$\kappa^2 = k_U^2 \cdot \frac{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s_H}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{\frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_H}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}; \quad (3)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\tau_{1H} + g_{cep.H} + 273} - \frac{1}{\tau_{1H} \cdot \frac{a + \kappa^2}{1 + a - \alpha \cdot \tau_{1H} \cdot (\kappa^2 - 1)} + g_{cep} + 273} \right)}. \quad (4)$$

У разі зміни показника ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості, змінюється знаменник у виразі (3) відповідно до [7].

Згідно до викладеного вище пристрій контролю та захисту асинхронних електродвигунів технологічної лінії має декілька локальних частин і одну загальну частину.

Локальні частини встановлюються на кожен асинхронний електродвигун лінії. Основним елементом цих частин є локальний мікроконтролер, який призначений для обробки первинної інформації про

електродвигун за викладеним вище взаємозв'язком (1) – (4).

Загальна частина пристрою складається з шини обміну даними, яка сприймає інформацію з кожної локальної частини пристрою про поточний стан електродвигунів лінії (тобто інформацію про поточне значення швидкості теплового зносу ізоляції кожного електродвигуна лінії). Далі ця інформація потрапляє у загальний мікроконтролер, де відбувається її аналіз (тобто визначення, чи не перевищує швидкість теплового зносу ізоляції хоча б одного з електродвигунів лінії номінальне значення), накопичення інформації, вироблення керуючого впливу та сигналізація.

У відповідності до цього структурна схема пристрою контролю та захисту асинхронних електродвигунів технологічної лінії представлена на рис. 1.

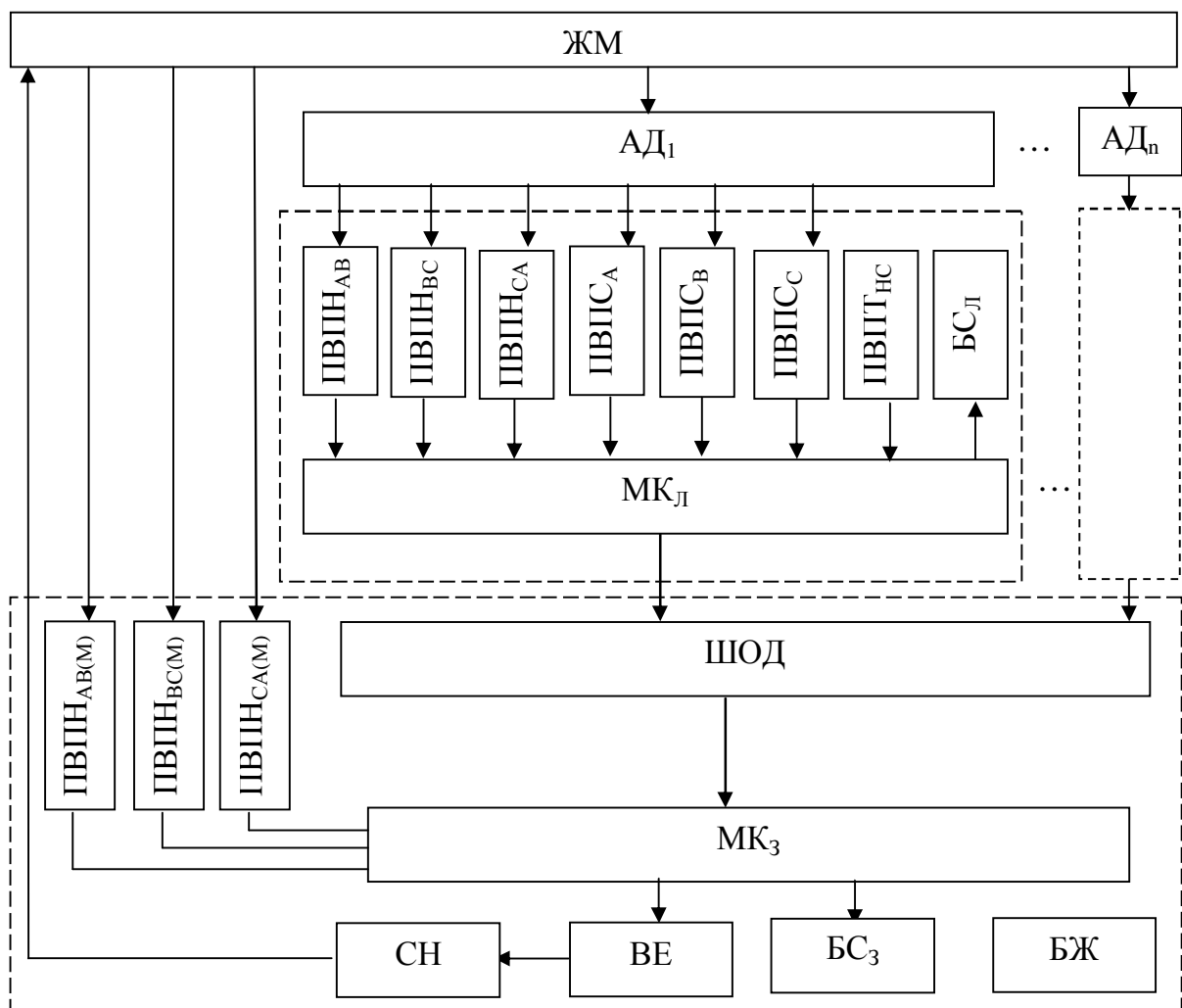


Рис. 1. Структурна схема пристрою контролю та захисту асинхронних електродвигунів технологічної лінії.

На структурній схемі (рис.1) наведено наступні умовні позначення: ЖМ – живляча мережа; АД₁ ... АД_n – асинхронні електродвигуни

технологічної лінії; ПВПН_А, ПВПН_В, ПВПН_С – первинні вимірювальні перетворювачі фазних напруг електродвигуна відповідно А, В і С; ПВПС_А, ПВПС_В, ПВПС_С – первинні вимірювальні перетворювачі лінійних струмів електродвигуна відповідно у проводах А, В і С; ПВПТ_{НС} – первинний вимірювальний перетворювач температури навколишнього середовища; БС_Л – блок сигналізації локальний; МК_Л – локальний мікроконтролер; ШОД – шина обміну даними; МК_З – загальний мікроконтролер; БЖ – блок живлення; БС_З – блок сигналізації загальний; ВЕ – виконавчий елемент; СН – стабілізатор напруги; ПВПН_{А(М)}, ПВПН_{В(М)}, ПВПН_{С(М)} – первинні вимірювальні перетворювачі фазних напруг живлячої мережі відповідно А, В і С.

Висновок. Таким чином, у статті запропоновано пристрій контролю та захисту асинхронних електродвигунів технологічної лінії, який дозволяє контролювати режим роботи, захищати електродвигуни потокової лінії при відхиленні напруги живлячої мережі з урахуванням завантаження асинхронних електродвигунів і температури навколишнього середовища та стабілізувати напругу живлячої мережі, тим самим підвищуючи експлуатаційну надійність вказаних електродвигунів.

Список використаних джерел.

1. Пинчук О.Г. Энергетические показатели асинхронного двигателя при различных параметрах питающего напряжения / О.Г. Пинчук // Наукові праці ДонНУ – Електротехніка і енергетика. – 2008. – Вип.8(140). – С.201–204.
2. Закладной А.Н. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей / А.Н. Закладной, О.А. Закладной // Энергетика та електрифікація. – Київ, 2004. – № 4. – С.63–67.
3. Токочакова Н.В. Оптимизация уровня напряжения промышленных потребителей с целью снижения энергозатрат / Н.В. Токочакова, Ю.Н. Колесник // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – Гомель, 2001. – № 3-4. – С.23–29.
4. Кондратюк О.Ю. Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты / О.Ю. Кондратюк, А.Б. Егоров // Системи обробки інформації. – 2006. – Вип. 4(53). – С.79–86.
5. Лавыгин Ю.С. Обоснование выбора микропроцессорного устройства защиты асинхронного электродвигателя / Ю.С.Лавыгин, М.Л.Сапунков // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь, 2014. – № 9. – С.142–148.
6. Попова І.О. Пристрій захисту асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги мережі // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12, Т.2. – С.47-50.

7. *Вовк О.Ю.* Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна / *О.Ю.Вовк, С.О.Квитка, О.С.Квитка* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2014. – Вип. 153 «Проблеми енергозабезпечення в АПК України». – С.79–81.

КОНТРОЛЬ РАСХОДА РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Вовк А.Ю., Квитка С.А., Квитка А.С.

Аннотация – предложены способ и устройство контроля расхода ресурса изоляции асинхронных электродвигателей при отклонении напряжения питающей сети по скорости теплового износа изоляции с учётом коэффициента загрузки.

CONTROL OF AN EXPENSE OF A RESOURCE OF ISOLATION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS AT A DEVIATION OF TENSION OF A POWER LINE

A.Vovk, S.Kvitka, A.Kvitka

Summary

The way and the control unit of an expense of a resource of isolation of asynchronous electric motors at a deviation of tension of a power line on the speed of thermal wear of isolation taking into account loading coefficient are offered.

УДК 681.5.03

СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЛИНИЕЙ РАВНОВЕСИЯ

Волянский Р.С., к.т.н.

Днепродзержинский государственный технический университет

Тел.: +380674985064

Аннотация - путем анализа характеристического уравнения замкнутой системы управления линеаризованным электромеханическим объектом с нелинейным алгоритмом предложен метод нахождения нелинейных стабилизирующих обратных связей, обеспечивающих улучшенные динамические характеристики. Использование предложенного метода базируется на применении итерационных процедур решения систем нелинейных уравнений. Приведенные выкладки подтверждены результатами математического моделирования.

Ключевые слова: характеристическое уравнение, нелинейная электромеханическая система, численные методы, переменный коэффициент усиления, апериодический переходный процесс

Постановка проблемы. В настоящее время одним из методов линеаризации уравнений движения нелинейных электромеханических систем является линеаризация обратными связями [1], которая позволяет представить произвольные уравнения движения

$$p y_i = f_i(y_1, \dots, y_n, U) \quad (1)$$

где y_1, \dots, y_n - координаты электромеханической системы;

U - управляющее воздействие;

$f_i(\cdot)$ - некоторые функции, определяющие взаимосвязь переменных состояния рассматриваемой системы;

n - порядок объекта управления, в форме Бруновского

$$p z_1 = z_2; \dots, p z_{m-1} = z_m; p z_m = v, z_1 = y_j,$$

$$U = \frac{1}{L_g L_f^{m-1} z_1} (L_f^m z_1 + v), \quad (2)$$

где z_1, \dots, z_m - новые переменные состояния;

m - порядок уравнений внешней динамики;

v - новое управляющее воздействие;

$L_g L_f^{m-1} z_1$ и $L_f^m z_1$ - соответствующие производные Ли [1].

Характеристическое уравнение линеаризованного объекта (2)

$$D(p) = p^m = 0, \quad (3)$$

имеет m -кратный нулевой корень, что ограничивает число методов и подходов, которые можно использовать для синтеза системы управления. При этом исключается большинство инженерных подходов к решению задач оптимизации электромеханических систем, таких как решение задачи аналитического конструирования регуляторов (АКР) [2], синтез замкнутых систем с позиции обратных задач динамики (ОЗД) [1]. Использование частотных методов, основанных на использовании логарифмических частотных характеристик [3] приводит к регуляторам со сложнореализуемыми передаточными функциями, полюса и нули которых выбраны эмпирически и не гарантируют требуемое качество процесса управления. Современные методы создания систем управления [4] не всегда обеспечивают желаемые динамические и статические характеристики замкнутых систем.

Анализ последних исследований. Одним из известных подходов, позволяющих синтезировать управляющее воздействие для объекта (2) является его последовательная и параллельная регуляризация [2,5]. Однако этот подход приводит к замене объекта (2) следующим динамическим объектом

$$pz_1 = z_2, \dots, pz_{m-1} = z_m; pz_m = -\sum_{i=2}^m a_i z_i + mv, \quad (4)$$

где a_i и m - коэффициенты регуляризации, которые назначаются из условий обеспечения желаемых траекторий движения внутренних контуров объекта управления.

Недостатком такого подхода является необходимость синтеза системы управления каждой внутренней переменной и использование при синтезе контура управления внешней переменной информации о всех синтезированных внутренних контурах [5]. Очевидно, что при синтезе систем управления электромеханическими объектами большого порядка такой подход является весьма трудоемким, особенно при различных коэффициентах регуляторов внутренних контуров.

Устранить этот недостаток можно, если синтезировать модальную систему управления [1]. В этом случае задание желаемого характеристического полинома автоматически означает определение весовых коэффициентов управляющего воздействия [6]. Однако, для обеспечения асимптотически устойчивых переходных процессов в этом случае увеличивают коэффициенты внутренних обратных связей, что приводит к сильному демпфированию системы и снижению ее быстродействия. Поэтому задача синтеза быстродействующей системы

управления динамическим объектом с несколькими нулевыми корнями характеристического уравнения является актуальной.

Формулировка целей статьи. Целью настоящей статьи является разработка метода определения переменных коэффициентов стабилизирующих обратных связей для нелинейных систем управления динамическими объектами с несколькими нулевыми корнями.

Основные материалы исследования. Рассмотрим линеаризованный электромеханический объект, динамика которого в форме Бруновского описывается уравнениями (2).

Будем считать, что все координаты объекта (2) известны и их комбинация подается на вход объекта в виде управляющего воздействия

$$v = f \left(z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right), \quad (5)$$

где $f(\cdot)$ - нечетная активационная функция;

z_1^* - задающее воздействие

Введем переменный коэффициент

$$g = \frac{\left| f \left(z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right) \right|}{\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right|} = \frac{f \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right)}{\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right|}, \quad (6)$$

Представим управляющее воздействие (5) следующим образом

$$v = g \left(z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right). \quad (7)$$

Подстановка управляющего воздействия (7) в уравнения (2) после раскрытия скобок позволяет получить уравнения динамики замкнутой системы управления:

$$\begin{aligned} p z_1 &= z_2; \dots, p z_{m-1} = z_m; \\ p z_m &= g z_1^* - g z_1 - g \sum_{i=2}^m k_i z_m. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнения (8) аналогичны по форме записи уравнениям (4), однако существенно отличаются наличием переменного коэффициента g . Значения этого коэффициента определяются используемой активационной функцией $f(\cdot)$, которая в свою очередь выбирается из условия реализации в замкнутой системе скользящего режима заданного порядка.

Из последнего уравнения системы (8) легко может быть определено характеристическое уравнение замкнутой системы

$$p^m + g \sum_{i=2}^m k_i p^{i-1} + g = 0. \quad (9)$$

Асимптотически устойчивые переходные процессы в замкнутой системе возникают при отрицательных вещественных корнях уравнения (9).

Обозначив корни желаемого характеристического полинома p_1, p_2, \dots, p_m и потребовав выполнение условия

$$\prod_{i=1}^m p_i = g, \quad (10)$$

составим желаемый полином

$$D^*(p) = \prod_{i=1}^m (p + p_i). \quad (11)$$

Используя обобщение теоремы Виета [7], запишем соотношения, связывающие коэффициенты полиномов (9) и (11)

$$\sum_{i=1}^m p_i = k_m g; \quad \sum_{\substack{i=1 \\ j=i+1}}^m p_i p_j = k_{m-1} g; \quad \sum_{\substack{i=1 \\ j=i+1 \\ r=j+1}}^m p_i p_j p_r = k_{m-2} g; \dots \quad (12)$$

В силу соотношения (10) можно утверждать, что корни желаемого характеристического полинома зависят от коэффициента g , т.е.

$$p_i = P_i(g), \quad i = 1, \dots, m. \quad (13)$$

С учетом зависимостей (13) соотношения (12) можно представить следующим образом

$$\begin{aligned} q_m(g) &= k_m; \\ q_{m-1}(g) &= k_{m-1}; \\ q_{m-2}(g) &= k_{m-2}; \dots, \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} q_m(g) &= \sum_{i=1}^m P_i(g); \quad q_{m-1}(g) = \sum_{\substack{i=1 \\ j=i+1}}^m P_i(g) P_j(g); \\ q_{m-2}(g) &= \sum_{\substack{i=1 \\ j=i+1 \\ r=j+1}}^m P_i(g) P_j(g) P_r(g); \dots \end{aligned} \quad (15)$$

Подставив в выражения (14) значение коэффициента (6), получим систему нелинейных уравнений для определения неизвестных переменных коэффициентов k_i , $i = 2, \dots, m$

$$q_j \left(\frac{f \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right)}{\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right|} \right) = k_j, \quad j = 2, \dots, m, \quad (16)$$

или

$$w_j \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right) = 0, \quad j = 2, \dots, m, \quad (17)$$

где

$$w_j \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right) = q_j \left(\frac{f \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right)}{\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right|} \right) - k_j. \quad (18)$$

Решение нелинейной системы алгебраических уравнений (17) может быть найдено только численно с использованием следующей итерационной зависимости, которая получена при помощи метода Ньютона

$$k_{jr} = k_{j(r-1)} - \frac{w_j \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right)}{\frac{\partial}{\partial k_j} w_j \left(\left| z_1^* - z_1 - \sum_{i=2}^m k_i z_i \right| \right)}. \quad (19)$$

Таким образом, коэффициенты стабилизирующих обратных связей определяются текущими значениями координат линеаризованного объекта, выбранной активационной функцией и в общем случае траекториями движения корней желаемого характеристического полинома.

В качестве примера рассмотрим определение коэффициента стабилизирующей обратной связи k_2 для линеаризованного объекта 2-го порядка

$$pz_1 = z_2; pz_2 = v, \quad (19)$$

с управляющим воздействием

$$v = \text{sign} \left(z_1^* - z_1 - k_2 z_2 \right). \quad (20)$$

Введя переменный коэффициент

$$g = \frac{1}{|z_1^* - z_1 - k_2 z_2|}, \quad (21)$$

запишем характеристическое уравнение замкнутой системы

$$D(p) = p^2 + k_2 g p + g = 0. \quad (22)$$

Для обеспечения асимптотической устойчивости замкнутой системы выберем в качестве желаемого характеристического уравнения полином Ньютона [1]

$$D(p) = p^2 + 2\sqrt{g} p + g = 0. \quad (23)$$

Приравнивание коэффициентов при одинаковых степенях p позволяет получить следующее выражение для определения искомого коэффициента k_2

$$2\sqrt{g} = k_2 g \quad (24)$$

или

$$k_2 = \frac{2}{\sqrt{g}}. \quad (25)$$

Подставив в выражение (25) значение коэффициента (21), получим

$$k_2 = 2\sqrt{|z_1^* - z_1 - k_2 z_2|}. \quad (26)$$

Решение уравнения (26) может быть получено в результате применения итерационной процедуры (19), которую для рассматриваемого примера можно представить следующим образом

$$k_{2r} = k_{2(r-1)} - \frac{2|z_1^* - z_1 - k_{2(r-1)} z_2| - k_{2(r-1)} \sqrt{|z_1^* - z_1 - k_{2(r-1)} z_2|}}{z_2 \operatorname{sign}(z_1^* - z_1 - k_{2(r-1)} z_2) - \sqrt{|z_1^* - z_1 - k_{2(r-1)} z_2|}}. \quad (27)$$

Переходная функция синтезированной системы приведена на рис.1 (кривая 1), там же для сравнения показаны результаты работы системы управления с релейным регулятором (кривая 2), реализующим алгоритм вида

$$v_m = \operatorname{sign}(z_1^* - z_1 - 2z_2), \quad (28)$$

который синтезирован при помощи последовательной регуляризации объекта (19) из условия обеспечения асимптотической устойчивости замкнутой системы.

Анализ полученных результатов показывает пятикратное повышение быстродействия системы управления с нелинейной линией переключения по сравнению с аналогичной системой с линейной линией переключения. При этом синтезированная нелинейная система является асимптотически устойчивой.

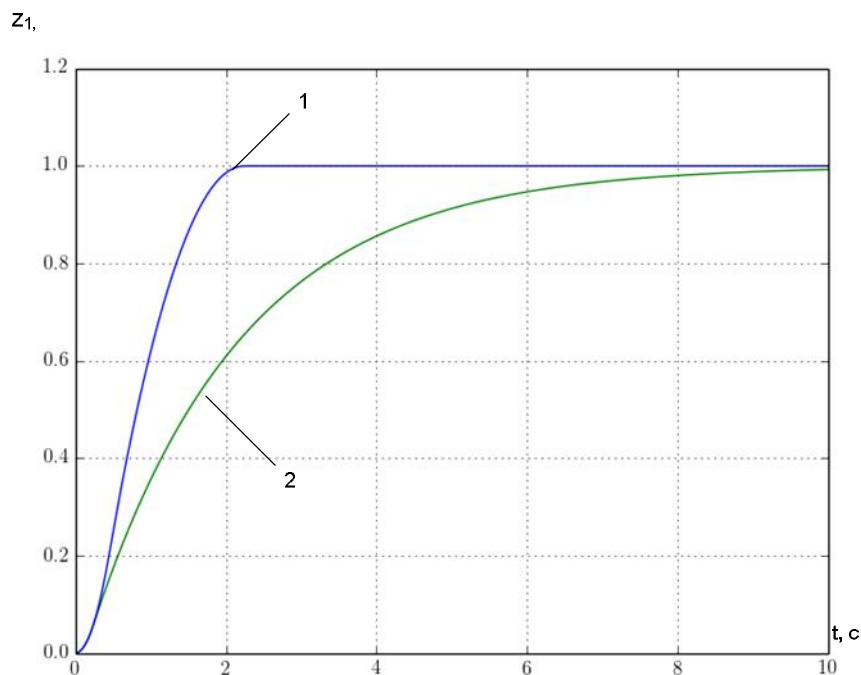


Рис.1 Результати математического моделирования систем с переменным (кривая 1) и постоянным (кривая 2) коэффициентом стабилизирующей обратной связи.

Выводы. Приведенные в работе выкладки и результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанный метод является методом параметрического синтеза, который позволяет определять коэффициенты стабилизирующих обратных связей в функции текущих значений координат линеаризованного объекта, выбранной активационной функции и траекторий движения корней желаемого характеристического полинома. Этот метод позволяет уточнять параметры алгоритмов управления, полученные в результате структурного синтеза и корректировать их заменой постоянных коэффициентов на переменные.

2. Любой алгоритм управления с нелинейной активационной функцией может быть приведен к виду аналогичному линейному алгоритму путем использования переменных коэффициентов, зависящих нелинейно от координат объекта. Такой подход позволяет составить характеристическое уравнение замкнутой системы управления с нелинейным алгоритмом и исследовать его методами классической теории автоматического управления.

3. Нелинейная зависимость введенных переменных коэффициентов от координат объекта управления определяет нелинейные траектории движения корней характеристического уравнения и, как следствие, формирует нелинейные стабилизирующие обратные связи. Использование этих обратных связей в системах разрывного управления

обеспечивает дополнительную форсировку, которая позволяет повысить быстродействие системы в целом.

4. Синтез переменных коэффициентов стабилизирующих обратных связей осуществляется из условия асимптотической устойчивости замкнутой системы и поэтому переход от постоянных коэффициентов обратных связей к переменным не нарушает условий устойчивости движения замкнутой системы.

5. В случае использования нелинейной нечетной активационной функции в алгоритме управления коэффициенты усиления стабилизирующих обратных связей могут быть определены численно при помощи соответствующих итерационных процедур. Такой подход позволяет синтезировать замкнутые системы со сколь угодно сложной активационной функцией, призванной обеспечить желаемое качество процесса управления.

Список использованных источников

1. *Ким Д.П.* Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы [Текст]/ *Д.П.Ким.* – М.: Физматлит, 2004.–464с.

2. *Садовой А.В.* Системы оптимального управления прецизионными электроприводами [Текст]/ *А.В. Садовой, Б.В. Сухинин, Ю.В. Сохина.* – К.:ИСИМО, 1998. – 298с.

3. *Солодовников В.В.* Основы автоматического регулирования [Текст]/ *В.В. Солодовников.* – М.: Машгиз, 1954. - 1118с.

4. *Пупков К.А.* Методы классической и современной теории автоматического управления. Т 5. Методы современной теории автоматического управления [Текст]/ *К.А.Пупков, Н.Д.Егупов.* – М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2004. – 784с.

5. *Волянский Р.С.* Алгоритмы регуляризации динамических объектов [Текст]/ *Р.С. Волянский, А.В. Садовой.* – Матеріали 1 Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування», 11-12 грудня 2014р, Харків.: НТУ «ХП», 2014. - С.27-28.

6. *Волянский Р.С.* Синтез оптимальной системы управления с нелинейной активационной функцией [Текст]/ *Р.С. Волянский, А.В. Садовой* // *Электротехнические и компьютерные системы* №15 (91), 2014. – С.69-71.

7. *Мельников О.В.* Общая алгебра [Текст] / *О.В. Мельников, В.Н. Ремесленников, В.А. Романьков, Л.А. Скорняков, И.П. Шестаков.* - М.:Наука, 1990. - 592с.

СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З НЕЛІНІЙНИМ ЛІНІЄЮ РІВНОВАГИ

Волянський Р. С.

Анотація - шляхом аналізу характеристичного рівняння замкнутої системи управління лінеаризованим електромеханічним об'єктом з нелінійним алгоритмом запропоновано метод знаходження нелінійних стабілізуючих зворотних зв'язків, що забезпечують покращені динамічні характеристики. Використання запропонованого методу базується на застосуванні ітераційних процедур розв'язання систем нелінійних рівнянь. Наведені викладки підтверджено результатами математичного моделювання.

SYNTHESIS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH NONLINEAR EQUILIBRIUM LINE

R. Volyanskyi

Summary

By analyzing the characteristic equation of the closed-loop control system of linearized electromechanical object with nonlinear algorithm, the method of finding a nonlinear stabilizing feedback, providing superior dynamic performance, is suggested. The use of the proposed method is based on the use of iterative procedures for solving systems of nonlinear equations. Given calculations are confirmed by the results of mathematical modeling.

УДК 674:621.928.93

ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ИЗ БИОМАССЫ

Вороновский И.Б., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел/факс (0619)-44-02-74; (0619)-42-25-85

Аннотация - изложены пути снижения энергозатрат при производстве путем применения тонкого помола. Оценена затрата электроэнергии на измельчение биомассы ударом и истиранием.

Ключевые слова: твердое топливо, биомасса, брикеты, пеллеты, энергозатраты.

Постановка проблемы. Институтом технической теплофизики НАН Украины был исследован и проанализирован потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и выполнена оценка сельскохозяйственных отходов, отходов деревообработки, энергетических культур, биодизеля, биоэтанола, биогаза с отходов животноводства и торфа [1]. Как показали расчеты экономический потенциал биомассы в Украине, доступной для получения энергии, составляет 27 млн. тонн условного топлива на год [2].

Альтернативой отходам деревообработки для прессования топливных гранул (пеллет) являются сельскохозяйственные отходы (солома, лузга зерновых культур: риса, кукурузы, подсолнечника). Сельскохозяйственные отходы могут быть значительным источником твердого топлива для сельских регионов.

Наиболее экономически выгодным является использование твердого топлива из биомассы в виде брикетов или пеллет, т.к. это не требует замены котлов и экономит средства на транспортных расходах.

Анализ последних исследований. Сельскохозяйственная биомасса, которая может использоваться как топливо, имеет ряд особенностей, которые отличаются от традиционных энергоресурсов. Некоторые характеристики биотоплива, в первую очередь такие, как плотность, размер частиц, специфика поверхности, с помощью измельчения и уплотнения могут быть изменены, при этом основные топливно-энергетические характеристики принято рассматривать как постоянные.

Наиболее важной топливно-энергетической характеристикой биомассы является ее теплотворная способность, которая зависит от множества факторов: генетических особенностей энергетических растений; влияния окружающей среды; условий хранения; влажности. В табл. 1 приведена средняя теплотворная способность биомассы при влажности на уровне 20% [1].

Таблица 1- Средняя теплотворная способность биомассы

Название биомассы	Теплотворная способность, МДж/кг
Солома зерновых культур	10,5
Стебли кукурузы	12,5
Ветки плодовых деревьев	10,5
Стебли подсолнечника	12,5
Виноградная лоза	14,5

Как следует из представленной таблицы и сравнительной характеристики разных видов топлива брикеты из отходов биомассы по теплотворной способности, а также содержанию серы и золы могут выступать хорошей альтернативой традиционным ископаемым видам топлива [1].

При производстве брикетов или пеллет большое значение на стоимость конечной продукции оказывает начальная влажность сырья. Обзор и анализ технической литературы позволяет выполнить ранжирование затрат при производстве твердого топлива [1, 2, 5]:

Анализ затрат показывает, что сушка сырья перед измельчением и прессованием занимает 34,2% общих затрат. Кроме того, сушка эффективна для измельченной биомассы.

Изучение и анализ технологического процесса позволяют сделать вывод, что снижения энергозатрат на производство единицы продукции можно добиться, исключив сушку при одновременном перераспределении энергии на измельчение и прессование.

Целью работы явилось обосновать пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива из биомассы за счет применения тонкого помола.

Основной материал. После предварительного измельчения биомассы с влажностью 20-30%, без применения сушки, выполняется тонкое измельчение. Такой путь позволяет получить уменьшение помола до значений 100...50 мкм при одновременной активации биомассы перед прессованием.

Мелкоизмельченная и одновременно активированная биомасса с влажностью 10-14% требует в 25 раз меньшей энергии при прессовании в шнековых прессах, где реализуется эффект снижения динамической вязкости биомассы за счет наличия больших скоростей сдвига.

В качестве устройства для измельчения биомассы может выступать дезинтегратор [4]. Научные основы применения дезинтегратора для измельчения строительных материалов разработаны Й.О. Хинтом, однако для измельчения биомассы, имеющей влажность до 20%, например соломы, используемый принцип удара – малоэффективен.

Поэтому была разработана конструкция дезинтегратора, где используются два принципа измельчения: удар и истирание одновременно. В начале измельчения в большей степени используется удар, на конечной стадии измельчения – в используется истирание. Такая конструкция позволяет снизить энергозатраты на измельчение при одновременном повышении качества помола.

Вид общий дезинтегратора представлен на рис. 1, из которого следует, что устройство состоит из двух, вращающихся навстречу друг другу роторов 3. Загрузка биомассы происходит через полый вал ротора с помощью шнека 7 внутрь помольной камеры 1.

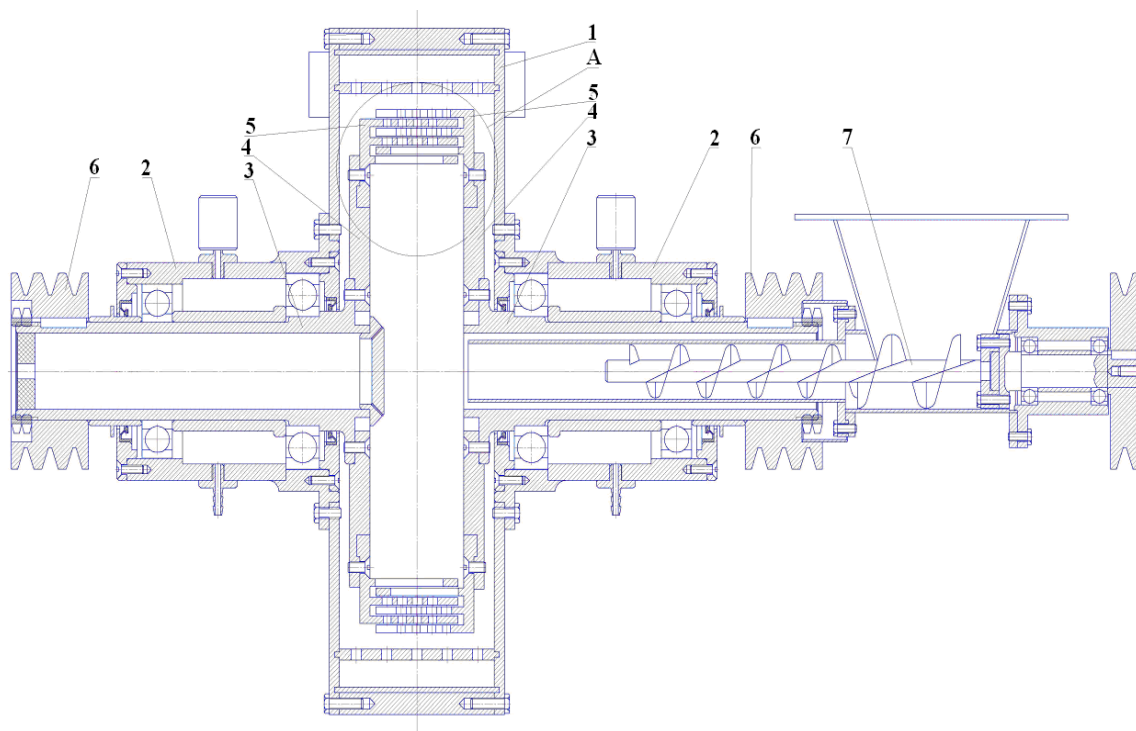


Рис. 1. Вид общий дезинтегратора:

1 – помольная камера; 2 – корпус шпинделя; 3 – опора; 4 – диск ротора; 5 – рабочие кольца; 6 – шкив; 7 – загрузочный шнек .

На основании гипотез Риттингера и В.Н. Кирпичева [6] о механизмах измельчения твердых тел теоретическим путем нами были получены расчетные формулы для определения мощности на измельчение за счет удара, $N_{уд}$

$$N_{\text{уд}} = \frac{\pi^2 \sigma^2 D_{\text{cp}} n l h \left(\frac{d_n}{d_k} - 1 \right)}{60E}, \quad (1)$$

где σ - временный предел прочности измельчаемого материала, Па;

D_{cp} - средний диаметр помольной камеры (рабочего колеса), м;

n - обороты ротора, об/мин;

l - ширина помольной камеры (рабочего колеса), м;

h - глубина помольной камеры (расстояние между рабочими колесами), м;

d_n, d_k - начальный и конечный диаметр частиц, м;

E - модуль упругости измельчаемого материала.

Минимальная скорость для измельчения материала за счет удара $U_{\text{уд}}$, определяется выражением

$$U_{\text{уд}} = \sigma \sqrt{\frac{\left(\frac{d_n}{d_k} - 1 \right)}{\rho E}}, \quad (2)$$

где ρ - плотность измельчаемого материала.

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что для тонкого измельчения (до 50 мкм) биомассы (например, древесных отходов), скорость удара должна быть не менее 62 м/с, а затрачиваемая мощность составляет более 6,4 кВт.

Мощность затрачиваемая на измельчение за счет истирания

$$N_{\text{ис}} = \frac{24 \mu \pi^3 D_{\text{cp}}^2 n^2 l \left(\frac{d_n}{d_k} - 1 \right)}{3600}, \quad (3)$$

где μ - динамическая вязкость помольной среды (биомасса + воздух), Па·с.

Минимальная скорость для измельчения материала за счет истирания (внутреннего трения частиц между собой)

$$U_{\text{ис}} = \frac{12 \mu \left(\frac{d_n}{d_k} - 1 \right)}{h \rho}, \quad (4)$$

Расчеты по формулам (3) и (4) показывают, что для измельчения по механизму истирания скорость движения рабочих колес должна быть не менее 10 м/с, а затрачиваемая мощность не более 7 кВт.

Потери на трение помольной среды о внутренние рабочие поверхности колес определяются выражением

$$N_{\text{тр}} = \frac{f \rho \pi^4 D_{\text{cp}}^3 n^3 l h}{54000}. \quad (5)$$

Потери составляют величину соизмеримую с величиной, расходуемой на измельчение по механизму истирания.

Удар и истирание происходит между рабочими колесами 2, конструкция которых представлена на рис. 2.

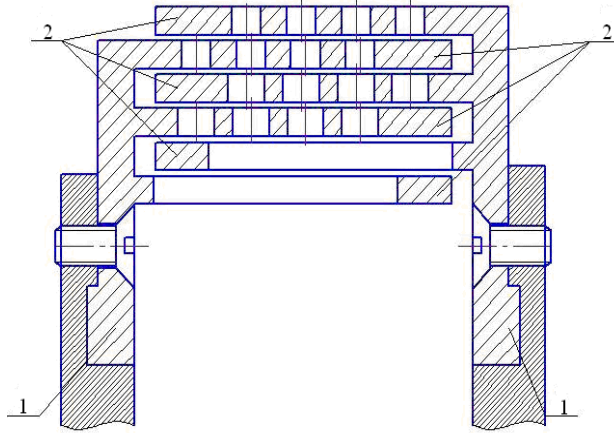


Рис. 2. Рабочие колеса дезинтегратора:
1 – рабочие диски; 2 – рабочие кольца.



Рис.3. Рабочее кольцо .

При столкновении биомассы с отверстиями происходит измельчение за счет удара, а в зазоре между вращающимися навстречу друг другу колесами, происходит измельчение истиранием. Внешний вид рабочего кольца представлен на рис.3.

При применении для измельчения различных видов биомассы такого принципа помола средний размер тонины составляет 70 мкм при производительности 3,6 т/ч. При этом дезинтегратор потребляет мощность 18 кВт.

Вывод. Новый технологический процесс исключает из цепи измельчения молотковую дробилку, вместо которой применяется дезинтегратор. Дезинтегратор может обеспечивать измельчение до уровня 5...10 мкм. Кроме этого, дезинтегратор может выполнять измельчение биомассы с уровнем влажности до 40 %, что исключает из технологического процесса сушку.

Тонкий помол биомассы будет способствовать активному сдвигу слоев прессуемого материала внутри шнекового пресса, их саморазогрев до пластичного состояния, а, следовательно, и снижению энергозатрат до 12% на прессование по причине снижения динамической вязкости увлажненной и разогретой биомассы. Конечный продукт – пеллета или брикет, имеет физико-механические характеристики на уровне древесного угля.

Список используемых источников.

1. Біопалива: Технології, машини, обладнання / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та інші – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.

2. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк та інші – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.

3. Бунецький В.О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пеллет або брикетів / В.О. Бунецький // Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області, випуск 10, 2011. – с. 328-340.

4. Пат. № 2353431 Российская федерация, МПК В02С13/22. Де-зинтегратор / заявитель и патентообладатель ГОУВПО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявлено 01.10.2007; опубліковано 27.04.2009.

5. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / Під ред. В.І. Кравчука, В.О. Дубровіна // Укр.НДПВТ ім. Л. Погорілого, Дослідницьке, 2010, - 184 с.

6. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Кн. 2 // Под ред. В.Г. Айништейна. – М.: Химия, 2000. – 162 с.

ОЦІНКА ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА З БІОМАСИ

Вороновський І.Б.

Анотація - Викладені шляхи зниження енерговитрат при виробництві шляхом застосування тонкого помолу. Оцінена витрата електроенергії на подрібнення біомаси ударом і стиранням.

ESTIMATION OF EXPENSES OF ELECTRIC POWER AT PRODUCTION OF HARD FUEL FROM BIOMASS

I. Voronovsky

Summary

The ways of decline of energy expenses are expounded at a production by application of sub sieve. The expenses of electric power are appraised on grinding down of biomass a blow and abrasion.

УДК 681.518.2

ВИЗНАЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО ВИРАЗУ ІМОВІРНОСТІ НАДХОДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Голик О. П., к.т.н.,

Жесан Р. В. к.т.н.,

Зубенко В. О., к.т.н.

Кіровоградський національний технічний університет

Телефон: 0665201940

Анотація – в статті наведено аналітичну функцію імовірнісних характеристик інтенсивності сонячного випромінювання за сезонами року (в умовах Кіровоградського регіону), що дає можливість використовувати її при проектуванні систем енергозабезпечення з використанням сонячних установок

Ключові слова: сонячна установка, енергопотенціал, інтенсивність сонячного випромінювання, функція імовірності

Постановка проблеми. Наразі Україна перебуває в умовах енергетичної кризи. Нестача власних традиційних енергоресурсів призводить до необхідності пошуку альтернативних джерел енергії.

Згідно [1] до альтернативних джерел належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Найпоширенішим та доступним відновлюваним джерелом енергії є сонячна енергія. Перевагами її використання є: безкоштовність, екологічна чистота, територіальна розповсюдженість та тривалість існування на перспективу. Головним недоліком є стохастичний характер надходження. Проте сонячні системи стають все більш популярними, оскільки їх використання дозволяє економити витрати на електроенергію.

Для раціонального використання енергії та надійного енергозабезпечення необхідно знати енергетичний потенціал місцевості, де планується впроваджувати сонячні установки, а саме: середньодобову

інтенсивність сонячного випромінювання (ICB) та закон розподілу сонячної енергії.

Аналіз останніх досліджень. Нажаль в довідникових джерелах не наводиться інформація щодо закону розподілу сонячної енергії та середньодобової ICB, можна знайти лише інформацію про середньомісячні значення.

В [2-4] наведено закон розподілу ICB на основі аналізу даних метеоспостережень в Кіровоградському регіоні. Там зазначено, що в ході проведеного аналізу даних за півроку метеоспостережень в умовах Кіровоградського регіону було визначено коефіцієнти аналітичних виразів функцій, які відповідають експериментальним даним. Найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіє розподіл Гауса.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є визначення аналітичного виразу імовірності надходження ICB. Наявність аналітичного виразу дозволяє скоротити час для проведення вимірювань та може бути корисний при проектуванні систем енергозабезпечення та систем підтримки прийняття рішень при керуванні процесом енергопостачання на основі сонячної енергії.

Основні матеріали дослідження. Для експериментальних досліджень було взято Кіровоградський регіон. Вимірювання ICB проводилось за допомогою цифрової погодної метеостанції «Vantage Pro2™» (виробник Davis Instruments Corp., Каліфорнія, США), яка має в своєму складі датчик сонячної радіації «Davis SR Sensor». Для обробки було взято дані за 2009-2014 р.р. На рис. 1 наведено надходження ICB за 2014 рік, а на рис. 2 - середньодобову ICB, отримані з метеостанції.

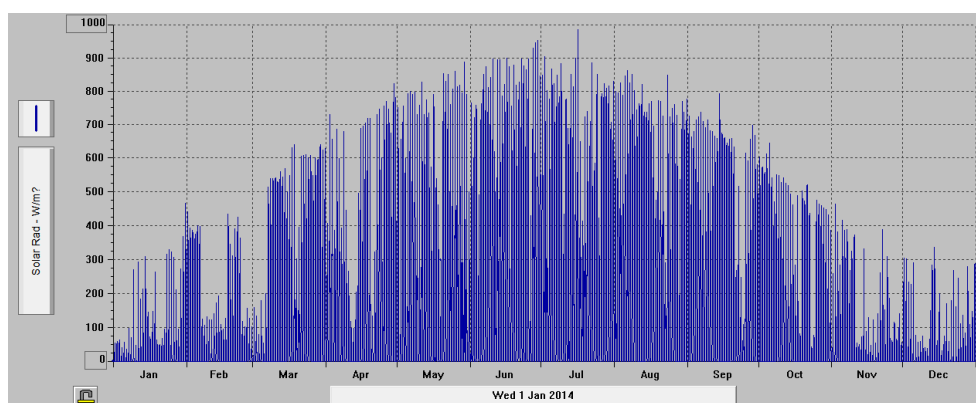


Рис. 1. Інтенсивність сонячного випромінювання в Кіровоградському регіоні.

В подальшому було проведено обробку статистичних даних з ICB з метою отримання середньодобової ICB за сезонами року в Кіровоградському регіоні представлена на рис. 3, а на рис. 4 наведена річна ICB.

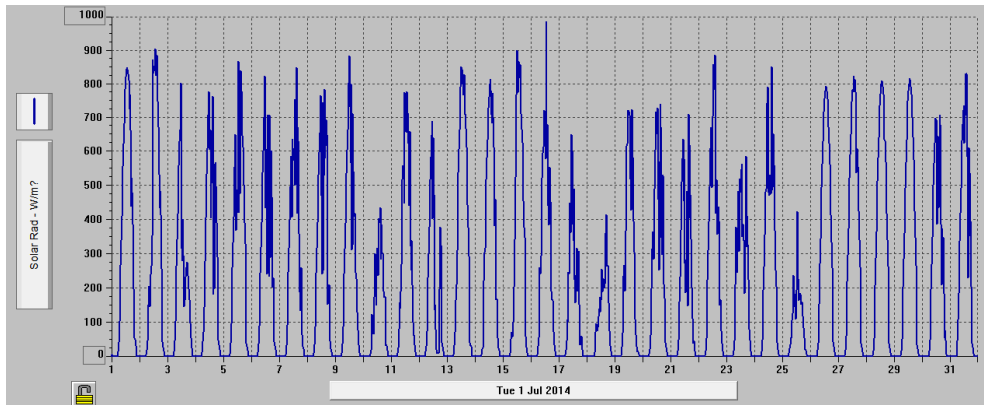


Рис. 2. Середньодобова ІСВ у липні 2014 року в Кіровоградському регіоні.

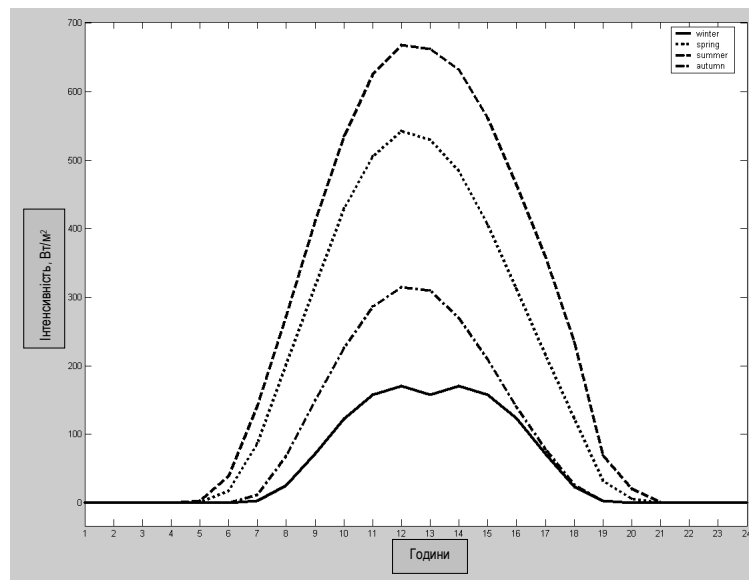


Рис. 3. Середньодобова ІСВ за сезонами року.

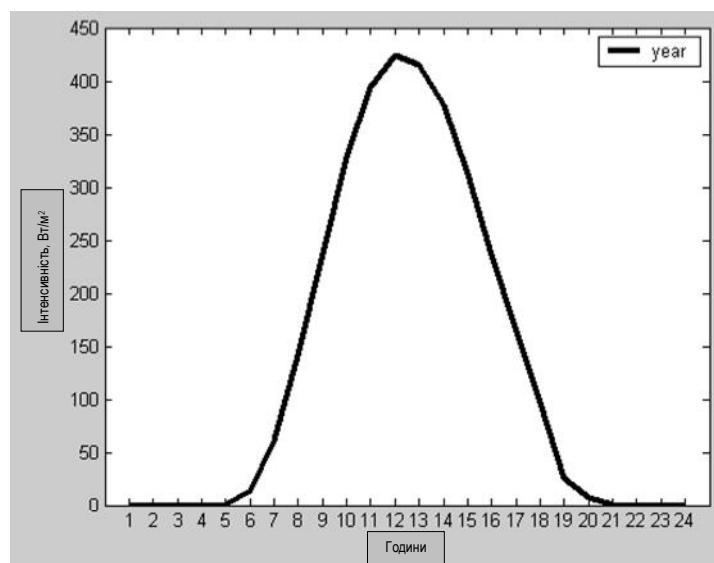


Рис. 4. Середньодобова ІСВ протягом року.

Для отримання аналітичного виразу імовірності надходження ІСВ було використано програмний пакет Matlab, а саме Toolboxes Curve Fitting. Алгоритм дій наступний.

1. Завантажуємо дані з ІСВ.
2. В модулі Curve Fitting будуємо залежність середньодобової ІСВ за сезонами року.
3. Виконуємо пошук аналітичного виразу, що відповідає експериментальним даним.
4. Виконуємо перевірку на адекватність експериментальним даним.

В нашому випадку було визначено, що узгодження результатів спостережень з розрахунковими величинами (для умов Кіровоградського регіону) дає розподіл Гауса:

$$f(x) = a_1 \cdot \exp(-((x - b_1)/c_1)^2) + a_2 \cdot \exp(-((x - b_2)/c_2)^2), \quad (1)$$

де x - інтенсивність сонячного випромінювання;

$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ - параметри розподілу.

На рис. 5 наведено графік аналітичної функції для умов Кіровоградського регіону.

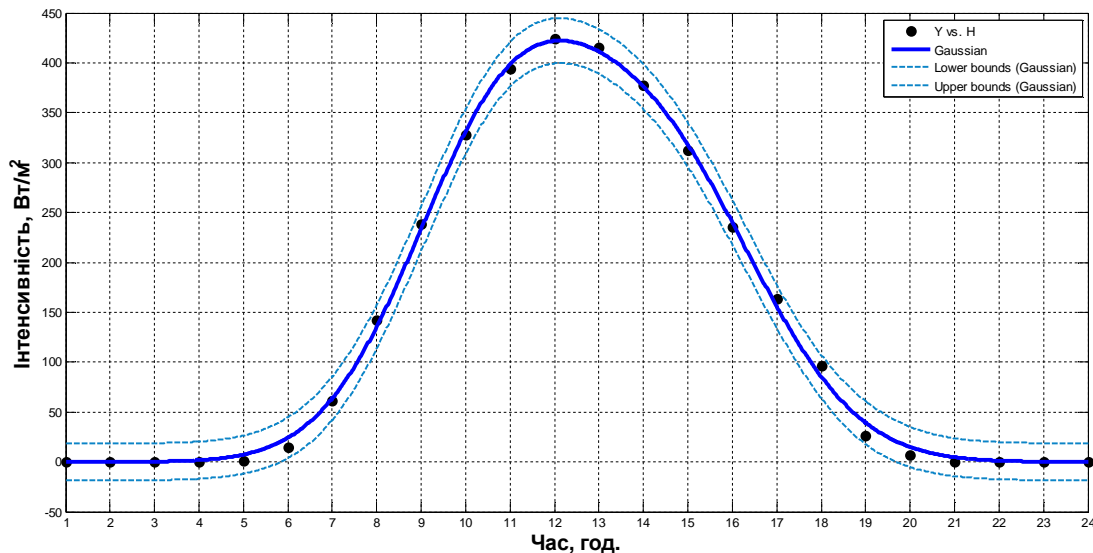


Рис. 5. Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання, отриманий аналітично (розподіл Гауса).

Параметри розподілу для кожного сезону року наведені в табл. 1. При дослідженні було виявлено, що при кількості параметрів розподілу більше 5 ($a_5, b_5, c_5...$) збіжність результатів спостережень з розрахунковими даними стає набагато меншою.

Таблиця 1 – Параметри розподілу імовірнісної функції

зима	весна	літо	осінь	рік
$a_1 = 149,9$	$a_1 = 397,1$	$a_1 = 605,1$	$a_1 = 155$	$a_1 = 302$
$b_1 = 0,34$	$b_1 = -0,262$	$b_1 = -0,178$	$b_1 = -0,3$	$b_1 = -0,249$
$c_1 = 0,395$	$c_1 = 0,422$	$c_1 = 0,493$	$c_1 = 0,327$	$c_1 = 0,42$
$a_2 = 153,1$	$a_2 = 379,5$	$a_2 = 396,4$	$a_2 = 269,7$	$a_2 = 289,4$
$b_2 = -0,189$	$b_2 = 0,274$	$b_2 = 0,429$	$b_2 = 0,133$	$b_2 = 0,266$
$c_2 = 0,35$	$c_2 = 0,454$	$c_2 = 0,409$	$c_2 = 0,438$	$c_2 = 0,462$

Висновок. Наявність аналітичного виразу імовірності надходження ІСВ, одержаних на основі регулярних метеоспостережень в конкретній місцевості суттєво спрощує методику визначення енергопотенціалу та обчислення техніко-економічних показників сонячних установок і дозволяє провести моделювання її роботи.

Список використаних джерел.

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20.02.2003 року від 25.09.2008 р., Відомості Верховної Ради України, 2009, № 13).

2. *Голик О.П.* Визначення закону розподілу інтенсивності сонячної радіації на основі аналізу даних метеоспостережень в Кіровоградському регіоні / *О. П. Голик, Р. В. Жесан* // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: зб. наук. статей за матеріали п'ятої міжнар. науково-практичної конф., 02-03 квітня 2009 р., Львів. – Львів: ЛьвЦНТЕІ, 2009. – С. 200-205.

3. *Голик О. П.* Аналіз даних метеорологічних спостережень за інтенсивністю сонячної радіації в Кіровоградському регіоні з метою створення системи автоматичного керування автономним енергопостачанням на основі сонячно-вітрових установок / *О. П. Голик, Р. В. Жесан* // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту – 2009. – Вип. 22. – С. 164-172.

4. *Голик О. П.* Моделювання, з використанням методу Монте-Карло, інтенсивності сонячного випромінювання, як джерело даних для створення системи автоматичного керування автономним енергопостачанням на основі відновлюваних джерел енергії / *О. П. Голик, Р. В. Жесан* // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук. конф., 18-22 травня 2009 р., Євпаторія. Т. 1 – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 43-47.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ
ВЕРОЯТНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Голик Е. П., Жесан Р. В., Зубенко В. А.

Аннотация – в статье приведена аналитическая функция вероятностных характеристик интенсивности солнечного излучения по сезонам года (в условиях Кировоградского региона), что дает возможность использовать ее при проектировании систем энергообеспечения с использованием солнечных установок.

**DEFINITION OF AN ANALYTIC EXPRESSION FOR THE
PROBABILITY TO EXPOSURE INTENSITY OF SOLAR
RADIATION**

O.P. Holyk, R.V. Zhesan, V.O. Zubenko

Summary

The article presents an analytic function of the probability characteristics of solar radiation on the seasons of the year (in terms of Kirovograd region), which makes it possible to use it in the design of energy systems using solar installations.

УДК 631.171:636.084

ОБРОБКА БІОДИЗЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

Журавель Д.П., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-25-85

Анотація - робота присвячена встановленню впливу ультразвуку на якісні властивості біодизелю.

Ключові слова: біодизель, ультразвук, диспергування, кавітація, турбулізація середовища, механічні домішки.

Постановка проблеми. В зв'язку із швидко ростучим дефіцитом рідких палив нафтового походження та створенні жорстких світових норм на токсичність вихлопних газів концепція біодизеля є одним із кращих варіантів рішення вказаних проблем[1]. Одним із основних недоліків, при використанні, біодизеля є малий термін його зберігання.

Аналіз останніх досліджень. В існуючій технічній літературі недостатньо уваги приділено питанню покращення якісних показників біодизеля, а також відсутні практичні рекомендації по застосуванню силових полів на змашуючі властивості біопалив [2,3]. Особливо це стосується сумішевих палив, тобто метилових ефірів рослинних олій (МЕРО) і нафтових дизельних палив (ДП)[1].

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження впливу ультразвуку на якісні властивості біодизелю.

Основна частина. Для збільшення терміну зберігання біодизелю та покращення якісних показників, тобто забезпечення однорідності середовища, доцільним вважається обробка його в полі ультразвукових коливань.

Суть цього явища полягає в наступному. Ефект подрібнення частинок, які знаходяться в паливі, оснований на явищі, який носить назву - ультразвукова кавітація. Це пов'язано з тим, що паливо, як рідина, легко переносить великі стиснення, але є чутливою до розтягуючих зусиль. При проходженні ультразвукової фази хвилі, яка супроводжує розрідження, паливо «рветься», в результаті цього утворюється велика кількість розривів у вигляді пухирців. Вони утворюються в місцях, де міцність палива менша, тобто в місцях знаходження пу-

хирців газу, частинок сторонніх домішок і так далше. Кавітаційні бульбашки, що утворилися здійснюють пульсуючі коливання, створюючи навколо себе мікропотоки, які призводять до турбулізації середовища. Після короткочасного існування частина бульбашок "захлопується". При цьому розвиваються місцеві миттєві тиски, що досягають значень сотень атмосфер, в результаті чого і відбувається подібнення складових компонентів змащуючого середовища [2].

Таким чином, в паливі, вміщеній в ультразвукове поле з певними параметрами по частоті і напруженості, відбувається диспергування наночастинок і механічних домішок. В результаті підвищується дисперсний склад палива і збільшується його електропровідність [2,3].

Крім того, при дробленні частинки збільшується її питома поверхня і тому вона більш здатна адсорбувати продукти окислення, наявні в паливі. У результаті цього в ній з'являються частинки, в серцевині яких знаходяться тверді абразиви, покриті колоїдним захистом з полярно-активних продуктів окислення. Тому можна припустити, що такі механічні домішки утворюють в паливі своєрідну антифрикційні присадку [2,3].

Виходячи з вищевикладеного, можна припускати і стверджувати, що при впливі на паливо ультразвукових коливань досягається вискодисперсне середовище в якому знаходяться частинки, які інтенсифікують теплопередачу між поверхнями тертя, підвищують електропровідність змащуючих плівок, в результаті чого знижується електростатична складова зносу.

Для більшості палив амплітуда змінного тиску, при якому виникає кавітація, змінюється в межах 0,02 ... 1,4 МПа. Ефективність ультразвукової обробки визначається як властивостями середовища, в якому поширюються ультразвукові коливання, так і характеристиками ультразвукового поля. Найважливішою характеристикою цього поля є частота коливань. При цьому збільшення частоти коливань впливає на формування кавітаційних бульбашок за рахунок зміни часу їх росту, а також збільшується кавітаційна міцність палива. Аналіз наявних літературних джерел показав [2,3], що найменша кавітаційна міцність рідини знаходиться в діапазоні частот 1×10^3 ... 1×10^6 Гц. Динаміка ультразвукової обробки палив, тривалість озвучування впливають на якість середовища, а інші чинники - тиск поля, частота коливань його, температура - впливають на виникнення кавітації в середовищі. Це створює умови для утворення дрібнодисперсного середовища [3].

Ультразвукова обробка біопалив проводилась на розробленій нами лабораторній установці (рис.1) при частоті 22×10^3 Гц і отримана залежність впливу часу обробки біодизеля ультразвуком на кінематичну в'язкість (рис.2). Фізична сутність даного процесу, при впливі на біопаливо ультразвуковими коливаннями, відбувається диспергування

(дроблення) частинок, які знаходяться в ньому. При цьому збільшується кількість полярно - активних частинок а також збільшується площа поверхня дотику частинок з поверхнею металу пар тертя. В результаті такого явища полярно-активні сполуки часто вступають в реакцію з металом і утворюють при цьому міцний захисний граничний шар [2,3]. Основоположним параметром, що впливає на даний процес, є час впливу ультразвуку на середовище.

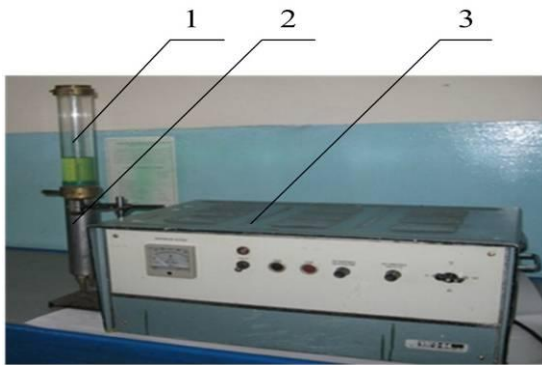


Рис.1. Лабораторна установка для обробки біодизеля ультразвуком:

- 1 – ємність з біодизелем;
- 2 – магнітострикційний випромінювач;
- 3 – ультразвуковий генератор.

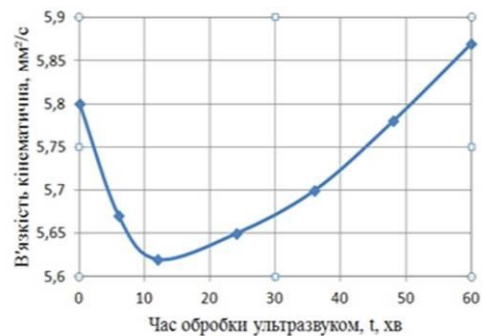


Рис.2. Залежність впливу часу обробки біодизеля ультразвуком на кінематичну в'язкість.

Для підтвердження ефективності даного процесу нами були проведені триботехнічні дослідження на спеціально розробленій машині тертя по схемі «ролик – колодка» (рис.3) і отримані залежності коефіцієнту тертя від співвідношення МЕРО і ДП (рис.4).

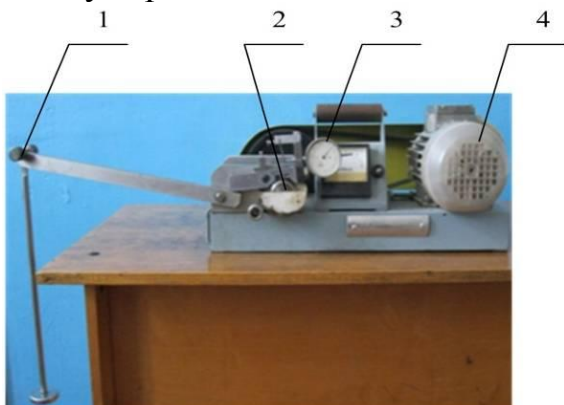


Рис.3. Машина тертя по схемі «ролик-колодка»: 1 – механізм навантаження; 2 – пара тертя; 3 – індикатор контролю сили тертя; 4 – електропривод.

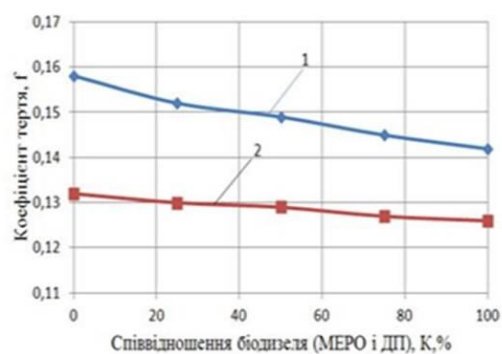


Рис.4. Залежність коефіцієнту тертя від співвідношення МЕРО і ДП: 1 – без обробки ультразвуком; 2 – з обробкою ультразвуком.

Висновки. 1. В результаті проведених досліджень, встановлено, що оптимальний час обробки біодизеля ультразвуком повинен стано-

вити не більше 12 хв, при якому в'язкість рідини зменшилась з 5,8 мм²/с до 5,6 мм²/с, а потім почала збільшуватись. При збільшенні часу впливу ультразвуку діаметр частинок знову збільшується, що пояснюється тим, що в рідині поряд з процесами диспергування часток відбувається і їх коагуляція (об'єднання). Отже, тільки при певному часі обробки рідкого змащуючого середовища можна досягти найбільшої питомої поверхні біопалива .

2. В результаті обробки біодизеля ультразвуком забезпечується зменшення коефіцієнту тертя в трибоспряженні з 0,16 до 0,13, тобто на 19%, при цьому температура в зоні тертя також зменшилась, а міцність захисної змащуючої плівки збільшилась.

Список використаних джерел.

1. *Дидур В.А.* Особенности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биодизельного топлива/ *В.А. Дидур, В.Т. Надыкто, Д.П. Журавель.*- Тракторы и сельхозмашины. – Москва, №3: 2009. – С.3-6.
2. *Кроуфорд А.Э.* Ультразвуковая техника/ *А.Э. Кроуфорд.* – М.: 1958– 351 с.
3. *Назарова Н.В.* Улучшение противоизносных и противозадирных свойств путём озвучивания ультразвуком/ *Н.В. Назарова.* - В кн. Совершенствование технологических процессов очистки и использования масел в сельском хозяйстве.– Ульяновск, 1987.– С.35-38.

ОБРАБОТКА БИОДИЗЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

Журавель Д.П.

Аннотация - работа посвящена исследованию влияния ультразвука на качественные свойства биодизеля.

PROCESSING OF BIODIESEL BY ULTRASOUND

D. Zhuravel

Summary

The work is devoted to research of influence of ultrasound on the qualitative properties of biodiesel.

УДК 621.316.11

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Заболотный А.П., к.т.н.,

Дьяченко В.В., к.т.н.,

Даус Ю.В., аспирант*

Запорожский национальный технический университет, Украина

Телефон: (061)7698281

Аннотация - предложен подход к формализации процесса формирования структуры сельской электрической сети (СЭС) при ее проектировании и модернизации в условиях присутствия в ней возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ), который позволяет оптимизировать структуру сети с точки зрения снижения годовых приведенных затрат, а также исключить влияние фактора субъективизма проектировщика на оптимальность принятых решений.

Ключевые слова формализация, сельские электрические сети, возобновляемые источники энергии, структура.

Постановка проблемы. В современных условиях роста тарифов и цен на энергоносители агропромышленные комплексы нуждаются в новых источниках электрической энергии. Это связано с тем, что сельские электрические сети, как известно, отличаются большой протяженностью, разветвленностью при сравнительно малой передаваемой мощности, а также использованием низких классов напряжения. В связи с этим наиболее широкое внедрение получают ветроэлектростанции, гелиоустановки, малые гидроэлектростанции и т.д.

Однако агропромышленные комплексы при использовании электроустановок на основе альтернативных источников энергии сталкиваются с рядом проблем. Так, если вопросы оценки потенциала солнечной, ветровой энергии и энергии рек достаточно подробно решены, то при подключении электростанции к существующей сети возникает задача поиска места ее подключения[1]. Чаще всего такие источники генерации подключаются к СЭС несогласованно, что приводит к сложности управления и прогнозирования режимов работы сетей,

©Заболотный А.П., Дьяченко В.В., Даус Ю.В.,

* Науковий керівник – Заболотний А.П., к.т.н., доцент

росту составляющей потерь активной электрической энергии, так как структура их перестает быть оптимальной с точки зрения минимума годовых приведенных затрат. Таким образом, оптимизация структуры электрической сети, содержащей ВИЭ, является актуальной.

Анализ последних исследований. Определяющим фактором формирования схемы электрической сети является местоположение источника питания и трассы прокладки ее участков, которые получены как результат оптимизации топологической задачи с учетом метрических ограничений, обусловленных расположением природных и технологических объектов [2]. Что касается установки возобновляемых источников энергии, то их мощность обусловлена потенциалом первичной энергии, социально-экологическими ограничениями, а также техническими факторами (установленной мощностью, коэффициентом полезного действия, напряжением генерации и др.). Последние тесно связаны с конструктивными и технико-экономическими показателями сети.

Существующие подходы к оценке эффекта от внедрения ВИЭ основаны на вычислении следующих технико-экономических показателей: начальные капитальные вложения на строительство энергетического объекта; стоимость земли, отведенной под объект, стоимость мероприятий на охрану окружающей среды, затраты на демонтаж объектов при выводе основных фондов или реконструкции; текущие затраты на обслуживание и ремонт, а также амортизационные отчисления на реновацию основных фондов объекта, которые представляют собой затратную часть проекта.

Очевидная взаимосвязь между технико-экономическими показателями электрической сети и возобновляемыми источниками электроэнергии требует разработки новой модели электрической сети, которая будет положена в методологическую основу ее оптимизации с учетом применения всего ряда альтернативных источников электроэнергии.

Цель статьи. Предлагается применить метод эквипотенциальных поверхностей с целью формирования оптимальной структуры электрической сети сельскохозяйственного района, содержащей ВИЭ с точки зрения минимума номинальной составляющей потерь электрической энергии и годовых приведенных затрат.

Основная часть. Построение потенциальной поверхности проводится по алгоритму, предложенному в [3, 4], а процедуру определения значения координат установки источника (трансформаторная подстанция) СЭС, содержащей ВИЭ, можно представить в виде следующего алгоритма:

- на первом этапе строиться потенциальная поверхность для электроприемников района;

- на втором этапе строится поверхность для ВИЭ;
- затем производится наложение этих поверхностей;
- на суммарной поверхности выделяется максимум функции, в координатах которого и будет расположен источник питания СЭС.

Важным моментом в определении этих координат является учет зон запрета прокладки линий и установки источников питания.

Предложенный алгоритм был апробирован на примере участка СЭС площадью 12 км^2 с расчетной нагрузкой по полной мощности $4,4 \text{ МВА}$. План электрических сетей напряжением 35 кВ (питающий участок) и 10 кВ (распределительный участок) представлен на рис. 1.

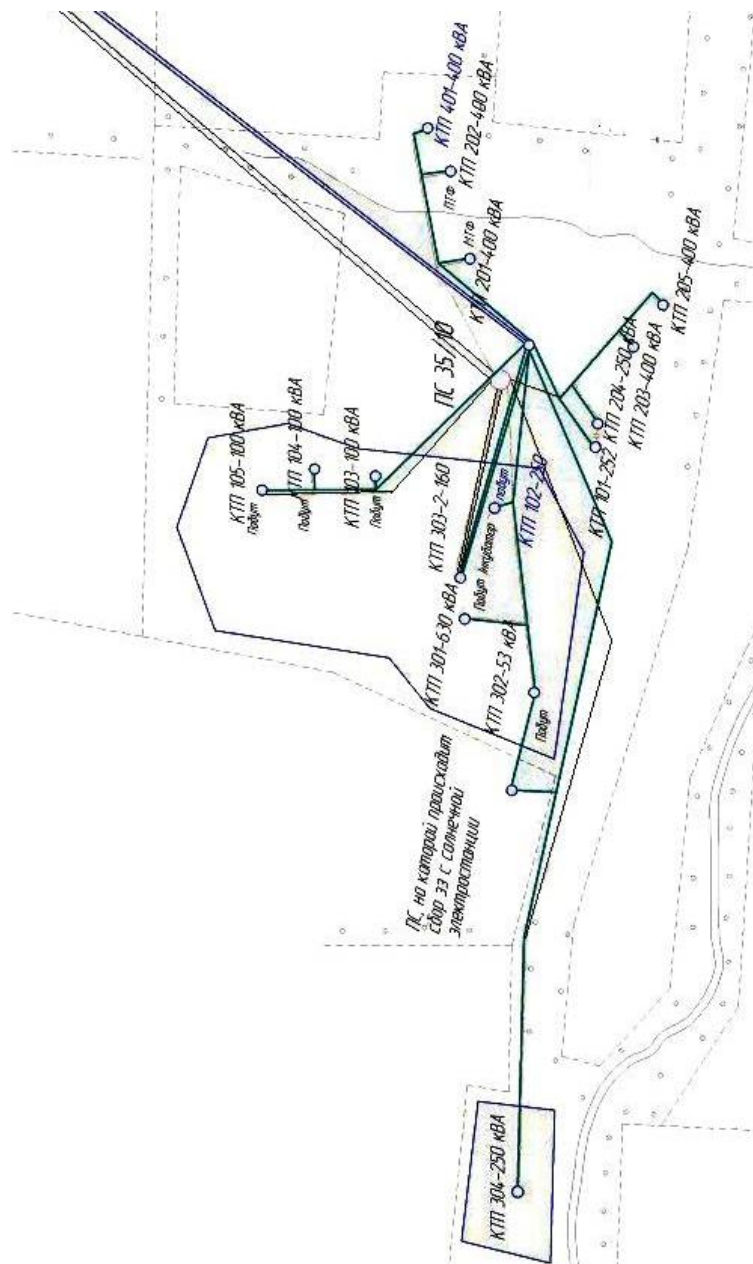


Рис. 1. Система электроснабжения сельскохозяйственного района:

Источником питания является двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами 2 х ТМН – 4000/35. Электрические сети напряжением 35 и 10 кВ конструктивно реализованы воздушными линиями, проложенными на железобетонных опорах, типа АС.

В процессе исследования были рассмотрены следующие варианты электрической сети:

первый (I) – существующая система электроснабжения сельскохозяйственного района с указанными выше параметрами;

второй (II) – первый вариант с подключением солнечной электростанции из 1680 фотопанелей фирмы «Kvazar» Украина мощностью 250 Вт;

третий (III) – электрическая сеть, полученная на основе оптимизации местоположения источника питания с учетом подключения ВИЭ.

На рис. 2-4 приведены результаты численного эксперимента для каждого из рассматриваемых вариантов структуры СЭС.

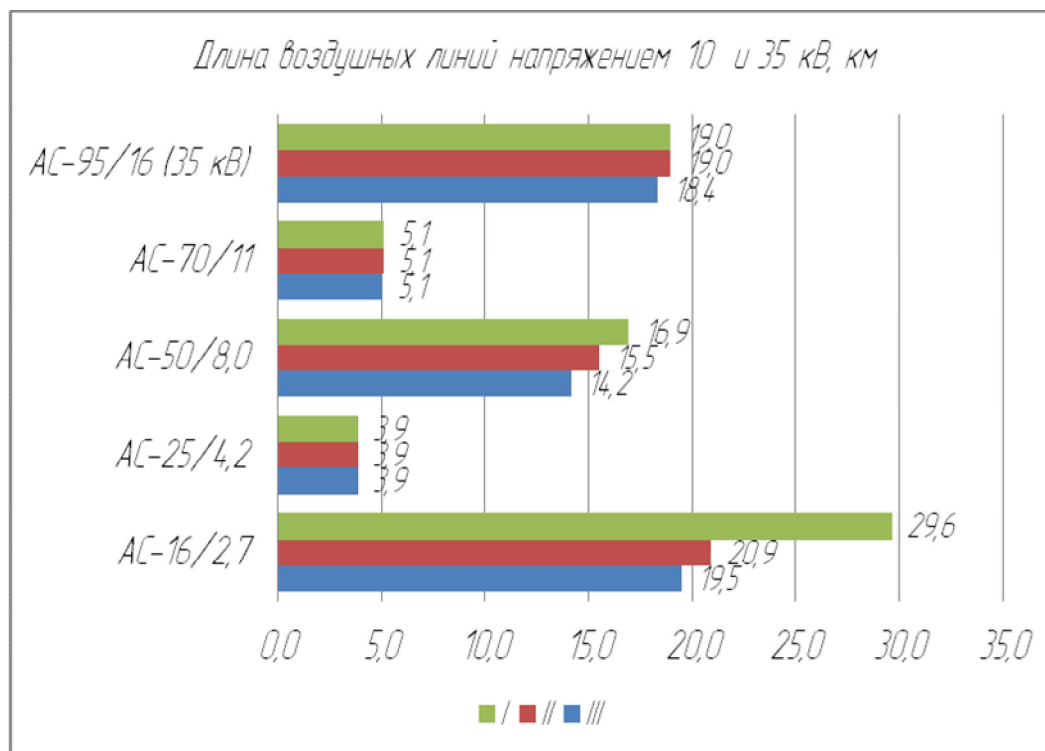


Рис.2 Суммарная длина ВЛ 10 кВ и ВЛ 35 кВ.

При подключении к существующей сети солнечной электростанции требуется сооружение дополнительных ВЛ напряжением 10кВ, которые присоединяют их к сети, однако, оптимизация структуры сети (вариант III) посредством предложенного алгоритма позволяет сократить как суммарную длину ВЛ 10 кВ, так и ВЛ 35 кВ за счет изменения координат установки источника питания.

В результате изменения длины воздушных линий потери электрической энергии в них на напряжении 10 кВ сократились на 15,8%, а на напряжении 35 кВ – почти в два раза (рис.3).

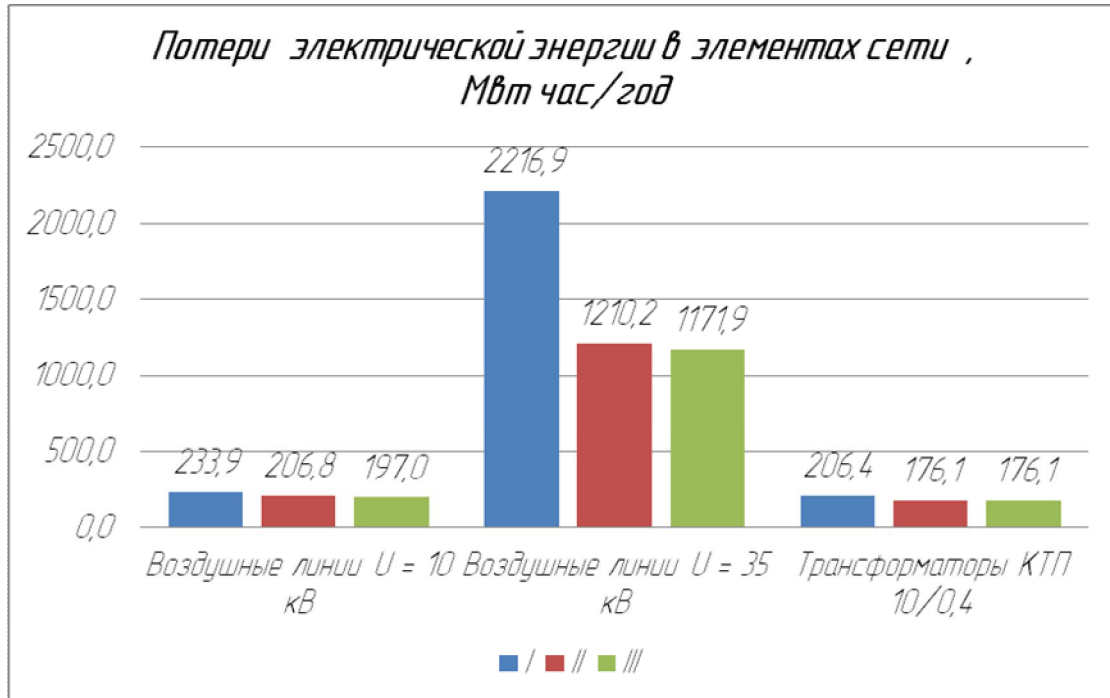


Рис.3 Потери электрической энергии в элементах электрической сети.

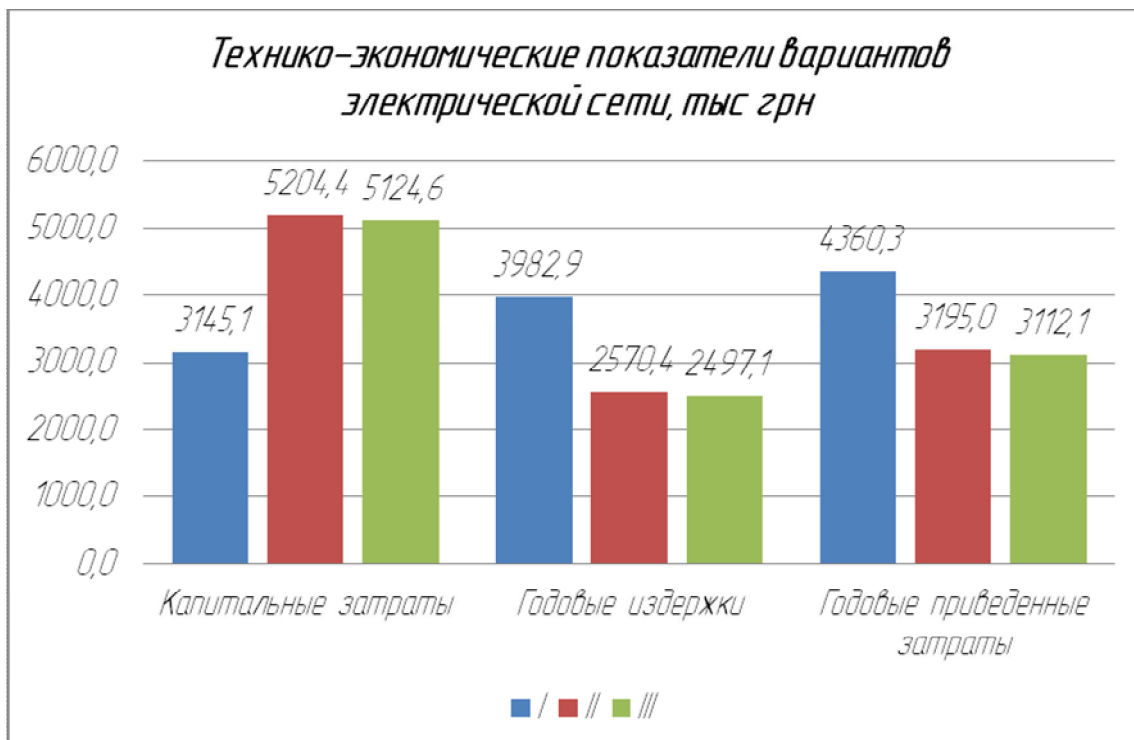


Рис.4 Технико-экономических показателей вариантов структуры электрической сети сельскохозяйственного района.

Снижение суммарных потерь для III варианта составило 41,9% по сравнению с базовым вариантом.

Анализ технико-экономических показателей вариантов структуры электрической сети (рис.4) показал, что минимальные годовые приведенные затраты достигаются при оптимизации ее структуры. Они на 30% меньше, чем для первого варианта, несмотря на то, что капитальные вложения больше в 1,5 раза, что связано с существенным снижением потерь электрической энергии.

Кроме того, суммарное потребление электрической энергии с сети снизилось на 7 % за счет использования потенциала солнечной энергии района.

Вывод. Предложенный формализованный метод формирования структуры сельских электрических сетей, содержащих возобновляемые источники энергии, позволяет учесть изменение режима работы таких сетей и оптимизировать их структуру с точки зрения снижения номинальной составляющей потерь электроэнергии и годовых приведенных затрат.

Список использованных источников

1. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения / А.В. Праховник – К.: Освіта України, 2007. – 464 с.

2. Качан Ю.Г. О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко. // Гірнична електромеханіка та автоматика – 2007. - № 78. – с.3-5.

3. Заболотний А.П. Побудова структури мереж електропостачання споживачів АПК, що містять джерела «малої генерації» / А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, Ю.В. Даус // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2011. – Вип. 116. – с.20-21.

4. Побудова структури мереж електропостачання підприємств АПК, які містять вітроенергетичні установки / А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, Ю.В. Даус, Д.О. Данильченко // Вісник ТДАТУ «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2012. – Вип. 7. – с.37-41.

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ПОНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Заболотний А.П., Дьяченко В.В., Даус Ю.В.

Анотація - запропоновано підхід до формалізації процесу формування структури сільській електричній мережі при її проектуванні та модернізації в умовах присутності в ній поновлюваних джерел електричної енергії, який дозволяє врахувати оптимізувати структуру мережі з точки зору зниження річних приведених витрат, а також виключити вплив фактора суб'єктивізму проєктувальника на оптимальність прийнятих рішень.

FORMATION OF RURAL ELECTRICAL NETWORKS WITH RENEWABLE SOURCES OF ENERGY

A. Zabolotnyi, V. Dyachenko, Y. Daus

Summary

There is presented an approach to formalize the structure formation process of rural power network on the stage of its designing and modernization in terms of renewable electrical energy presence in it, which is based on the equipotential contours method, which allows to consider the rural electric networks mode changing when new electrical energy sources are attached to them, optimize their structure in terms of the annual cost reduction, as well as to eliminate the subjectivity designer influence factor for decisions optimality.

УДК 681.513.2

ОРГАНІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ КОНТРОЛЕРА ТИПУ РМС ПРИ КЕРУВАННІ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ

Голодний І.М., к.т.н.,

Лавріненко Ю.М., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044) 527-85-22

Торопов А.В., к.т.н.

ТОВ "ЦІТ Альтера"

Тел.: (044) 496-18-88

Анотація – описано регульований електропривод на базі крокового двигуна. Розглянуто роботу контролера, описані основні параметри та їх характеристики. Розглянуті особливості програмування контролера та алгоритми виконання команд. Наведені діаграми зміни швидкості, абсолютного і відносного переміщення, описана особливість роботи привода з циклами повторень.

Ключові слова: кроковий двигун, контролер, переміщення, швидкість, параметри, алгоритм, програма роботи, нульова точка

Постановка проблеми. Кроковий двигун – це електромеханічний пристрій, який перетворює електричні імпульси в дискретні механічні переміщення. Ці двигуни вже давно і успішно застосовуються в найрізноманітніших пристроях. Їх можна зустріти в дисководах, принтерах, плоттерах, сканерах, факсах, дерево- та металообробних верстатах і іншому промисловому та спеціальному обладнанні. В даний час випускається багато різних типів крокових двигунів. Однак вірно вибрати тип двигуна – це ще пів-справи. Не менш важливо вірно вибрати систему керування, що дозволить реалізувати необхідний алгоритм управління технологічним процесом.

Аналіз останніх досліджень. Крокові двигуни використовуються в приводах машин і механізмів в стартозупному режимі, або в приводах непереривного руху, де керуюча дія задається послідовністю електричних імпульсів [1]. На противагу сервоприводам крокові приводи дозволяють отримувати точне переміщення без використання зворотного зв'язку від датчиків кутового положення.

До складу електропривода з кроковим електродвигуном входить

власне двигун (рис.1), силовий блок керування (драйвер) та контролер. При невеликому запланованому ході платформи може використовуватися двигун з подовженим нарізаним валом, по якому рухається платформа з інструментом або деталлю. Це дозволяє здешевити систему крокового двигуна за рахунок виключення кульково-гвинтової пари або іншого пристрою перетворення обертального руху в поступальний.

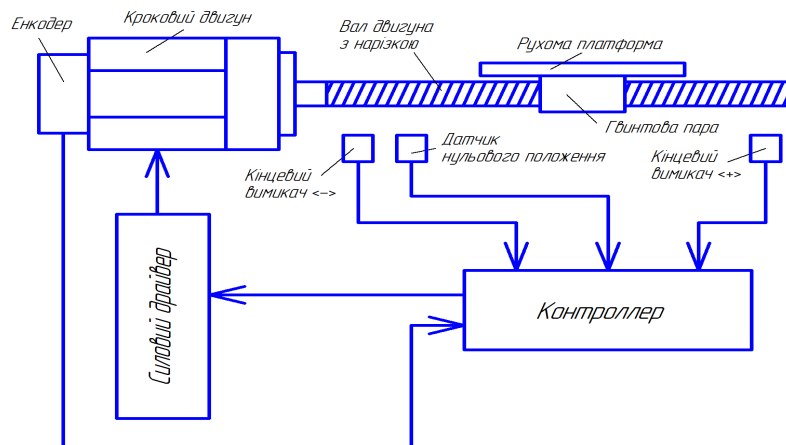


Рис. 1. Електрична схема керування кроковим приводом.

Найчастіше в крокових приводах використовують гібридні двигуни, які поєднують в собі кращі властивості двигунів зі змінним магнітним опором і двигунів з постійними магнітами. Вони забезпечують меншу величину кроку, більший момент і відносно велику швидкість обертання без втрати кроку.

Для керування приводом потрібен спеціальний драйвер крокового двигуна, зокрема для гібридного двигуна серії 23HS може бути використаний драйвер 2L110M. Драйвер являє собою силовий напівпровідниковий перетворювач з вбудованим найпростішим інтерфейсом, оснований на комбінації "крок-напрямок". Драйвер крокового двигуна - це ще й підсилювач потужності, який перетворює імпульси від зовнішньої системи керування в переміщення вала. При цьому кожен імпульс викликає переміщення вала на 1 мікрокрок.

Драйвер крокової двигуна виконує три основних завдання:

1. Вмикає і вимикає струм в обмотках, а також змінює його напрямок. При виконанні цього завдання система керування електроприводом працює без збоїв.
2. Підтримує задане значення струму при обертанні вала двигуна, а також при роботі в режимі стопоріння.
3. Забезпечує якомога швидше наростання і спад струму для досягнення необхідних швидкісних характеристик.

Інтелектуальною частиною електроприводу, що формує керуючі імпульси на драйвер відповідно з технологією, можуть бути

різноманітні пристрої від мікроконтролера до складної системи числового програмного керування (ЧПК). При цьому необхідність використання того чи іншого пристрою визначається кількістю координатних осей і точністю синхронізації переміщення між приводами. Так, при кількості осей від трьох до восьми найбільш доцільним є використання системи ЧПК, а при одній чи двох достатньо використання найпростішого мікроконтролера з частотним виходом. Недоліком запропонованих рішень є значна відмінність принципів програмування ЧПК та мікроконтролерів від стандартних систем позиціонування електроприводу на базі серводвигунів та перетворювачів частоти. Це призводить до необхідності вивчення G-кодування при реалізації багатокординатних систем або мов програмування процесорів. Спеціалісту з електроприводу це суттєво ускладнює процес вводу в експлуатацію системи крокового електроприводу. Одним з варіантів вирішення проблеми реалізації системи керування є використання спеціалізованих контролерів, в яких реалізовані команди, характерні для електроприводів переміщення. Одним з таких є контролери серії PMC-1HS/PMC-2HS від компанії Autonics, які розширюють можливості керування двигуном і можуть використовуватися для одно- та двокординатних систем.

Переваги використання таких контролерів в електроприводах з кроковими двигунами:

1. Можливість підключення до комп'ютера для простого програмування та налагодження.

2. Багаторазове перепрограмування. Один і той же контролер при переорієнтації виробництва або розширенні переліку завдань можна перепрограмувати для виконання інших функцій.

Формування мети статті. Метою даної роботи є підвищення ефективності використання системи керування кроковим двигуном.

Основна частина. Високошвидкісний автономний програмований контролер переміщення типу PMC-1HS може виконувати програму з 64 команд, записаних у відповіді регістри (REG 0-63), типу PMC-2HS має можливість налаштувань як по вісі X, так і по вісі Y. Налаштування роботи контролера проводять за допомогою комп'ютера або панелі для програмування PMC-232-2TU. При програмуванні з комп'ютера запускають стартове вікно (головний екран) програми (рис. 2) та вводять параметри у вікна її редагування.

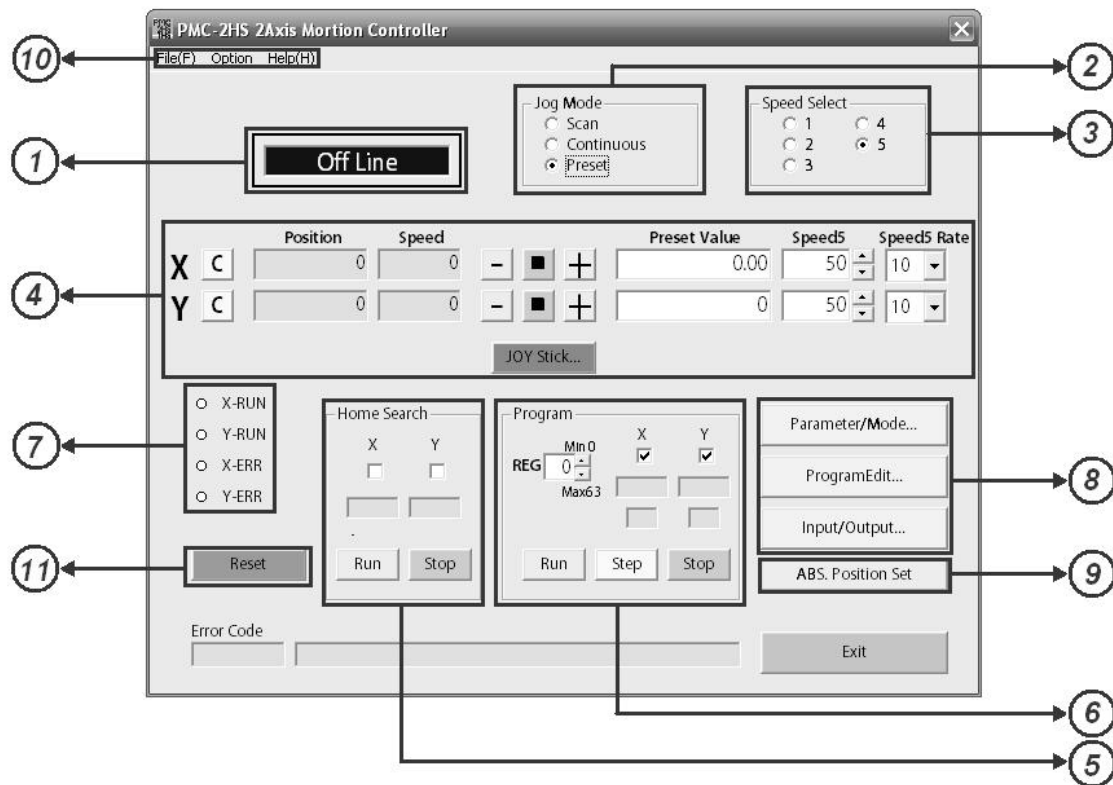


Рис.2. Головний екран програмування контролера:

1 – стан підключення приладу до ПК; 2 – вибір типу ручного режиму керування; 3 – вибір швидкості приводу; 4 – робота в ручному режимі керування; 5 – виконання процедури пошуку нульової точки; 6 – виконання програми; 7 – відображення стану приводу; 8 – відкриття вікон редагування параметрів та програми; 9 – реєстрація поточного положення; 10 – конфігурація управління файлами і зв'язок з ПК; 11 – скидання виконання програми.

Основні параметри контролера типу PMC наведені в табл.1.

Множник швидкості є параметр для пропорційного збільшення значень показників руху, таких як швидкість, прискорення, уповільнення, тобто встановлені значення вказаних параметрів збільшуються на множник швидкості. Використовується при необхідності досягнення значень, що виходять за межі 8000 імп/с. При збільшенні множника швидкості двигун працює на вищій швидкості, але зменшується роздільна здатність завдання. Тому для отримання необхідного діапазону зміни швидкості двигуна з заданою точністю необхідно задавати мінімальне значення множника.

Параметрами "**Темп прискорення (П)**" та "**Темп уповільнення (У)**" визначають час перехідного процесу при переході від однієї фіксованої швидкості до наступної.

Фактичний темп прискорення, імп/с², визначають як добуток:

$$П \times 125 \times \text{Множник швидкості.}$$

Фактичний темп уповільнення, імп/с^2 , визначають як добуток:
 $U \times 125 \times \text{Множник швидкості}$,
де Π , U – налаштоване значення прискорення та уповільнення, задане в параметрах "Темп прискорення" і "Темп уповільнення"; 125 – конструктивний коефіцієнт.

Таблиця 1. Основні параметри контролера РМС та діапазони їх налаштування

Параметри	Діапазон налаштування	Значення за замовчуванням,
Множник швидкості	1 – 500	10
Темп прискорення Π	1 – 8000 імп/с^2	400 імп/с^2
Темп уповільнення U	1 – 8000 імп/с^2	400 імп/с^2
Стартова швидкість StV	1 – 8000 імп/с	50 імп/с
Швидкість $V1$	1 – 8000 імп/с	10 імп/с
Швидкість $V2$	1 – 8000 імп/с	100 імп/с
Швидкість $V3$	1 – 8000 імп/с	1000 імп/с
Швидкість $V4$	1 – 8000 імп/с	8000 імп/с
Пошук нульової точки на низькій швидкості	1 – 8000 імп/с	20 імп/с
Пошук нульової точки на високій швидкості	1 – 8000 імп/с	1000 імп/с
Програмне обмеження у напрямку "+"	-8388608 – +8388607 одиниць	+8388607 одиниць
Програмне обмеження у напрямку "-"	-8388608 – +8388607 одиниць	-8388607 одиниць
Чисельник параметрів імпульсів	1 – 65535 одиниць	1000 одиниць
Знаменник параметрів імпульсів	1 – 65535 одиниць	1000 одиниць

Значення темпу уповільнення при настроюванні алгоритму зазвичай встановлюють за замовчуванням, тобто приймають таким, як і встановлений рівень прискорення, але можна задати і інші його значення.

Щоб налагодити роботу привода з встановленою швидкістю, потрібно встановити чотири швидкісних параметри: початкову (стартову) швидкість привода, робочу швидкість привода, темпи прискорення та уповільнення

Наприклад, якщо необхідно запустити привод за 0,3 с від початку 500 імп/с до швидкості руху 20000 імп/с , швидкісні параметри налаштовують так:

фактичний темп прискорення: $(20000-500)/0,3=65000$ (імп/с^2).

Якщо множник швидкості 10, тоді в параметрі "Темп прискорення" налаштовують:

значення прискорення $\Pi = 65000 / (125 \times 10) = 52 \text{ імп/с}^2$;
 стартова швидкість (запуску) $StV = 500 / 10 = 50 \text{ імп/с}$;
 значення швидкості руху привода $V = 20000 / 10 = 2000 \text{ імп/с}$.

Стартова (початкова) швидкість StV – це швидкість, з якої починається регульований перехід із заданим прискоренням до вищої робочої швидкості або кінцева швидкість, до якої відбувається регульований перехід із заданим уповільненням від вищої робочої швидкості.

Фактична початкова швидкість є добуток стартової швидкості (StV) на множник швидкості.

Якщо встановлена робоча швидкість руху більша, наприклад V3, ніж початкова StV, привод буде розганятися до заданої швидкості або уповільнюватися з заданим прискоренням (рис. 3). У цьому випадку параметри швидкості потрібно налаштувати. Якщо встановлена робоча швидкість руху V1 менша, ніж стартова, привод буде працювати на встановленій швидкості до закінчення заданого переміщення без регулювання.

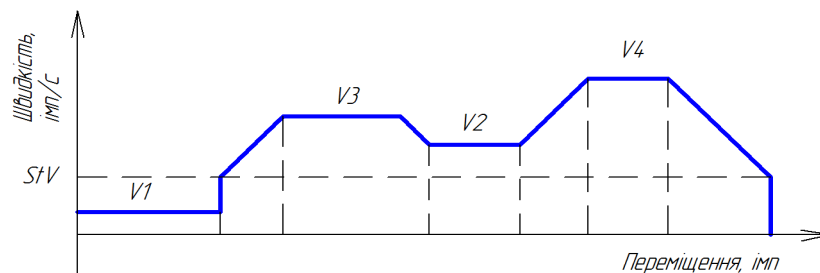


Рис. 3. Діаграма переміщення привода з заданою швидкістю.

Параметри швидкості V1, V2, V3, V4 - це налаштована швидкість руху привода з відповідним значенням. Чотири значення швидкості можна задавати на обох осях. Фактична швидкість привода є добуток швидкості на множник швидкості. Необхідно зазначити, що на головному екрані програмування (рис. 2, поз. 3) є п'ята швидкість. Цю швидкість використовують зазвичай при наладці і тільки в ручному режимі. Її можна змінювати також в процесі роботи привода.

Пошук нульової (початкової, домашньої) точки на низькій та високій швидкостях – налаштування швидкості пошуку заданої початкової точки. Процедура пошуку нульової точки вмикається тоді, коли сама нульова точка задана, тобто зафіксована і контролюється датчиком нульового положення (рис. 1).

Програмне обмеження у напрямку "+" та "-" налаштовує програмне значення межі переміщення робочого органу в прямому та зворотному напрямках. Крім програмного обмеження можна задати апаратним за допомогою кінцевих вимикачів (рис.1). Задане значення

програмного обмеження пов'язане з чисельником/знаменником діапазону імпульсів (табл. 1).

Чисельник та знаменник параметрів імпульсів здійснює масштабування даних про місцезнаходження робочого органу.

Чисельник параметрів імпульсів конвертує дані про місцезнаходження, які вводяться чи відображаються у значенні кількості імпульсів. Вказані дані можуть бути виражені в міліметрах або дюймах.

Наприклад, якщо 1 мм переміщення відповідає п'яти імпульсам, то для завдання переміщення у міліметрах необхідно задати співвідношення "чисельник/знаменник" рівним 5/1. Коли вхідне значення, що задається у основному вікні або у програмі, дорівнює 10 мм, воно конвертується в 50 імпульсів і відображається у вікні поточного положення у вигляді 10,0. Якщо результат обчислення має десятковий дріб, його округлюють до 1 імпульсу найближчого числа.

Після установки параметри необхідно записати в пам'ять контролера та скласти програму роботи привода. В програмі є 12 команд (табл. 2).

Таблиця 2. Перелік команд для програмування контролера

Тип команди	Скорочене позначення (код)	Опис
Команди переміщення	ABS	Абсолютне переміщення
	INC	Відносне переміщення
	HOM	Процедура пошуку нульової точки
I/O Команди вмикання виходів	IJP	Умова вмикання переходу при спрацюванні дискретного входу
	OUT	Вмикання/вимикання виходу
	OTP	Формування імпульсу на виході
Команди управління програмою	JMP	Перехід до вказаного регістру
	REP	Початок повторення
	RPE	Кінець повторення
	END	Кінець програми
Інші команди	TIM	Таймер [мілісекунди]
	NOP	Немає операції

Найбільш вживаними є команди переміщення та команди управління програмою.

За командами абсолютного та відносного переміщення робочий орган переміщується у задане положення відносно нульової точки (команда ABS) чи поточної точки (команда INC) його знаходження. При цьому задається величина переміщення, швидкість та витримка часу після виконання команди. Суть абсолютного і відносного переміщення пояснює діаграма на рис. 4. Величину переміщення можна задати в імпульсах, міліметрах чи дюймах в залежності від співвідношення в параметрах значення чисельника/знаменника.

Перед командою ABS абсолютного переміщення необхідно виконати процедуру пошуку нульової точки.

Для переведення приводу в режим очікування до зазначеного часу використовують команду TIM. Час задається в мілісекундах.

Якщо алгоритмом процесу передбачено повторення певних циклів, то командою управління REP задають початок повторення. Виконання команди починається з наступного регістру. Вказана кількість повторень відбуватиметься до команди RPE "Кінець повторень".

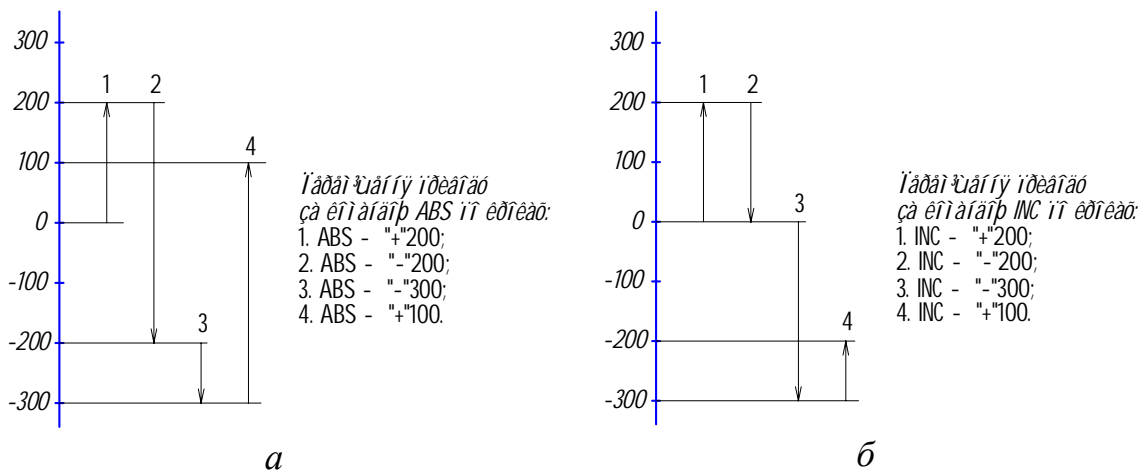


Рис. 4. Переміщення привода:
а – за командою ABS; б – за командою INC.

В процесі програмування кількість повторень може бути в діапазоні від 1 до 255. Команда RPE "Кінець повторень" повинна замикаєти в нижньому регістрі (реєстраційний номер більший, ніж команда REP). Повторення циклів можна налаштувати до трьох разів.

Приклад алгоритму роботи привода з повтореннями наведено на рис. 5.

Спочатку привод послідовно виконує команди від 00 до 20-го регістра. Після 20-го регістра розпочинається цикл 1-го повторення – команди тричі переходять від 20-го до 15-го регістра. Після циклу 1-го повторення привод послідовно виконує команди від 20 до 25 регістра.

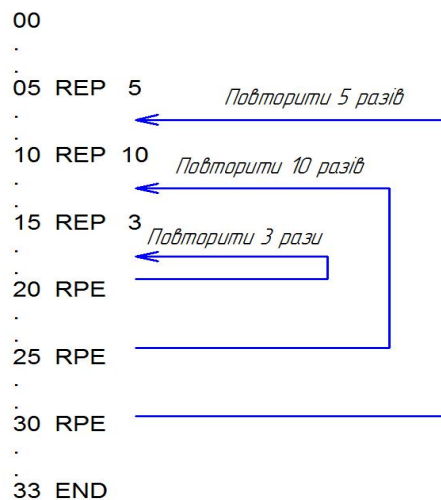


Рис. 5. Алгоритм роботи привода з циклом повторень.

Після 25-го регістра розпочинається цикл 2-го повторення – команди переходять від 25-го до 10-го регістра. Від 10-го регістра послідовно виконуються команди до 20-го регістра, затим розпочинається цикл першого повторення (тричі), після якого команди послідовно переходять від 20-го до 25-го регістра. Після 25-го регістра привод переходить для виконання команди з 10-го регістра, тобто повторюється виконання циклу 2-го повторення і так десять разів. Після циклу 2-го повторення привод виконує команди від 25-го до 30-го регістра.

Після 30-го регістра розпочинається цикл 3-го повторення – команди переходять від 30-го до 5-го регістра, від 5-го регістра послідовно виконуються команди до 20-го, затим розпочинається цикл першого повторення (тричі), після якого команди послідовно переходять від 20-го до 25-го регістра. З 25-го регістра розпочинається цикл 2-го повторення (десять разів), після якого команди п'ять разів послідовно переходять від 25-го до 30-го регістра. Після третього повторення привод виконує команди від 30-го регістра до 33-го (до команди END).

Висновки. Використання контролерів серії PMC в системі керування кроковим двигуном значно спрощує процес програмування та налагодження для сучасного спеціаліста з електроприводу.

Список використаних джерел

1. Кулиниченко Г.В. Оценка характеристик мехатронного модуля на базе шагового двигателя / Г.В. Кулиниченко, В.А. Багута, А.Г. Коробов // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків, 2013, №51(1024). – С. 43 – 53.
2. Контролер типу PMC-1HS/PMS-2HS. Електронний ресурс http://download.autonics.com/upload/data/PMC_1_2HS_EN_E_15_0050B_120207.PDF

ОРГАНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА ТИПА RMS ПРИ УПРАВЛЕНИИ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

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

Аннотация - описан регулируемый электропривод на базе шагового двигателя. Рассмотрена работа контроллера, описаны основные параметры и их характеристики. Рассмотрены особенности программирования контроллера и алгоритмы выполнения команд. Приведены диаграммы изменения скорости, абсолютного и относительного перемещения, описана особенность работы привода с циклами повторений.

ORGANIZATION OF OPERATIVE ALGORITHMS FOR RMS- TYPE CONTROLLER FOR STEPPER MOTOR CONTROL

I. Golodnyi, Yu. Lavrinenko, A. Toropov

Summary

Regulated electric drive based on stepper motor is described. Principles of controller working are considered and basic parameters and characteristics are described. The features of the controller programming and algorithms of command execution are considered.

The diagrams of speed changing, absolute and relative moving are shown; the feature of drive working with the cycles of reiterations is described.

УДК 546.4

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕМОДУЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Загуменная Е. В., к.т.н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко

Тел.: (057) 712-35-37

Аннотация - представлена структура формирования позиционного признака непозиционного кода (ППНК) (однорядового кода) в системе остаточных классов. В результате анализа модульных и немодульных операций выяснилось, что любая немодульная операция может быть реализована посредством последовательности определенных модульных и немодульных операций, реализуемых посредством ППНК.

Ключевые слова: однорядовый код, немодульные операции, позиционный признак.

Постановка проблемы.

Процесс обработки данных, представленных в системе остаточных классов (СОК), осуществляется с помощью модульных и немодульных операций. К модульным операциям относятся такие операции как сложение, вычитание, умножение, так как они выполняются по каждому основанию и межразрядные связи отсутствуют. Кроме модульных операций существуют операции, которые носят позиционный характер. К ним относятся такие немодульные операции как определение знака числа и его ранг, сравнение, преобразование чисел из позиционной системы счисления в СОК и наоборот, округление величины результата операций, вычисление абсолютной величины числа, деление и умножение дробей. Поэтому, что бы реализовать данные операции, необходимо вычислить позиционные характеристики немодульных операций.

Цель статьи. Реализация немодульных операций в СОК, на основе формирования позиционного признака непозиционного кода (однорядового кода).

Основные материалы статьи.

Все позиционные операции сводятся к процедуре определения номера j числового $[jm_j, (j+1) \cdot m_j)$ интервала попадания (нахождения)

чисел. Для определения номера j числового интервала нахождения чисел целесообразно использовать так называемые позиционные характеристика непозиционного кода. Позиционные характеристики непозиционного кода должен обладать такими требованиями как: признак должен иметь четкий и понятный логический смысл, признак должен описываться несложными математическими соотношениями.

В основе данных характеристик лежит процедура формирования специального однорядового кода (ОК). В общем виде ОК представляет собой код двоичной последовательности, состоящий из единиц и только одного нуля $K_{N_{m_i}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{m_i}-1}^{(A)} Z_{N_{m_i}-2}^{(A)} \dots Z_2^{(A)} Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$. Процедура формирования ОК $K_N^{(n_A)}$ осуществляется таким образом: для выбранного основания m_n СОК по значению остатка a_n числа $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ из БКН (блока констант нулевизации) выбирается константа нулевизации (КН) вида $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n)$, далее число посредством константы нулевизации приводится к числам

$$A_{m_n} = A_{KB} - KH_{m_n}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n) - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a'_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n) = \\ = (a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_{i+1}^{(1)}, \dots, a_n^{(1)})$$

кратным одному определенному модулю СОК. Далее посредством совокупности констант $0, m_i, 2m_i, \dots, (N-2) \cdot m_i, (N-1) \cdot m_i$ из N констант, кратных основанию m_i , параллельно проводятся операции $A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)}$ ($K_A = \overline{0, N-1}$) т.е.

$$\begin{cases} A_{m_i} - 0 \cdot m_i = Z_0^{(A)}, \\ A_{m_i} - 1 \cdot m_i = Z_1^{(A)}, \\ A_{m_i} - 2 \cdot m_i = Z_2^{(A)}, \\ \dots \\ A_{m_i} - (N-2) \cdot m_i = Z_{N-2}^{(A)}, \\ A_{m_i} - (N-1) \cdot m_i = Z_{N-1}^{(A)}, \end{cases} \quad (1)$$

где $N_{m_i} = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n m_k$ (N_{m_i} - количество двоичных разрядов в записи ОК

$K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ или количество сумматоров, осуществляющих операции вида $A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)}$).

Таким образом формируется ОК код двоичной последовательности $K_{N_{m_i}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{m_i}-1}^{(A)} Z_{N_{m_i}-2}^{(A)} \dots Z_2^{(A)} Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ для числа $A_{СОК}$, при этом только одно зна-

чение $Z_{K_A}^{(A)} = 0$, если $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$. Остальные значения $Z_{K_A}^{(A)} = 1$, если при $A_{m_i} - l \cdot m_i \neq 0$, $l = \overline{0, N-1}$, $l \neq n_A$.

В этом случае ОК $K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ представляет собой последовательность, состоящую из N_{m_i} двоичных разрядов. В этой последовательности только один разряд нулевой, а остальные единичные. Местоположение нулевых разрядов ОК $K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ определяет ППНК n_A . Для наглядности сути формирования ППНК рассмотрим геометрическую интерпретацию формирования данного признака (рис.1):

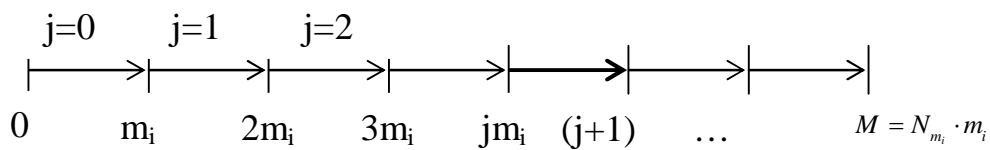


Рис. 1. Интервалы разбиения числовой оси $[0, M)$ для произвольного основания m_i СОК.

Операция преобразования исходных чисел A_{KB} посредством констант нулевизации $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n)$ к виду

$$A_{m_i} = A_{KB} - KH_{m_i}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n) - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a'_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n) = (a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_{i+1}^{(1)}, \dots, a_n^{(1)})$$

равносильна смещению сравниваемых чисел на левый край соответствующих интервалов $[j_1 m_i, (j_1 + 1) m_i)$ их первоначального нахождения, что соответствует приведению их к числам A_{m_i} , кратным модулю m_i СОК. После чего определяется номера $j_1 = n_A$ этих интервалов (см. выражения (1)), что является позиционным признаком непозиционного кода.

Выводы.

Предложена структура формирования однорядового кода в СОК. Использование данного кода позволяет реализовывать некоторые немодульные операции такие, как сравнение чисел, округление величин результата, контроль, диагностика и коррекция ошибок и т.п.

Список использованных источников

1. Акушский, И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах [Текст] / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – М.: Советское радио, 1968. – 440 с.
2. Краснобаев В. А. Методы сравнения чисел, представленных кодом системы остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев.- Электронное моделирование, 1988, Том 10, №2. – 84-87 с.

РЕАЛІЗАЦІЯ НЕМОДУЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В СИСТЕМІ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Загуменна К. В.

Аннотация - представлена структура формування позиційної ознаки непозиційного коду (ПОНК) (однорядового коду) в системі залишкових класів. В результаті аналізу модульних і немодульних операцій з'ясувалося, що будь-яка немодульна операція може бути реалізована за допомогою послідовності певних модульних і немодульних операцій, що реалізуються за допомогою ПОНК.

REALIZATION OF UNMODULE OPERATIONS IS IN THE SYSTEM OF REMAINING CLASSES

K. Zagumenna

Summary

The presented structure of forming of position sign of unposition kod (oneordinary kod) is in the system of remaining classes. It turned out as a result of analysis of module and unmodule operations, that any unmodule operation can be realized by means of sequence of certain module and unmodule operations that is realized by means of position sign of unposition kod.

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ
ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
ДЛЯ ЧП «МОЛОКОЗАВОД – ОЛКОМ»**

Катюха И.А., аспирант**Таврический государственный агротехнологический университет*

Телефон: (067) 416-0-321

Аннотация – в статье применен подход к определению кусочно-непрерывной нечеткой прогнозной модели электропотребления, сочетающий как формальные, так и неформальные процедуры. Показано применение разработанного критерия к задаче прогноза электропотребления предприятием. Приведена оценка точности прогноза по относительной среднемодульной погрешности.

Ключевые слова: прогноз электропотребления, нечеткий регрессионный анализ, критерий оценки качества регрессии, автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии.

Постановка проблемы. В условиях современного энергорынка для крупных предприятий важное значение имеет создание системы прогнозирования потребления электрической энергии, позволяющей минимизировать отклонения потребляемой от заявленной на рынке за сутки вперед мощности.

Анализ последних исследований. Основным инструментом при построении прогнозных моделей является регрессионный анализ. Использование данного аппарата в нечеткой форме целесообразно для прогнозирования электропотребления, поскольку исходные данные при этом несут неопределенность. Нечеткий регрессионный анализ для прогнозных задач в основном используется для построения линейных полиномиальных моделей [1] с нечеткими коэффициентами регрессии. Разработка вида регрессионных зависимостей, отличных от полиномиальных, как правило, не рассматриваются. Модели четко делятся по назначению на долгосрочны и краткосрочные [2]. Автором совершена попытка применения методики формирования нечеткой прогнозной модели электропотребления [3] на реальном предприятии по переработке молочной продукции.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Применение системы прогнозирования электропотребления промышленного пред-

© Катюха И.А.

*Научный руководитель – Овчаров В.В., д.т.н., профессор

приятия в условиях неопределенности исходной информации на основе нечеткого регрессионного анализа. Оценка точности прогноза по относительной среднемодульной погрешности в сравнении с реальными показателями электропотребления.

Основные материалы исследования (основная часть). Электропотребление предприятий представляет собой циклический процесс, зависящий от ряда внешних и внутренних факторов. К внутренним факторам относятся такие трудно формализуемые в общем виде, как количество смен, наличие перерывов, график выходных и т.п. К внешним относятся такие, как ритмичность заказов, сезонность, климатические особенности и т.п.

Вид прогнозной зависимости определяется на основе анализа исходных данных. При этом процесс определения оптимального вида функции регрессии не формализован, а традиционно применяемый полиномиальный подход часто бесполезен для задач прогноза.

Поскольку в графиках электропотребления наблюдаются четко выраженные периоды в течение суток, то рационально прогнозную функцию строить не в виде непрерывной функции для всего суточного цикла, а в виде кусочно-непрерывной функции.

Приведенные на рис.1 данные позволяют в суточном цикле электропотребления выделено пять участков:

участок 1	$t = (0 - 0,3125)$ сут.,	или $t = (0 - 7,5)$ ч;
участок 2	$t = (0,3125 - 0,4167)$ сут.,	или $t = (7,5 - 10)$ ч;
участок 3	$t = (0,4167 - 0,6667)$ сут.,	или $t = (10 - 16)$ ч;
участок 4	$t = (0,6667 - 0,8958)$ сут.,	или $t = (16 - 21,5)$ ч;
участок 5	$t = (0,8958 - 1)$ сут.,	или $t = (21,5 - 24)$ ч;

Данные, приведенные на рис.2, позволяют предположить, что электропотребление имеет зависимость от дня недели, которую приближенно можно считать линейной.

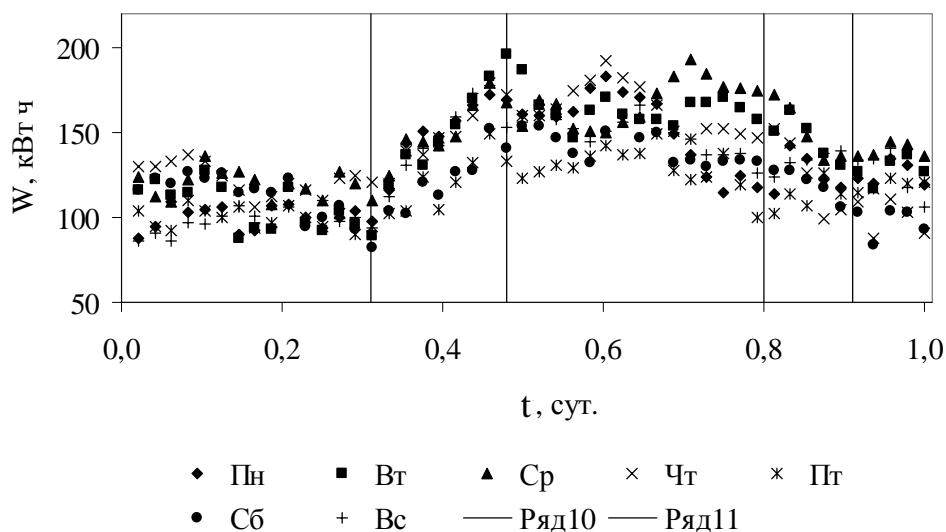


Рис. 1. Фрагменты данных АСКУЭ для характеристики суточного цикла электропотребления ЧП «Молокозавод-ОЛКОМ».

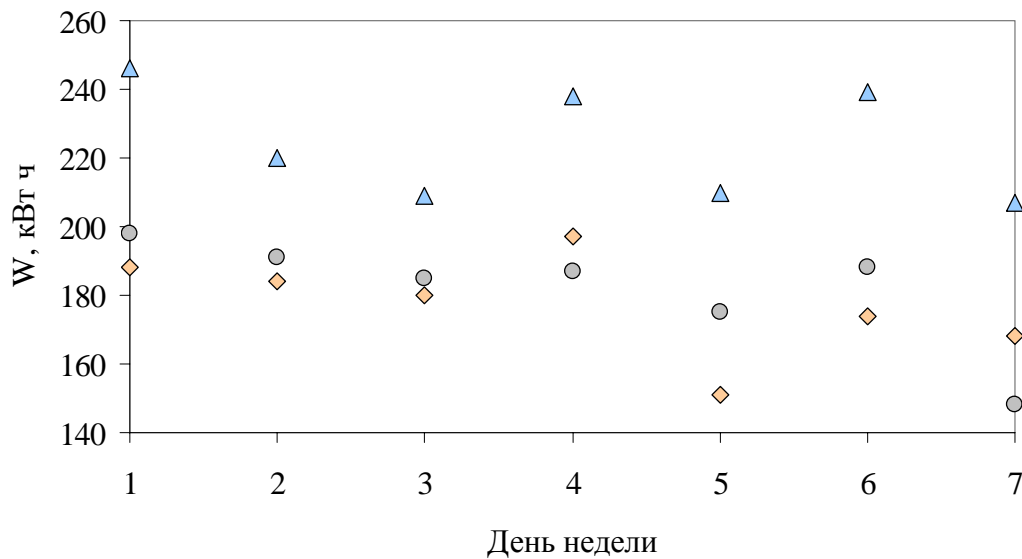


Рис. 2. Фрагменты данных АСКУЭ для характеристики недельного цикла электропотребления ЧП «Молокозавод-ОЛКОМ».

На рис.3 приведены данные АСКУЭ на 12 часов каждого 15 числа каждого месяца, позволяющие сделать вывод, что электропотребление предприятия в течение года меняется нелинейно и данная зависимость от номера недели может быть приближенно описана параболой.

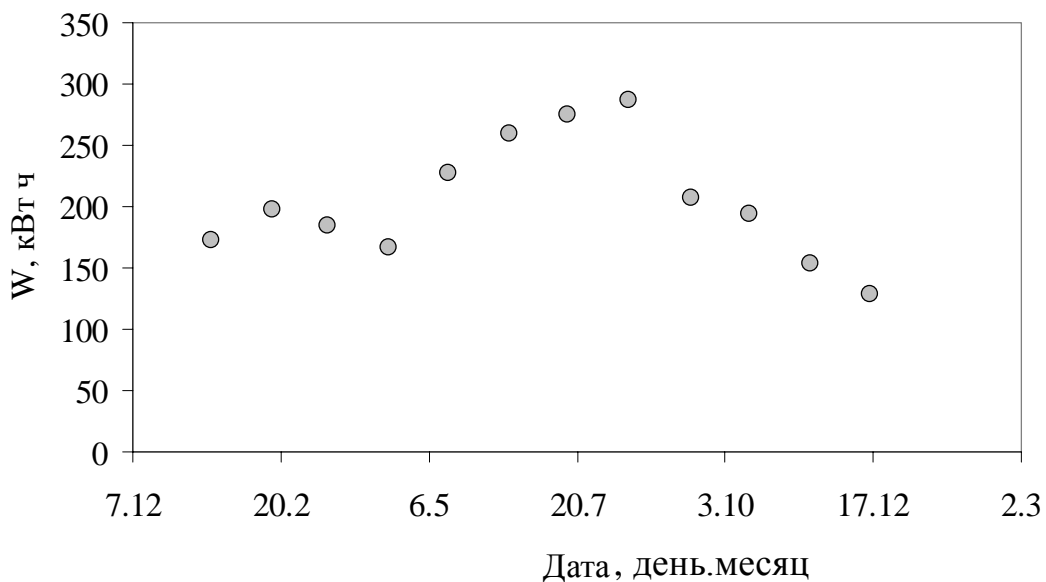


Рис. 3. Фрагменты данных АСКУЭ для характеристики годового цикла электропотребления ЧП «Молокозавод-ОЛКОМ».

Формирование вида прогнозной зависимости

Поскольку в данном случае выделено пять участков, вид прогнозной зависимости для суточного цикла соответствует виду кусочно-непрерывной прогнозной функции на сутки [3]. Тогда примем уча-

стки 2 и 4 в качестве переходных, на участках 1, 3 и 5 примем квадратичную зависимость электропотребления от времени суток.

Для участков 2 и 4 можно воспользоваться уже известными зависимостями [3].

Особенность данных АСКУЭ заключается в том, что среди череды рабочих дней несистемно включены нерабочие дни, где электропотребление на фоновом уровне. Соответственно, для нерабочих дней при обработке учитывались только данные участков 1 и 5.

Обработка данных АСКУЭ за год

По результатам данных АСКУЭ за 2013 год с помощью усовершенствованного нечеткого регрессионного анализа получены значения коэффициентов регрессии (рис.4).

Степень совмещения оценок и исходных данных составила: $\mu_{\cap} = 0,53$. Соответственно среднемодульная погрешность регрессионной зависимости составила: $МАПЕ = 12,86\%$. Степень нечеткости 0,535.

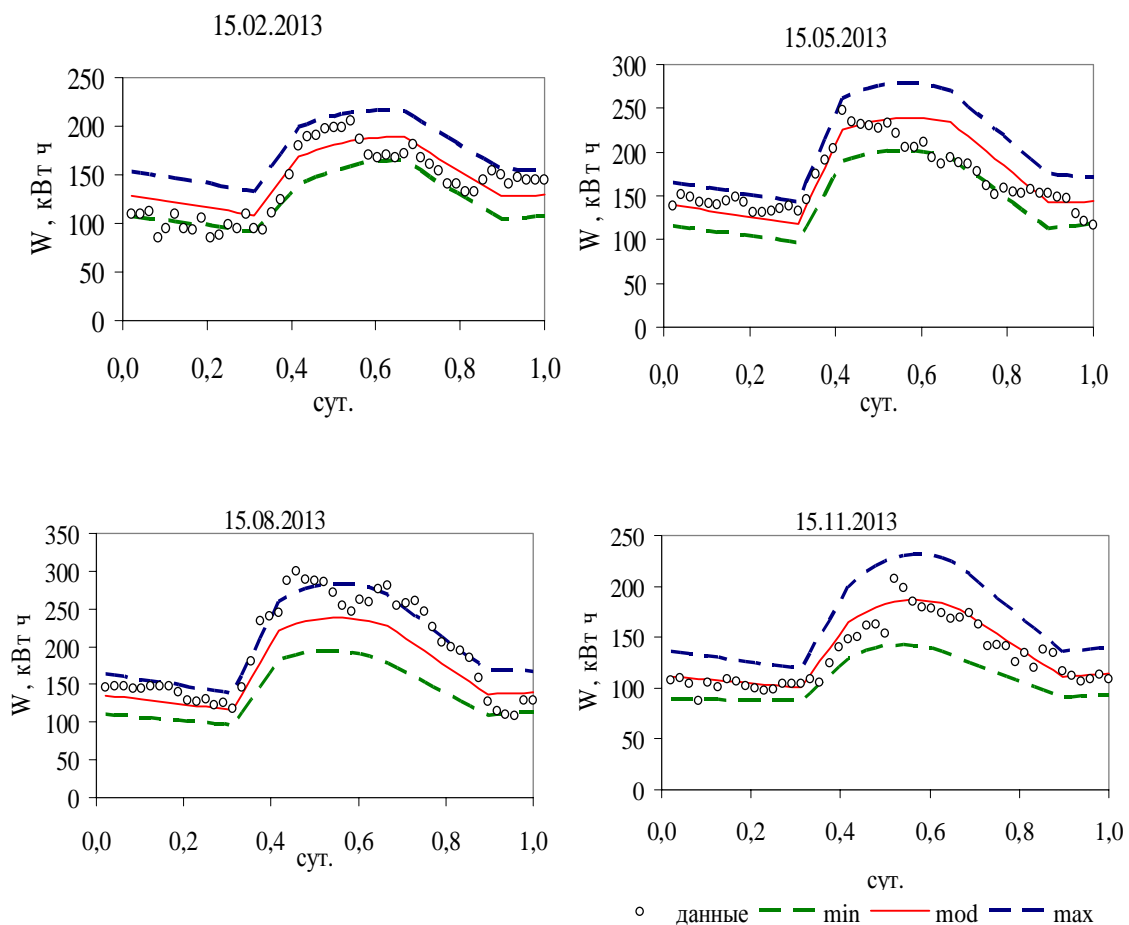


Рис. 4. Результаты обработки данных АСКУЭ
ЧП «Молокозавод--ОЛКОМ».

Проверка прогнозных возможностей долгосрочной прогнознoй модели для годового цикла

Для проверки взяты данные АСКУЭ за 2012 и 2014 год на предприятии «Молокозавод-ОЛКОМ», не подвергавшиеся обработке регрессионным анализом. Оценка точности показала: $\mu_{\cap} = 0,53$, $МАПЕ =$

Таблица 2 – Качество краткосрочного прогноза

Прогноз на...,дни	Степень нечеткости	Степень совмещения	МАРЕ,%
2012 г.			
1	0,411	0,512	10,42
2	0,417	0,513	10,16
3	0,392	0,494	10,51
4	0,432	0,545	9,44
5	0,434	0,566	8,95
6	0,412	0,524	10,39
7	0,423	0,523	9,79
2013 г.			
1	0,431	0,513	12,047
2	0,418	0,498	12,025
3	0,406	0,483	10,692
4	0,424	0,504	11,001
5	0,432	0,512	11,282
6	0,421	0,502	11,199
7	0,413	0,497	11,103
2014 г.			
1	0,561	0,59	12,26
2	0,532	0,53	12,12
3	0,564	0,60	10,73
4	0,467	0,47	14,00
5	0,542	0,56	11,62
6	0,555	0,57	11,36
7	0,534	0,53	12,58

12,08%, степень нечеткости 0,48 для данных 2012 года; $\mu_{\cap} = 0,39$, $МАПЕ = 20,50\%$, степень нечеткости 0,57 для данных 2014 года.

Проверка прогнозных возможностей найденной регрессионной зависимости для краткосрочного прогноза

Для проверки использовались данные АСКУЭ за 2012, 2013 и 2014 годы. Расчеты проводились для +1...+7 дней от текущей даты. Коэффициенты регрессии уточнялись по данным электропотребления за две недели, предшествующие текущей дате. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Вывод. Подход к определению кусочно-непрерывной нечеткой прогнознoй модели электропотребления достаточно просто применим на практике. Наблюдается увеличение точности прогноза по

сравнению с годовой прогнознoй моделью, что проявляется в увеличении степени близости прогнозных оценок и исходных данных и снижении среднемодульной погрешности вследствие уменьшения степени неопределенности прогноза. В то же время зависимость точности прогноза от числа дней до начала прогноза от текущей даты не столь выражена, что говорит об удовлетворительном качестве долгосрочной прогнознoй зависимости.

Список использованных источников.

1. *Таранцев А.А.* Принципы построения регрессионных моделей при исходных данных с нечетким описанием / *А.А.Таранцев* // Автоматика и телемеханика. - №11. – 1997. – С.215-220.
2. *Srinivasan D.* A novel approach to electrical load Forecasting based on a neural network / *D. Srinivasan [et al.]* // INNC-91. - Singapoure, 1991. - P. 1172-1177.
3. *Тимчук С.А.* Методика формирования нечеткой прогнозной регрессионной модели электропотребления / *С.А.Тимчук, И.А.Катюха* // Проблемы энергозабезпечення та енергозбереження України: вісник ХНТУСГ.- Харків, 2014. - Вип. 154. - С. 51-53.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ПП МОЛОКОЗАВОД-ОЛКОМ

Катюха І.А.

Анотація – в статті запропоновано підхід до визначення кусочно-безперервної нечіткої прогновної моделі електроспоживання, яка поєднує як формальні, так і неформальні процедури. Розроблений критерій якості підбору коефіцієнтів регресії максимально повно враховує особливості довгострокових і корот-строкових виробничих циклів. Показано використання розробленого критерію до задачі прогнозування електро-споживання підприємством. Приведена оцінка точності прогнозу за відносною середньомодульною помилкою.

USE OF INDISTINCT EXPECTED MODEL OF THE POWER CONSUMPTION AT THE ENTERPRISES "OLKOM"

I. Katyukha

Summary

The approach to definition of piecewise and continuous indistinct expected model of a power consumption combining both formal and informal procedures is applied. The criterion of quality of selection of coefficients of regression which is most fully considering features of long-term and short-term production cycles is developed. Application of the developed criterion to a task of the forecast of a power consumption by the enterprise is shown. The assessment of accuracy of the forecast for a mean absolute percent error is given.

УДК 536.24:681.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАДАЧАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кашкарёв А.А., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: 0619-42-57-97

Аннотация – проанализированы тепловые процессы в технологических аппаратах производства и переработки продукции сельского хозяйства, систематизированы методы их моделирования, рассмотрен пример моделирования трубчатого теплообменника.

Ключевые слова: тепловые процессы, моделирование, теплообменник.

Постановка проблемы. В сельском хозяйстве трудно найти технологический процесс производства и переработки продукции животноводства или растениеводства, в которых бы не протекали тепловые процессы. Они могут осуществляться в рамках контролируемых этапов производства и преобразования исходного материала или продукции, а также как негативные последствия работы технологических машин и воздействия окружающей среды. Экспериментальные исследования их влияния на объект управления являются многофакторным и многокритериальными, анализ которых требует определенного уровня квалификации (понимание физических процессов нагрева, опыт проведения исследований, умение выделять значимые факторы и анализировать экспериментальные данные) и технического оснащения (средства сбора и обработки данных, лабораторные установки для определения тепловых параметров сред и материалов). Следует отметить, что современный уровень термодинамики, как раздела общеобразовательной дисциплины «физика», описывает окружающие нас тепловые процессы достаточно полно и достоверно. Основные положения термодинамики не единожды были подтверждены экспериментальными исследованиями.

В сельском хозяйстве широко распространены тепловые процессы - нагревание и охлаждение различных агрегатных состояний различными способами (теплопередача, конвекция, облучение и т.д.), причем наибольшее распространение имеют теплообменные аппара-

ты. При внедрении мероприятий по энергосбережению их внедрение или модернизацию рассматривают в первую очередь. Современное программное обеспечение позволяет разработать математическую модель теплообменного аппарата на основе моделей элементов конструкции. Это позволяет упростить процедуру проектирования и обоснования внедрения.

Анализ последних исследований. Из-за разнообразия тепловых процессов и предъявляемых требований к ним, связанных с технологическими требованиями и условиями эксплуатации, применяют аппараты самых различных конструкций и типов. В качестве прямых источников тепла используют главным образом топочные газы, представляющие собой газообразные продукты сгорания топлива, и электрическую энергию. К числу распространенных промежуточных теплоносителей относятся водяной пар и горячая вода. В качестве охлаждающих агентов для охлаждения до обычных температур (10-30°C) применяют в основном воду и воздух.

Все теплообменные аппараты по способу передачи тепла разделяются на две большие группы: поверхностные теплообменные аппараты и аппараты смешения. В поверхностных аппаратах передача тепла от одного теплоносителя к другому осуществляется с участием твердой стенки. Процесс теплопередачи в смесительных теплообменных аппаратах осуществляется путем непосредственного контакта и смешения жидких и газообразных теплоносителей.

Поверхностные теплообменные аппараты подразделяют на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах тепло от одного теплоносителя к другому передается через разделяющую их стенку из теплопроводного материала. В регенеративных теплообменных аппаратах теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева, которая в один период нагревается, аккумулируя тепло «горячего» теплоносителя, а во второй период охлаждается, отдавая тепло «холодному» теплоносителю.

Рекуперативные теплообменные аппараты классифицируются по следующим признакам [2]:

- по роду теплоносителей в зависимости от их агрегатного состояния: паро-жидкостные; жидкостно-жидкостные; газо-жидкостные; газо-газовые; паро-газовые;
- по конфигурации поверхности теплообмена: трубчатые аппараты с прямыми трубками; спиральные; пластинчатые; змеевиковые;
- по компоновке поверхности нагрева: типа «труба в трубе»; кожухотрубчатые; оросительные аппараты;

При истечении жидкостей в теплообменнике температура их изменяется: горячая жидкость охлаждается, а холодная нагревается. Характер изменения температуры жидкости, движущейся вдоль поверх-

ности нагрева, зависит от схемы ее движения. В теплообменных аппаратах применяются в основном три схемы движения жидкостей: прямоточная, противоточная, перекрестная.

Теплообменник является сложным объектом с распределенными параметрами. При выводе уравнений динамики необходимо принять ряд допущений [1, 3]:

- 1) количество тепла, которое проходит в направлении потока как в жидкости так и в стенке трубы не учитывается;
- 2) используются средние значения температур по сечению трубопровода и рассматривается изменение температуры только по направлению потока;
- 3) такие параметры как теплоемкость, плотность и коэффициенты теплоотдачи считаются постоянными;
- 4) механической энергией по сравнению с тепловой и потерями тепла в окружающую среду пренебрегаем.

Учитывая распространенность тепловых процессов в сельском хозяйстве, для дальнейшего изучения и построения имитационных моделей их реализации необходимо систематизировать методы моделирования основных элементов технологического оборудования.

Формулирование цели статьи. Систематизировать математические модели тепловых процессов в теплообменниках для построения математических моделей теплообменных аппаратов, с целью их модернизации, оптимизации, обоснование внедрения.

Основная часть. Рассмотрим процесс теплообмена между двумя жидкостями, протекающие в концентрически расположенных трубках, когда нагреваемой является жидкость во внешней трубке (рис. 1). Для данного теплообменника можно записать следующие уравнения, которые характеризуют процесс теплообмена. В этих уравнениях индекс '1' относится к внутреннему потоку, а индекс '2' ко внешнему потоку (рис. 2).

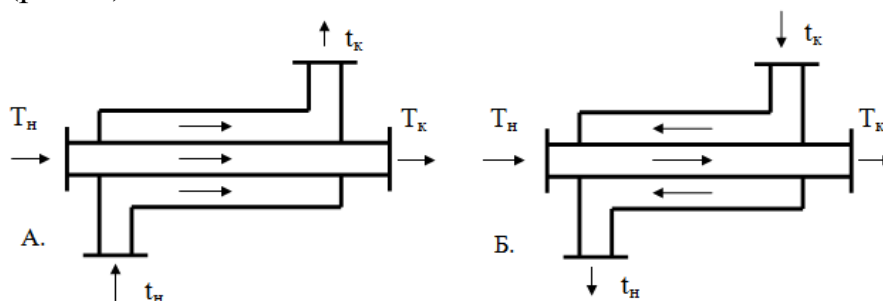


Рис. 1. Схема движения жидкостей в теплообменнике типа «труба в трубе» при прямотоке (А) и противотоке (Б).

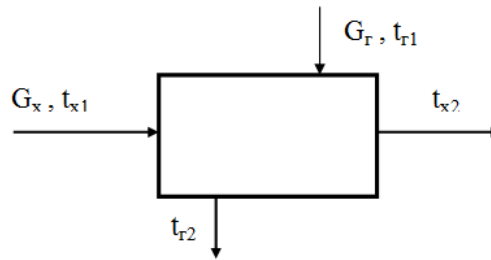


Рис. 2. Расчетная схема теплообменника: t_{x1} - входная температура холодного теплоносителя, °С; G_x - расход холодного теплоносителя, кг/с; T_{x2} - выходная температура нагретого теплоносителя, °С, G_r - расход горячего теплоносителя, кг/с.

Уравнение теплового потока в круглой трубке

$$\frac{dT_1}{dt} + \frac{G_1}{S_1 \cdot \rho_1} \cdot \frac{dT_1}{dx} = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e \cdot (T_1 - T_{cm})}{S_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1} \quad (1)$$

где α_1 - коэффициент теплопередачи от потока к стенке, Вт/(м²·°С);

ρ_1, c_1 - плотность и удельная теплоемкость теплоносителя, кг/м³, кДж/(кг·°С)

$T_1, T_{ст}$ - температура теплоносителя и стенки трубы, °С;

D_e - внутренний диаметр трубки, м;

S_1 - площадь трубного пространства, м²;

G_1 - расход теплоносителя, кг/с;

x - длина трубки, м.

Введем обозначения

$$C_1 = \frac{G_1}{S_1 \cdot \rho_1};$$

$$C_2 = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e}{S_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1}$$

Тогда (1) примет вид

$$\frac{dT_1}{dt} + C_1 \cdot \frac{dT_1}{dx} = C_2 \cdot (T_1 - T_{cm}) \quad (2)$$

Уравнение для стенки трубки:

$$\frac{dT_{cm}}{dt} = \frac{1}{K} (\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n \cdot (T_{cm} - T_2) - \alpha_2 \cdot \pi \cdot D_e \cdot (T_1 - T_{cm})), \quad (3)$$

При этом

$$K = \pi \cdot \delta \cdot \rho_{cm} \cdot D_e \cdot c_{cm},$$

где α_2 - коэффициент теплопередачи от стенки к нагреваемому потоку, Вт/(м²·°С);

$\rho_{ст}, c_{ст}$ - плотность и удельная теплоемкость материала стенки трубки, кг/м³, кДж/(кг·°С)

T_{2T} – температура нагриваемой среды, °С;
 D_n – наружный диаметр трубки, м;
 δ – толщина стенки трубки, м.

Введем обозначения:

$$C_3 = \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n}{K}$$

$$C_4 = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e}{K}$$

Тогда (3) примет вид

$$\frac{dT_{cm}}{dt} = C_3 \cdot (T_{cm} - T_2) - C_4 \cdot (T_1 - T_{cm}). \quad (4)$$

Уравнение теплового потока в межтрубном пространстве:

$$\frac{dT_2}{dt} + \frac{G_2}{S_2 \cdot \rho_2} \cdot \frac{dT_2}{dx} = \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n \cdot (T_{cm} - T_2)}{S_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}, \quad (5)$$

где ρ_2 , c_2 – плотность и удельная теплоемкость нагриваемого потока, кг/м³, кДж/(кг·°С)

T_1 , $T_{ст}$ – температура теплоносителя и стенки трубы, °С;

S_2 – площадь между наружным диаметром греющей трубы и внутренним диаметром стенки кожуха, м²;

G_2 – расход нагриваемого потока, кг/с.

Введем обозначения

$$C_5 = \frac{G_2}{S_2 \cdot \rho_2};$$

$$C_6 = \frac{\alpha_2 \cdot D_n}{S_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}$$

Тогда (5) примет вид

$$\frac{dT_2}{dt} + C_5 \cdot \frac{dT_2}{dx} = C_6 \cdot (T_{cm} - T_2). \quad (6)$$

Исходя из закона сохранения энергии, динамика водо-водяного теплообменного аппарата описывается системой одномерных линейных дифференциальных уравнений в частных производных. Зависимость выходной температуры нагриваемого потока T_2 от температуры греющего потока T_1 и температуры стенок трубки $T_{ст}$ будет описываться системой уравнений, состоящей из уравнений 2, 4 и 6. Решение такой системы уравнений возможно на основе разбития пространственной координаты x (6) на N равных дискретных участков длиной Δx , что позволит задаваясь начальными условиями упростить систему уравнений и свести ее одному временному параметру. Это позволит

использовать стандартные методы решения дифференциальных уравнений в системах визуального программирования (Matlab Simulink, SciLab и др.)

Использование метода конечных элементов графическую модель решения, но позволяет получить более информативное решение и обеспечить универсальность модели.

Выводы. Систематизированы математические модели тепловых процессов проходящих в основных конструктивных элементах теплообменных аппаратов. Предложены методы их решения и направления практических задач.

Список использованных источников

1. Ковязин А. С. Влияние материала и толщины стенки обсадной трубы грунтового теплообменника на теплоотбор из массива грунта / А. С. Ковязин, И. Г. Величко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2013. – № 758 : Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – С. 57-62
2. Лисиенко В.Г. Хрестоматія енергосбереження: Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. – 688 с.
3. Прохоренко А.М. Моделирование процессов теплообмена, протекающих в пластинчатых теплообменных аппаратах / А.М. Прохоренко // Вестник МГТУ, - Т. 17, №1. 2014 – С. 92-101

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАДАЧАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Кашкаръов А.О.

Анотація – проаналізовані теплові процеси в технологічних апаратах виробництва і переробки продукції сільського господарства, систематизовані методи їх моделювання, розглянуто приклад моделювання трубчастого теплообмінника.

MODELING OF THE HEAT PROCESSES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

A. Kashkarov

Summary

The thermal processes in the production technological devices and processing of agricultural products were analyzed, the methods of their simulation modeling were systemized and the example for a tubular heat exchanger simulation was considered.

УДК 621.313.333

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПІД ВПЛИВОМ НЕПОВНОФАЗНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ

Квітка С.О., к.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Стьопін Ю.О., к.т.н.,

Квітка О.С., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: 0619-42-31-59

Анотація – представлені результати дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів під впливом неповнофазного режиму роботи, наведені залежності сили струму і швидкості теплового зносу ізоляції обмотки статора асинхронного електродвигуна в функції коефіцієнта завантаження.

Ключові слова: асинхронний двигун, неповнофазний режим роботи, теплові процеси, швидкість теплового зносу ізоляції.

Постановка проблеми. Подальше зростання енергоозброєності АПК потребує вирішення проблем надійності і довговічності електроустаткування, що експлуатується. Основним споживачем і перетворювачем електроенергії служить електропривод на базі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, від надійності якого залежить нормальне протікання будь-якого технологічного процесу. Експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, як у промисловості так і у сільському господарстві, залишається невисокою. Їх аварійність щорічно складає 20-25 % [1-6]. В аварійних режимах роботи струми, які протікають в обмотках статора та ротора електродвигуна, перевищують номінальні значення. В результаті чого перегріваються обмотки й зношується ізоляція, стан якої визначається не тільки значенням струму, але і його тривалістю.

Тому дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів при їх роботі в аварійних режимах і розробка на підставі даних досліджень пристроїв контролю та захисту є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Одним з самих розповсюджених аварійних режимів роботи асинхронних електродвигунів, що працюють в умовах агропромислового виробництва, є неповнофазний режим. Обробка великої кількості статистичних даних по відмовах елек-

тродвигунів дозволило встановити, що із загальної кількості відмов асинхронних електродвигунів близько 40-50 % є наслідком неповнофазних режимів [4, 5].

Неповнофазний режим супроводжується збільшенням струму, що призводить до перегрівання статорної обмотки і супроводжується інтенсивним тепловим зносом ізоляції обмотки [1].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Завданням статті є дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів під впливом неповнофазного режиму роботи з урахуванням коефіцієнта завантаження.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Дослідимо напругу на затискачах електродвигуна при неповнофазному режимі роботи. Для чого проаналізуємо вплив неповнофазного режиму на асинхронний електродвигун серії АИР100L4У3. У разі автономного живлення електродвигуна напруга зміщення нейтралі дорівнює $\dot{U}_N = -110$ В, напруга на фазах, що залишилися в роботі, дорівнює $\dot{U}_b = -j190$ В, $\dot{U}_c = j190$ В. Симетричні складові напруги прямої, зворотної і нульової послідовностей відповідно дорівнюють $\dot{U}_1 = 110$ В, $\dot{U}_2 = -110$ В, $\dot{U}_0 = 0$. Кратності напруг прямої і зворотної послідовностей відповідно дорівнюють $k_{U1} = 0,5$, $k_{U2} = 0,5$.

Відповідно до [1] швидкість теплового зносу ізоляції

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot e^{B \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\Theta_{ст}} \right)}, \quad (1)$$

де ε_n – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції, б.год/год;
 B – коефіцієнт, який характеризує клас ізоляції, К;
 Θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції обмотки, К;
 $\Theta_{ст}$ – абсолютна стала температура ізоляції обмотки, К.

В свою чергу

$$\Theta_{ст} = \tau_{ст} + \vartheta_{сер} + 273, \quad (2)$$

де $\vartheta_{сер}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Стале перевищення температури обмотки [1]

$$\tau_{ст} = \tau_n \cdot \frac{a + k^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n \cdot (k^2 - 1)}, \quad (3)$$

де τ_n – номінальне перевищення температури обмотки, °С;
 a – коефіцієнт втрат електродвигуна;
 α – температурний коефіцієнт опору матеріалу обмотки, 1/°С;
 k – кратність перевантаження за силою струму.

$$k^2 = \frac{U^2}{\left[(R_1' + R_2''/s)^2 + (X_1' + X_2'')^2 \right] I_H^2}. \quad (4)$$

Враховуючи вихідні дані для електродвигуна АИР100L4У3 отримуюмо розрахункові дані, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахункові дані

κ_3	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
s	0,054	0,106	0,149	0,184	0,215	0,242	0,265
k	0,48	0,84	1,08	1,23	1,34	1,42	1,48
I, A	4,00	7,70	9,95	11,30	12,04	12,67	13,00
ε_b бгод/год	0,64	0,78	1,27	3,18	7,86	20,24	39,63

Оскільки кратності напруги симетричних складових прямої і зворотної послідовностей рівні між собою, то в порівнянні з несиметричним повнофазним режимом цей режим є більш важким: результуючий пусковий момент дорівнює нулю, ковзання за одних і тих же умов більше.

На рис.1 наведена залежність сили струму в обмотці статора асинхронного електродвигуна в функції коефіцієнта завантаження $I = f(\kappa_3)$, на рис.2 – залежність швидкості теплового зносу ізоляції обмотки статора в функції коефіцієнта завантаження асинхронного електродвигуна $\varepsilon = f(\kappa_3)$.

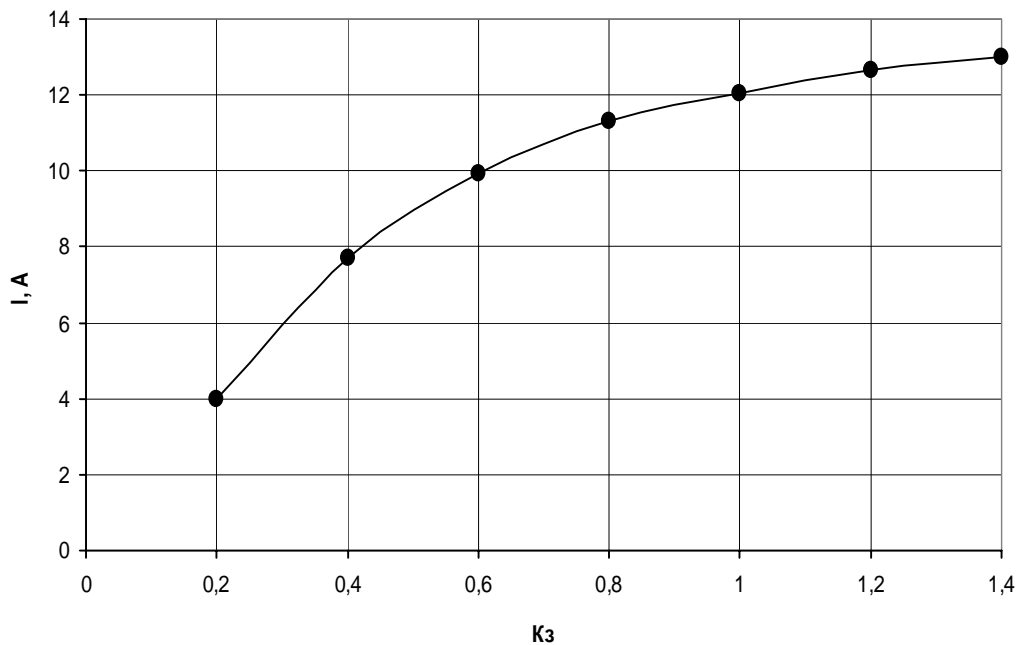


Рис. 1. Залежність сили струму в обмотці статора трифазного асинхронного електродвигуна в функції коефіцієнта завантаження.

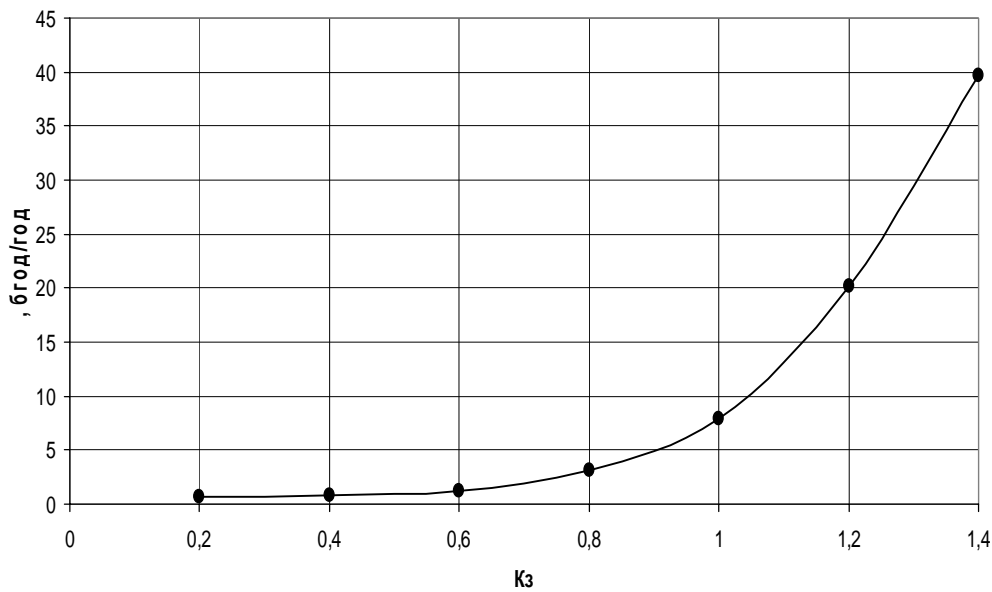


Рис. 2. Залежність швидкості теплового зносу ізоляції обмотки статора трифазного асинхронного електродвигуна в функції коефіцієнта завантаження.

Висновок. Таким чином, на підставі проведеного дослідження можна зробити наступний висновок: робота в неповнофазному режимі навіть мало завантажених асинхронних електродвигунів супроводжується значним збільшенням струму в обмотці статора і інтенсивним процесом теплового зносу ізоляції.

Список використаних джерел.

8. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – К. : УСХА, 1990. – 168 с.
9. Квітка С.О. Дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів під дією струмового навантаження та розробка пристрою захисту від аварійних режимів роботи / С.О. Квітка, Д.М. Нестерчук, О.С. Квітка // Таврійський державний агротехнологічний університет : праці. – Мелітополь : ТДАТУ, 2013. – Вип. 13. Т. 5. – С. 172-177.
10. Вовк О.Ю. Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна / О.Ю. Вовк, С.О. Квітка, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 153. – Харків : ХНТУСГ, 2014. – С. 79-81.
11. Квітка С.О. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 153. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С. 85-87.

12. *Квітка С.О.* Дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів та розробка пристрою захисту від аварійних режимів роботи / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, Д.М. Нестерчук // Таврійський державний агротехнологічний університет: праці. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10. Т. 4. – С. 18-23.
13. *Кондратюк О.Ю.* Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты / О.Ю. Кондратюк, А.Б. Егоров // Системы обработки інформації. – 2006. – Вип. 4(53). – С. 79-86.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Квитка С.А., Вовк А.Ю., Степин Ю.А., Квитка А.С.

Аннотация – представлены результаты исследования тепловых процессов асинхронных электродвигателей под воздействием неполнофазного режима работы, наведены зависимости силы тока и скорости теплового износа изоляции обмотки статора асинхронного электродвигателя в функции коэффициента загрузки.

RESEARCH OF TERMAL PROCESSES OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS UNDER INFLUENCE NOT FULL-PHASE OPERATING MODE

S. Kvitka, O. Vovk, Yu. Styopin, O. Kvitka

Summary

Results of research of thermal processes of asynchronous electric motors under the influence of not full-phase operating mode are presented, dependences of current and speed of thermal wear of isolation of a winding of the stator of the asynchronous electric motor as loading coefficient are induced.

УДК 631.171:621.311

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10 та 35 кВ

Коваленко Л.Р., к.т.н.,

Коваленко О.І., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. +38 (061 92)42 11 74

Анотація – В статті проведено аналіз видів пошкоджень, які можуть виникнути в розподільних електричних мережах 10 та 35 кВ. Розроблено методику та алгоритм дистанційного визначення місця однофазного замикання на землю.

Ключові слова: повітряна лінія, однофазне замикання на землю, метод стоячих хвиль.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації систем електропостачання показує, що значна кількість перерв в подачі електроенергії до споживачів відбувається при аварійному відключенні ліній електропередач в результаті їх пошкодження.

Причинами пошкоджень повітряних ліній, в тому числі і однофазних замикань на землю (ОЗЗ), є впливи природних і технічних факторів. До природних факторів відносяться вітер, ожеледь, перепад температур, атмосферні перенапруги, до технічних – короткі замикання, руйнування ізоляторів, внутрішні перенапруги, порушення правил технічної експлуатації, та ін.

Однією з першорядних задач, що стоїть перед експлуатаційним персоналом електричних мереж, є оперативний пошук та локалізація місць ОЗЗ повітряних ліній. Вирішити цю задачу можна за допомогою удосконалення методів визначення місць ОЗЗ, що дозволить значно підвищити оперативність діагностування та усунення пошкоджень.

Вплив значної кількості факторів на лінію значно ускладнює процедуру пошуку місць пошкоджень, що збільшує час на проведення операцій та витрати на визначення місця пошкодження. Тому існує задача створення ефективних методів і засобів, які дозволять врахувати неоднорідність та складну топологію розподільних мереж для підвищення рівня автоматизації та точності визначення місця ОЗЗ.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що серед топографічних методів визначення місця ОЗЗ можливе застосування індукційного,

потенціального та електромеханічного методів. Для дистанційного визначення місця пошкодження при відключеній від мережі лінії найбільшого поширення набули імпульсний метод, метод петлі і метод коливального розряду. Методи без відключення пошкодженої лінії в мережах 10 та 35 кВ в даний час не отримали широкого застосування. Найбільш досліджені хвильові методи, які використовують розрядну або зарядну стадії перехідного процесу, а також методи, засновані на накладанні струмів непромислової частоти [3- 6].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є удосконалення існуючих методів пошуку місця однофазного замикання на землю в лініях напругою 10 та 35 кВ для скорочення часу відшукування пошкодження та підвищення надійності електропостачання в цілому.

Основна частина. Основними причинами пошкодження повітряної лінії електропередачі є: ожеледяно-вітрові навантаження, перекриття ізоляції внаслідок грозових розрядів, пошкодження опор і проводів автотранспортом та іншими механізмами, дефекти виготовлення опор, проводів, ізоляторів, перекриття ізоляції через гілки дерев, невідповідність опор, проводів, ізоляторів, клімату, неправильний монтаж, не дотримання правил ремонту і заміни обладнання [1-3].

Для отримання кількісної характеристики пошкоджень було проаналізовано пошкоджуваність (за даними Вільнянського РЕМ, ВАТ «Запоріжжяобленерго») у повітряних розподільних мережах напругою 10 та 35 кВ за десять останніх років. Середня кількість пошкоджень у рік складає 56 одиниць (100%).

Причини виникнення пошкоджень розподілилися в такий спосіб: пробій ізоляторів 19 (34%); обрив провідників 15 (27%); пробій і пошкодження розрядників 5 (9%); обрив в'язок 4 (7%); інше 13 (23%)

Кількість пошкоджень ліній, що супроводжується стійкими однофазними замиканнями на землю, становить 63,2 %, міжфазними короткими замиканнями – 9,7 %, подвійними замиканнями на землю – 5,2 %, обривом проводу – 6,2 %, інших – 15,7%.

Замикання на землю в мережах 10 та 35 кВ нерідко призводять до аварій, що супроводжуються значними збитками. З'являються перенапруги близько 2,4–3,5 кратних в порівнянні з фазною напругою, що може привести до пробію ізоляції непошкоджених фаз і переходу ОЗЗ в подвійне замикання на землю, що за своїми характеристиками близьке до двофазного короткого замикання [1, 2].

На повітряних лініях ОЗЗ часто відбувається при обриві проводу і падіння його на землю. При цьому виникає небезпека ураження людей і тварин електричним струмом. Особливо велику небезпеку такий вид пошкоджень становить у випадку коли повітряна лінія проходить по густонаселених районах [1].

У результаті тривалого протікання струму ОЗЗ ґрунт біля опори висихає, зростає його опір, в результаті чого збільшується небезпека ураження людей напругою кроку або напругою дотику. Якщо ОЗЗ довго не відключається, істотно підвищується ймовірність виникнення пожеж, наприклад в шафах розподільних пристроїв трансформаторних підстанцій, через виникнення високотемпературної дуги в місці ОЗЗ [4, 5].

Отримані статистичні дані говорять про те, що більшість однофазних замикань на землю припадає на мережі 10 та 35 кВ, і їх виникнення частіше за все пов'язано з пошкодженням повітряної лінії.

Аналіз методів визначення місць ОЗЗ виявив, що серед топографічних методів можливе застосування індукційного, потенціального, акустичного та електромеханічного методів. Для дистанційного визначення місця ОЗЗ при відключеній від мережі лінії найбільшого поширення набули імпульсний метод, метод петлі і метод коливального розряду. Для дистанційного визначення місця ОЗЗ без відключення ліній найбільш досліджені хвильові методи, які використовують розрядну або зарядну стадії перехідного процесу, а також методи, засновані на накладанні струмів непромислової частоти.

Запропоновано використовувати для визначення місця ОЗЗ в мережах напругою 10 та 35 кВ метод стоячих хвиль, так як його можливо застосовувати і на повітряних лініях електропередачі [3-5].

Суть методу стоячих хвиль полягає в тому, що до відключеної пошкодженої повітряної лінії приєднують джерело періодичного (синусоїдального) сигналу високої частоти. При досить високих частотах лінію електропередачі розглядають як довгу лінію, тобто як лінію з розподіленими параметрами. Напруга і струм у довгій лінії є функціями двох незалежних змінних: часу t і просторової координати x , яка визначає місце на лінії, в якому розглядається струм або напруга [6].

При синусоїдальній напрузі джерела живлення, напругу в будь-якій точці довгої лінії можна представити у вигляді суми двох доданків

$$U = U_m^+ e^{j\omega t - \gamma x} + U_m^- e^{j\omega t + \gamma x}, \quad (1)$$

де U_m^+ – комплексна амплітуда прямої хвилі напруги;

U_m^- – комплексна амплітуда зворотної хвилі напруги;

γ – постійна розповсюдження.

Якщо вважати момент часу фіксованим (наприклад, $t = 0$) і розглядати зміну миттєвого значення напруги вздовж лінії, в залежності від координати x , то кожне з доданків виразу (1) описує гармонійну хвилю напруги. Хвиля, що описується першою складовою, носить назву прямої або падаючої хвилі. Поширення хвилі характеризується постійною поширення, яку представляють у вигляді

$$\gamma = \alpha + i\beta, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт затухання;
 β – коефіцієнт фази.

Точка, фаза коливань в якій залишається постійною, переміщається зі швидкістю руху хвилі і називається фазовою швидкістю

$$v = \frac{2\pi f}{\beta}, \quad (3)$$

де f – частота змінної напруги, Гц.

Відстань між двома найближчими точками вздовж лінії

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}, \quad (4)$$

Хвиля, яка описується другим доданком в (1), називається зворотною чи відображеною. Якщо падаюча синусоїдальна хвиля затухає (спадає по амплітуді) при русі від початку лінії до кінця, то відбита хвиля затухає при переміщенні від кінця лінії до початку [1].

Досліджуючи зміну амплітуди напруги при плавному підвищенні частоти джерела, можна зафіксувати першу частоту f_1 , при якій спостерігається максимум напруги. Перший максимум спостерігається при $k = 0$. Тоді відстань до місця пошкодження (місця ОЗЗ)

$$l_k = \frac{v}{4 \cdot f_1}, \quad (5)$$

де f_1 – частота джерела досліджуваної напруги, при якій спостерігається максимум напруги (струму) на початку лінії, Гц.

Форма хвилі напруги та її положення відносно лінії не залежать від часу. Тому таку хвилю називають стоячою. Частота джерела коливань повинна бути дуже високою. Наприклад, при $v = 3000 \text{ км/с}$ та відстанню до місця пошкодження $l_k = 1 \text{ км}$ можна отримати, що частота джерела повинна бути $f_1 = 300 \text{ кГц}$, а при $l_k = 100 \text{ м}$, $f_1 = 3 \text{ МГц}$. Тому даний метод визначення місця ОЗЗ є високочастотним.

Якщо вирішувати (5) відносно f_1 , то отримаємо вираз для власної частоти лінії

$$f = \frac{v}{4 \cdot l}, \quad (6)$$

де l – довжина лінії, м.

Встановлено, що при замиканні на землю, в місці пошкодження присутній перехідний опір. Він має активний характер та позначається R_n .

При наявності перехідного опору, амплітуда струму на початку лінії буде зменшуватись.

Отримані залежності струму вздовж лінії при наявності перехідного опору в місці пошкодження лінії. Залежності при значеннях $0 \leq R_n \leq 500$ Ом представлені на рисунку 1. Згідно отриманих результатів, наявність перехідного опору R_n в місці пошкодження, впливає лише на зміну амплітудного значення струму на початку лінії [4-6].

Встановлено, що при $R_n \leq 100$ Ом похибка в визначенні відстані до місця ОЗЗ не перевищує 1 %. При збільшенні перехідного опору до 500 Ом, похибка лінійно зростає до 3,5%. Залежність похибки визначення відстані до місця пошкодження від R_n представлена на рисунку 2. Величина перехідного опору при пробі лінійного ізолятора може досягати 100–200 Ом. При падінні провуда на землю або сніг R_n може досягати декількох кОм [6].

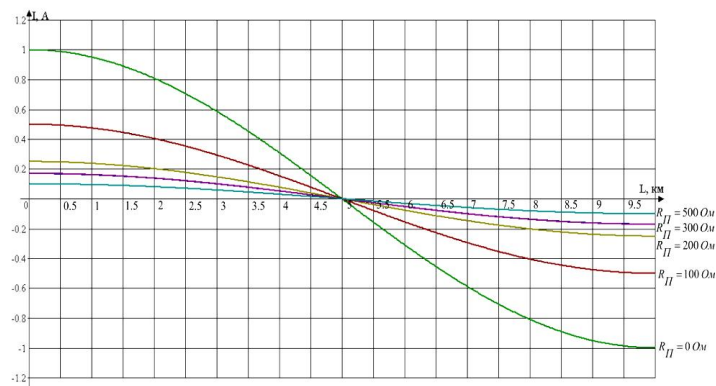


Рис. 1. Залежність розподілення струму вздовж лінії при різних значеннях R_n .

Розроблені методика і алгоритм дистанційного визначення місця пошкодження повітряної лінії методом стоячих хвиль :

1. Виконується підключення джерела синусоїдального сигналу високої частоти до одної з непошкоджених фаз лінії електропередачі.
2. Здійснюється введення вхідних даних: довжини лінії L_0 .
3. Значення довжини лінії прирівнюється до початкового значення $L_i = L_0$.
4. Приймається початкове, нульове, значення струму на початку лінії $b=0$.

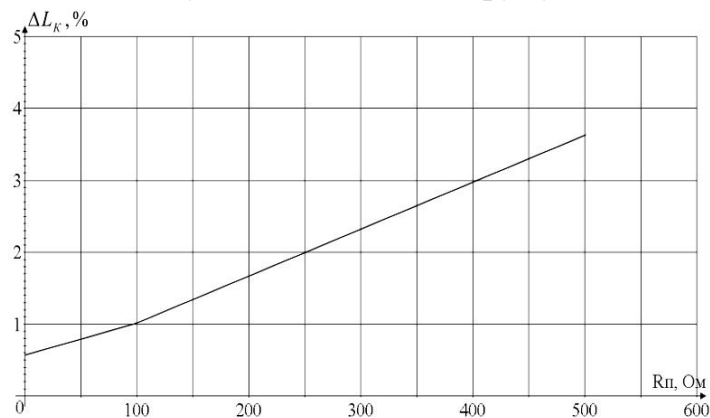


Рис. 2. Залежність похибки визначення відстані до місця пошкодження від перехідного опору R_n .

5. Виконується генерація синусоїдального сигналу.
6. Визначається значення струму в лінії при частоті f_i , $a = I_L$.
7. Виконується порівняння отриманого та заданого значення струмів в лінії $a < b$. Якщо ця умова не виконується, то цикл повинен повторитися, при цьому значення b прирівнюється до a . Довжина лінії L_i зменшується на величину ΔL .
8. Після того, як визначено максимальне значення струму в лінії та умова $a < b$ виконується, цикл на цьому завершується і останнє значення частоти $f_1 = f_i$ зберігається.
9. Для визначення відстані до місця пошкодження виконуються аналогічні вимірювання на пошкодженій фазі лінії електропередачі. Тільки при цьому враховується резонансна частота для пошкодженої ділянки $f_2 = f_i$.
10. На основі отриманих даних вимірювань виконується визначення відстані до місця пошкодження.

Висновки. 1. Виявлено, що найчастішим видом пошкодження ліній 10 та 35 кВ є однофазне замикання на землю, яке може призвести до втрат електроенергії та аварійних режимів.

2. На основі проведеного аналізу обґрунтовано використання методу стоячих хвиль для визначення місця пошкодження. Метод застосовується на повітряних лініях, має високу точність визначення місця пошкодження.

3. Визначено залежність точності визначення місця ОЗЗ методом стоячих хвиль від перехідного опору лінії в місці замикання. При зміні перехідного опору від 100 до 500 Ом, похибка визначення місця ОЗЗ становить від 1 до 3,5%

4. Застосування методу стоячих хвиль для визначення ОЗЗ в лініях 10 та 35 кВ дозволить зменшити час на пошук ОЗЗ та скоротити перерви в електропостачанні.

Список використаних джерел.

1. *Кутін В.М.* Методи та засоби пошуку пошкоджень в розподільчих мережах з повітряними лініями електропередачі напругою 6-35 кВ: монографія/*В.М. Кутін, В.В. Луцяк.* – Вінниця: ВНТУ, 2011–160 с.
2. Пат. України №84934 МПК H02G 7/16 Система сигналізації та плавки ожеледі на проводах повітряної лінії / *Л.Р. Коваленко, О.І. Коваленко, Щербакова О.І.* опубл. 11.11.2013., Бюл. № 21.- с.4.
3. *Борухман В.А.* Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6 – 750 кВ / *В.А. Борухман, А.А. Кудрявцев, А.П. Кузнецов* – 2-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1990. – 104с.
4. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи : Уч . пособие / *О . Г.Гриб , .А Светелик, Г .А .Сендерович , Д. Н.Калюжный* . Под общей редакцией *О . Г. Гриба* . – Харьков.: ХГАГХ , 2003. -146 с.

5. *Цапенко Е. Ф.* Замыкание на землю в сетях 6-35кВ/*Е. Ф. Цапенко* -М.: Энергоиздат, 1986. - 128 с.
6. Пат. Україна № 52890 МПК G01R 31/11 Спосіб визначення місця та типу пошкодження у розгалуженій повітряній мережі 6-35 кВ / *Коваленко Л.Р., Коваленко О.І., Щербакова О.І.* опубл.25.06.2014, Бюл.12.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ
ОДНОФАЗНЫХ ЗАМИКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ
В СЕТЯХ 10 И 35 кВ**

Л.Р. Коваленко, А.И. Коваленко

Аннотация - в статье проведен анализ видов повреждений, которые могут возникнуть в распределительных сетях 10 и 35 кВ. Разработаны методика и алгоритм дистанционного определения места однофазного замыкания на землю.

**IMPROVEMENT OF METHODS OF DETERMINING
THE LOCATIONS OF MONOPHASE LINE TO GROUND
FAULT IN NETWORKS 10 AND 35 kV**

L. Kovalenko, A. Kovalenko

Summary

The analysis of types of damages that can arise up in distributive networks 10 and 35 kV. Is worked out algorithm and methodology of the controlled from distance location of shorting is line to ground.

УДК 681.5.017

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ГРИБНОЇ ТЕПЛИЦІ

Кошкін Д.Л., к.т.н.

Миколаївський національний аграрний університет

Тел/факс (0512) 42–48–96

Анотація – Представлено блочно-імітаційну модель на базі математичної моделі мікроклімату грибною теплиці при керуванні температурою повітря, вологістю та концентрацією вуглекислого газу в камері вирощування. Отримано аналітичне рішення математичної моделі керування параметрами мікроклімату. Визначені показники якості процесу керування.

Ключові слова: грибна теплиця, математична модель, керування мікрокліматом

Постановка проблеми. На сьогодні існує багато робіт присвячених моделям мікроклімату теплиць. Всі ці моделі беруть в основу процес вегетації – фотосинтез [1, 2]. Відмінною особливістю грибних теплиць від традиційних являється сам процес вегетації, який проходить з виділенням тепла, води та вуглекислого газу в повітря грибниці. Дана особливість виникає в зв'язку з тим, що гриби являються аеробними мікроорганізмами, що передбачає виділення вуглекислого газу під час їх розвитку, на відміну від поглинання останнього рослинами в процесі фотосинтезу. У зв'язку з цим виникає необхідність переробки типових моделей мікроклімату теплиць, де в основі процесу вегетації взято фотосинтез.

Аналіз останніх досліджень. Питанню розробки математичних моделей об'єктів захищеного ґрунту в останні часи присвячено досить багато публікацій. В роботах Пешко М.С. [3], Семенова В.Г. [4], Токмакова Н.М. [5] наведені моделі різного ступеню деталізації, які базуються на законах збереження маси та енергії. Хоча відмінності обмінних процесів саме в грибних теплицях вимагають подальшого їх вивчення та розробки математичних моделей з врахуванням процесів керування вмістом вуглекислого газу, який виділяється грибами при вирощуванні. Таким чином, розробка математичної моделі, яка відображає взаємозв'язок параметрів мікроклімату грибною теплиці для синтезу систем керування є досить актуальною задачею.

Завдання дослідження. Представлене дослідження ставить завдання розроблення математичної моделі грибної теплиці при керуванні температурою і вологістю повітря, та концентрацією вуглекислого газу в повітрі камери вирощування в безперервному часі. Рішення розробленої математичної моделі та визначення показників якості процесу керування.

Основна частина. Розглянувши різні варіанти математичних моделей мікроклімату грибних теплиць, пропонується система рівнянь, що приблизно описує процеси повітря-, масо- та теплообміну грибниці:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho V C \frac{dT(t)}{dt} = G_{\text{тепл}} C_{\text{тепл}} (t_2 - t_0) - \sum kF(t_6 - t_3) - L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}} (t_6 - t_3); \\ \rho V \frac{dX(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} X_{\text{свіж}} - L_{\text{відх}} X_{\text{відх}} + L_{\text{пар}}; \\ \rho V \frac{dC_{\text{CO}_2}(t)}{dt} = L_{\text{свіж}} C_{\text{CO}_2\text{свіж}} - L_{\text{відх}} C_{\text{CO}_2\text{відх}} + V_{\text{CO}_2}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V – об'єм теплиці, м^3 ;

C – питома теплоємність повітря, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

$T(t)$ – температура повітря всередині теплиці, $^\circ\text{C}$;

$G_{\text{тепл}}$ – витрати теплоносія, $\text{кг}/\text{с}$;

$C_{\text{тепл}}$ – питома теплоємність теплоносія, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

t_2, t_0 – температура теплоносія на вході і виході теплообмінника, $^\circ\text{C}$;

F – площа огорожень, м^2 ;

t_6, t_3 – температура повітря внутрішня і зовнішня, $^\circ\text{C}$;

$L_{\text{свіж}}$ – витрата свіжого повітря для вентиляції приміщення теплиці, $\text{м}^3/\text{с}$;

$X(t)$ – абсолютна вологість повітря у теплиці, $\text{л}/\text{м}^3$;

$L_{\text{свіж}}$ – витрата свіжого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$X_{\text{свіж}}$ – абсолютна вологість свіжого повітря, $\text{л}/\text{м}^3$;

$L_{\text{відх}}$ – витрата відходячого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; $X_{\text{відх}}$ – абсолютна вологість відходячого повітря, $\text{л}/\text{м}^3$;

$L_{\text{пар}}$ – витрата пари, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{CO}_2}(t)$ – абсолютний вміст CO_2 в атмосфері теплиці, $\text{л}/\text{м}^3$;

$C_{\text{CO}_2\text{свіж}}$ – абсолютний вміст CO_2 в атмосферному повітрі, $\text{л}/\text{м}^3$;

$C_{\text{CO}_2\text{відх}}$ – абсолютний вміст CO_2 у відходячому повітрі із теплиці, $\text{л}/\text{м}^3$;

V_{CO_2} – виділення CO_2 в повітря теплиці в процесі окислення грибами повітря, м³/год з одного кг компосту.

У системі рівнянь (1) змінними стану є температура і абсолютна вологість повітря, та абсолютний вміст CO_2 в атмосфері грибниці T , X , C_{CO_2} , а керувальними діями – витрата теплоносія $G_{менл}$, витрата пари $L_{нар}$, а також витрата відходячого повітря $L_{відх}$.

Аналітичний розв'язок даної моделі наведений в рівняннях (2-4):

$$T(t) = \frac{\left[G_{менл} C_{менл} (t_2 - t_0) + t_3 \left(\sum kF + L_{свіж} C_{нов} \right) \right] \cdot \exp\left(\frac{\sum kF + L_{свіж} C_{нов}}{\rho V C} t \right) + T_0}{\left(\sum kF + L_{свіж} C_{нов} \right) \cdot \exp\left(\frac{\sum kF + L_{свіж} C_{нов}}{\rho V C} t \right)}; \quad (2)$$

$$X(t) = \frac{\left(L_{свіж} X_{свіж} + L_{нар} \right) \cdot \exp\left(\frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) + X_0}{\exp\left(\frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) \cdot L_{відх}}; \quad (3)$$

$$C_{CO_2}(t) = \frac{\left(L_{свіж} C_{CO_2свіж} + V_{CO_2} \right) \cdot \exp\left(\frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) + C_{CO_20}}{\exp\left(\frac{L_{відх}}{\rho V} t \right) \cdot L_{відх}}. \quad (4)$$

На базі системи рівнянь (1) розроблено блочно-імітаційну модель в середовищі Matlab/Simulink та проведено розрахунок. На рис. 1 представлена модель підсистеми каналу моделювання рівняння теплового балансу. Дві інші підсистеми (вологості та вмісту CO_2) мають подібну структуру.

Розрахункові дані для реалізації математичної моделі мікроклімату шампінйонниці, на базі реального об'єкта, були прийняті наступними: густина повітря $\rho = 1,225$ кг/м³; об'єм повітря в приміщенні $V = 400$ м³; питома теплоємність повітря $C = 1,005$ Дж/°С кг; температура повітря всередині теплиці $T_{теплиці} = 21$ °С; витрата теплоносія (вода) $G_{менл} = 0,074$ кг/с; питома теплоємність теплоносія $C_{менл} = 4200$ Дж/°С·кг; температура на вході теплообмінника $t_2 = 95$ °С; температура на виході теплообмінника $t_0 = 70$ °С; коефіцієнт теплопередачі огорожуючої конструкції $k = 6$ Дж/(м²·°С); площа огорожень $F = 100$ м²; зовнішня температура повітря (середньодобова в період опалення прийнята за даними архіву метеоспостережень

<http://www.meteorprog.ua>) $t_3 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$; витрата свіжого повітря для вентиляції приміщення $L_{\text{свіж}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$; абсолютна вологість повітря в атмосфері теплиці $X_{\text{теплиці}} = 0,0171 \text{ л/м}^3$; абсолютна вологість свіжого повітря $X_{\text{свіж}} = 0,0041 \text{ л/м}^3$; витрата вихідного повітря $L_{\text{вих}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$; абсолютна вологість вихідного повітря $X_{\text{вих}} = 0,0171 \text{ л/м}^3$; витрата пари $L_{\text{пар}} = 0,014 \text{ кг/с}$; абсолютний вміст CO_2 в атмосфері теплиці $C_{\text{CO}_2\text{теплиці}} = 1,1 \text{ л/м}^3$; абсолютний вміст CO_2 в атмосфері $C_{\text{CO}_2\text{свіж}} = 0,38 \text{ л/м}^3$; абсолютний вміст CO_2 у вихідному з теплиці повітрі $C_{\text{CO}_2\text{вих}} = 1,2 \text{ л/м}^3$; виділення CO_2 з 1 кг компосту в процесі окислення грибами повітря $V_{\text{CO}_2} = 0,1625 \text{ м}^3/\text{год}$; початкова температура $T_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; початкова вологість $X_0 = 0,013 \text{ л/м}^3$; початковий вміст CO_2 $C_{\text{CO}_2,0} = 0,6 \text{ л/м}^3$. Графіки зміни температури, вологості та рівня вуглекислого газу в шампінйонниці представлені на рис. 2.

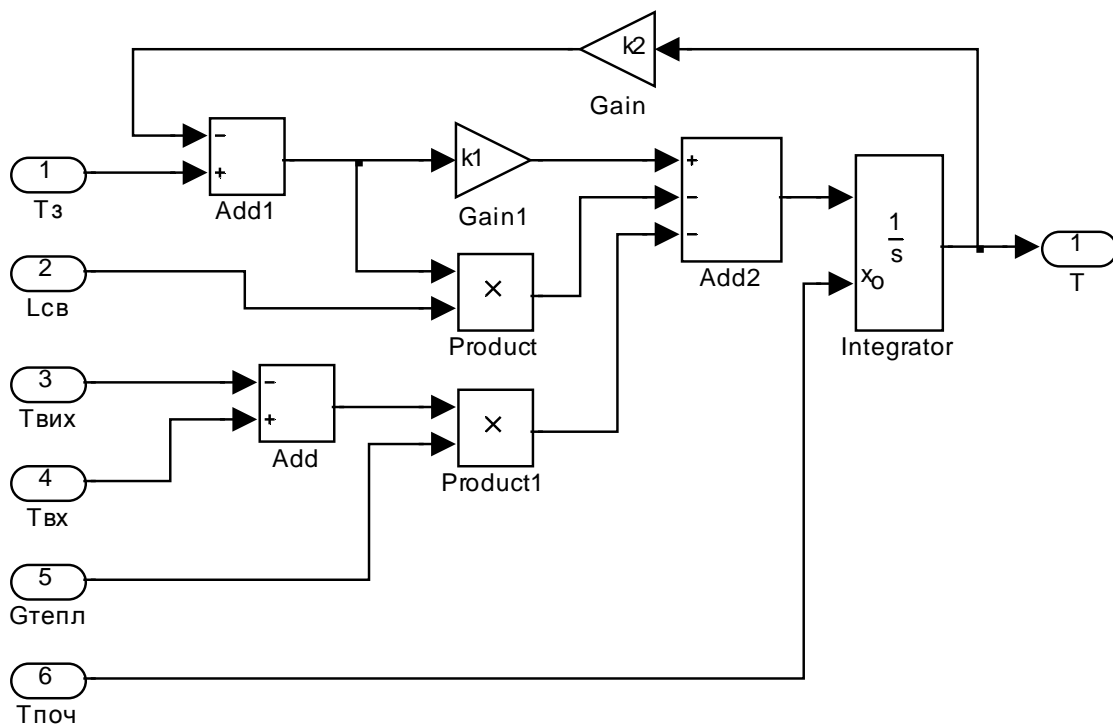


Рис. 1. Блочно-імітаційна модель рівняння теплового балансу.

Криві відображають перехідний процес технологічних параметрів мікроклімату при ступінчастій зміні керувальних сигналів обігріву (а), зволоження (б) та вентиляції (в).

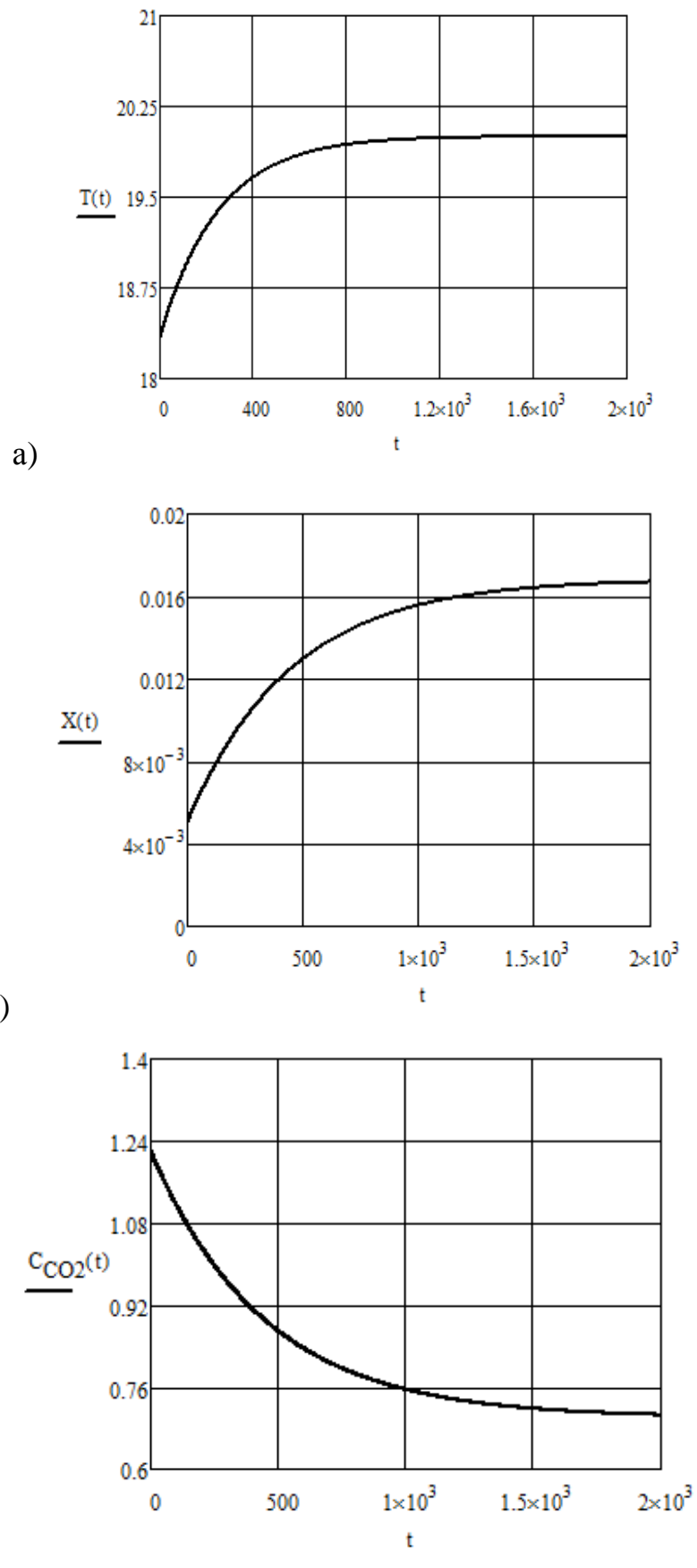


Рис. 2. Графіки зміни технологічних параметрів мікроклімату в шампінйонниці при ступінчастій зміні керувальних сигналів.

Як можна бачити з графіків, отримані перехідні процеси є аперіодичними залежностями, що дозволяє використовувати в моделях систем керування прості аперіодичні ланки першого порядку. Крім того, нескладно визначити їх параметри, як графічно, так і з аналітичного розв'язку (2). Постійні часу можуть бути обчислені за наступними залежностями:

– для ланки керування температурою

$$T_{\text{темп}} = \frac{\sum kF + L_{\text{свіж}} C_{\text{нов}}}{\rho VC}; \quad (5)$$

– для ланок керування вологістю та вмістом CO_2

$$T_{\text{вол}} = T_{\text{CO}_2} = \frac{L_{\text{відх}}}{\rho V}. \quad (6)$$

Висновки. Отримана математична модель мікроклімату в шампінйонниці, яка дозволяє враховувати канал регулювання вмісту вуглекислого газу в теплиці. Проведений аналітичний розв'язок рівнянь моделі дозволив виявити аперіодичний характер перехідних процесів, при керуванні температурою, вологістю та вмістом CO_2 . Отримані залежності для розрахунку постійних часу аперіодичних ланок, які можна використовувати в подальших дослідженнях при проектуванні та моделюванні систем автоматизованого керування параметрів мікроклімату шампінйонниць.

Список використаних джерел

1. *Войнова Н.Ф.* Методы и системы адаптивного управления температурным режимом теплиц: Автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: РГАЗУ, 2007. — 22 с.
2. *Кошкін Д.Л.* Динамічна модель керування мікрокліматом теплиці / *Д.Л. Кошкін, Д.В. Бабенко* // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — 2011. — №3(60). — С. 160—164.
3. *Пешко М.С.* Раскрытая математическая модель микроклимата грибной теплицы / *М.С. Пешко* // Молодой ученый. — 2011. — №9. — С. 42—48.
4. *Семенов В.Г.* Математическая модель микроклимата теплицы / *В.Г. Семенов, Е.Г. Крушель* // Известия ВолгГТУ. — 2009. — №6. — С. 32—35.
5. *Токмаков Н.М.* Математическая модель системы управления микроклиматом ангарных теплиц / *Н.М. Токмаков, В.С. Грудинин* // Журнал «Гавриш». — М.: НИИОЗГ, 2008. — №3. — С. 28—32.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ГРИБНОЙ ТЕПЛИЦЫ

Д.Л. Кошкин

Аннотация – представлена блочно-имитационная модель на базе математической модели микроклимата грибной теплицы при управлении температурой воздуха, влажностью и концентрацией углекислого газа в камере выращивания. Получено аналитическое решение математической модели управления параметрами микроклимата. Определены показатели качества процесса управления.

SIMULATION MODEL OF MUSHROOM GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETER CONTROL

D. Koshkin

Summary

The simulation model of air temperature, humidity and carbon dioxide concentration for mushroom greenhouse microclimate control was presented. The analytical solution of mathematical model equations was derived. The parameters of control process quality were defined.

УДК 621.313.333.2:621.389

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Курашкин С.Ф., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Телефон +38(0619)42-32-63

Аннотация – работа посвящена разработке устройства диагностирования сопротивления изоляции асинхронных электродвигателей. В устройстве реализована возможность поддержания сопротивления изоляции в пределах нормируемого значения с помощью импульсов тока повышенной частоты. Сушка изоляции производится во время технологической паузы оборудования, при отключенном электродвигателе.

Ключевые слова: сопротивление изоляции, ток утечки, надежность электродвигателя.

Постановка проблемы. В качестве электропривода большинства рабочих машин, как правило, используются асинхронные электродвигатели с к.з. ротором. Поэтому надежность технологического оборудования в целом зависит от надежности электродвигателя. Надежность представляет собой важный технико-экономический показатель качества электрической машины и определяет ее свойство безотказно выполнять возложенные на нее функции с неизменными техническими характеристиками на протяжении заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации.

Для обеспечения надежности изделия при его изготовлении закладывается определенный запас прочности, чем и гарантируется долговечность его работы. Асинхронный электродвигатель имеет достаточно высокую надежность, однако, из-за специфических условий эксплуатации, режимов работы, скрытых дефектов при изготовлении случается выход их из строя. Отказ электродвигателя приносит ощутимый материальный убыток.

Согласно [1] ежегодно в агропромышленном комплексе выходит из строя до 20-25% эксплуатируемых электродвигателей. Наиболее подвержены выходу из строя те электродвигатели, которые работают в условиях повышенной влажности. Влага проникает в мельчайшие поры изоляционной конструкции электрической машины, снижая ее

сопротивление и электрическую прочность. Это создает предпосылки для появления токов утечки, дальнейшего разрушения изоляции и в конечном итоге выхода электродвигателя из строя. Согласно нормативам [2], сопротивление изоляции электрических машин в электрической сети до 1000 В не должно снижаться менее 500 кОм при температуре 10-30 °С.

Таким образом, существует важная научно-техническая проблема повышения надежности асинхронных электродвигателей и снижения выхода их из строя из-за увлажнения изоляции.

Анализ последних исследований. В условиях производства регламентируется проверка сопротивления изоляции электродвигателей напряжением 380 В с помощью мегомметра на 500 В. Эта операция производится во время капитального или текущего ремонта, который стараются производить во время ремонта приводных механизмов [2]. Такой подход не всегда целесообразен, особенно если двигатели эксплуатируются во влажных и сырых помещениях. Важно знать текущее значение сопротивления изоляции и иметь возможность заблаговременно повлиять на ситуацию с ухудшением сопротивления изоляции.

Отчасти эту задачу решают различные устройства защитного отключения (УЗО), однако, как правило, они устанавливаются на вводе магистральной линии и реагируют на появление токов утечки через корпусную изоляцию в целом всего участка, а не конкретного двигателя.

Устройство автоматической сушки обмоток электродвигателя, описанное в [3] позволяет не только контролировать сопротивление утечки, но и осуществляет сушку изоляции импульсами токов высокой частоты, протекающих по обмотке статора. В результате теплового действия электрического тока происходит увеличение температуры обмотки статора и создание избыточного давления внутри электродвигателя, что препятствует проникновению влаги в изоляцию.

Формулировка цели статьи. Заключается в разработке устройства на современной элементной базе, позволяющего диагностировать состояние изоляции электродвигателя во время технологической паузы, а при ее ухудшении – поддерживать сопротивление не ниже 500 кОм путем подсушивания.

Основные материалы исследования (основная часть). Принципиальная электрическая схема устройства диагностирования сопротивления изоляции асинхронного электродвигателя приведена на рис. 1.

После включения электродвигателя $M1$, нормально замкнутый контакт магнитного пускателя $KM1$ подает питание на первичную обмотку трансформатора питания $TV1$. Трансформатор имеет две вторичные обмотки – II и III, подключенные к соответствующим диодным мостам $VD1$ и $VD2$.

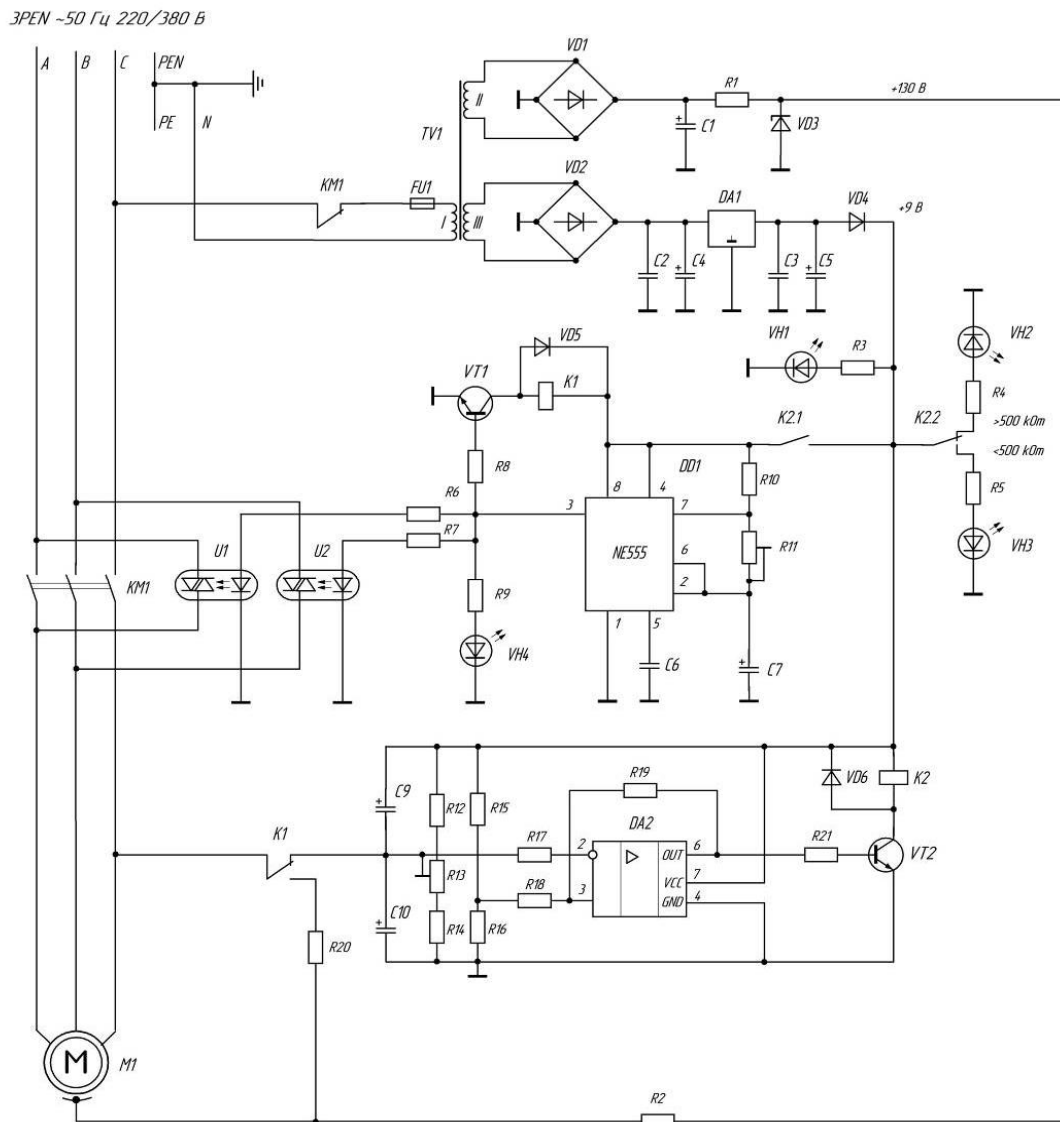


Рис. 1. Принципиальная схема устройства диагностирования.

С диодного моста $VD2$ напряжение подается на интегральный стабилизатор $DA1$. С диодного моста $VD1$ напряжение подается на стабилитрон $VD3$, который стабилизирует его на уровне 130 В – это напряжение является испытательным для проверки сопротивления изоляции и подается на корпус электродвигателя.

Вследствие протекания тока утечки через корпусную изоляцию под действием испытательного напряжения возникает падение напряжения на делителе $R12$ - $R14$. Это напряжение через нормально замкнутый контакт $K1$ подается на инвертирующий вход 2 триггера Шмитта $DA2$.

Пока сопротивление изоляции не превышает установленной нормы, напряжение на инвертирующем входе триггера больше, чем на неинвертирующем, транзистор $VT2$ закрыт и обмотка реле $K2$ обес-

точена. Нормально замкнутый контакт $K2.2$ подает питание на светодиод $VH3$, который сигнализирует о сопротивлении изоляции выше 500 кОм. С помощью резистора $R13$ происходит регулирования порога срабатывания триггера.

Если сопротивление изоляции опускается ниже нормы, уменьшается напряжение на инвертирующем входе триггера $DA2$ и он переключается в противоположное состояние, на базе транзистора $VT2$ появляется положительное напряжение, которое его открывает. Реле $K2$ срабатывает и его контакт $K2.2$ подключает светодиод $VH2$, который сигнализирует о снижении сопротивления изоляции ниже 500 кОм.

Также замыкается контакт $K2.1$ и подает питание на генератор прямоугольных импульсов, выполненный на таймере $DD1$ серии 555. Частота следования импульсов регулируется резистором $R11$. В общем случае длительность импульса t_u и паузы t_n определяется соотношениями:

$$t_u = 0,693 \cdot (R_{10} + R_{11}) \cdot C_7; \quad (1)$$

$$t_n = 0,693 \cdot R_{11} \cdot C_7. \quad (2)$$

С выхода 3 таймера $DD1$ импульсы подаются на светодиоды оптопар $U1$, $U2$, что вызывает срабатывание их симисторов, включенных параллельно силовым контактам магнитного пускателя $KM1$. Это, в свою очередь, приводит к кратковременной подаче фазного напряжения на две последовательно включенные обмотки электродвигателя. Для вращения ротора двигателя этого недостаточно, но протекающий по обмоткам ток подогревает и сушит их.

Одновременно со срабатыванием оптосимисторов $U1$, $U2$ импульсы от таймера $DD1$ подаются на базу биполярного транзистора $VT1$, который открывается и подает питание на катушку реле $K1$. Нормально замкнутый контакт реле $K1$ отключает триггер Шмитта $DA2$ от электродвигателя на момент подачи высокого напряжения. Резистор $R20$ предотвращает ложное срабатывание триггера Шмитта, имитируя пониженное до 510 кОм сопротивление изоляции. Конденсаторы $C9$, $C10$ устраняют скачки напряжения на входе триггера при переключении из режима сушки в режим измерения и одновременно защищают вход триггера от помех.

В паузах между импульсами, когда реле $K1$ обесточено, а оптосимисторы $U1$, $U2$ закрыты, осуществляется контроль сопротивления изоляции и если оно пришло в норму, триггер Шмитта на операционном усилителе $DA1$ обесточит реле $K2$ и сушка прекратится. Чередование сушки и контроля изоляции с точки зрения энергозатрат гораздо эффективнее непрерывной сушки.

Полупроводниковые диоды $VD5$, $VD6$ защищают транзисторы $VT1$, $VT2$ от э.д.с. самоиндукции, которые наводятся в катушках реле $K1$, $K2$ во время их срабатывания.

Светодиод *VH1* информирует о наличии напряжения питания, а светодиод *VH4* – о работе генератора импульсов.

Выводы. Устройство позволяет повысить эксплуатационную надежность асинхронных электродвигателей за счет поддержания сопротивления изоляции в пределах норм, установленных ПУЭ. Это позволит увеличить ресурс безаварийной работы электродвигателей в производстве с условиями окружающей среды, при которых возможно проникновение влаги в их изоляционную конструкцию.

Список использованных источников.

1. *Овчаров С.В.* Ресурсосберегающие эксплуатационные режимы силового электрооборудования / *С.В. Овчаров.* – К.: Издательство ТОВ «Аграр Медиа Груп», 2012. – 294 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Харьков: Издательство «Индустрия», 2012. – 352 с.
3. *Пахомов А.* Устройство автоматической сушки обмоток электродвигателя / *А. Пахомов* // Журнал Радио. – 2002, №6. – С. 32 – 33.

ПРИСТРІЙ ДІАГНОСТУВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Курашкін С.Ф.

Анотація – робота присвячена розробці пристрою діагностування опору ізоляції асинхронних електродвигунів. У пристрої реалізована можливість підтримки опору ізоляції в межах нормованого значення за допомогою імпульсів струму підвищеної частоти. Сушка ізоляції відбувається під час технологічної паузи обладнання, при відключеному електродвигуні.

FUNCTIONAL DIAGNOSTIC MODE OF THE WORKING THE GROUP OF THE INDUCTION ELECTRIC MOTORS

S. Kurashkin

Summary

Work is dedicated to device development for diagnostic the resistance isolation of asynchronous electric motors. The possibility of maintenance of resistance isolation is realized in a device within the limits of the rationed value by the impulses of current of high frequency. Drying of isolation is produced during the technological pause of equipment, at a power-off electric motor.

УДК 662.756.3

АНАЛІЗ ВИДІВ БІОПАЛИВ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Кушлик Р.Р., аспірант*

Таврійський державний агротехнічний університет

Тел.: (0619)42-23-41

Анотація – в роботі проведено аналіз різних видів біопалив, які застосовуються в двигунах внутрішнього згорання сільськогосподарської техніки, а також проаналізовано суміші дизельних палив з біопаливом і методи їх обробки з метою покращення фізико-хімічних і економічних показників палива.

Ключові слова: біопаливо, дизельне паливо, змішані палива, аналіз, ріпакова олія, двигун внутрішнього згорання.

Постановка проблеми. Збільшення потреби в продукції сільськогосподарства вимагає подальшого розширення енергоспоживання в аграрному виробництві. Одним із шляхів вирішення даної проблеми в даний час є пошук і впровадження альтернативних палив з відновлювальних джерел енергії. Встановлено, що найкращим замінником дизельного палива, що одержуються з біомаси, є палива, виготовлені на основі рослинних олій - біопалива.

Їх застосування в дизелях дозволяє:

- повністю або частково замінити палива з вичерпних природних ресурсів;
- значно зменшити негативний вплив енергосилових установок на навколишнє середовище;
- використовувати вже існуючий парк двигунів без істотних змін їх конструкції;
- створити енергоавтономне сільськогосподарське виробництво.

При цьому розширення посівів олійних культур вирішує проблему збалансованості кормових ресурсів тваринництва по білку, оскільки при отриманні рослинних олій продуктами переробки насіння рослин є також цінні кормові білкові добавки.

Для ефективного використання палив на основі рослинних олій в дизелі необхідно проаналізувати існуючі види біопалив, які використовують для сільськогосподарської техніки і провести дослідження з

визначення впливу фізико-хімічних властивостей біопалива на параметри паливоподачі, зміну потужності та економічні показники двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

Аналіз останніх досліджень. Проведено аналіз досвіду використання палив для дизелів з рослинних олій. Сьогодні відомі два напрями застосування біопалива з рослинних олій. Перше пов'язано з безпосереднім використанням біопалива в двигунах внутрішнього згорання, як палива без додаткової обробки, друге - з додаванням біопалива в дизельне паливо.

На підставі результатів досліджень, проведених МГАУ ім. В.П. Горячкина, Російському університеті дружби народів (РУДН), ГТУ «МАДИ», ВІМ, НПП «Агродизель», НТУ «Харківський політехнічний інститут, ТДАТУ, а також робіт (Уханов А.П., Топілін Г.Є., Осетров О.О., Дідур В.А., Коршунов Д.А., Ефанов А.А., Фадеев С.А., Лиханов В.А., Иванова В.А., Шустер А.Ю., Малахов К.С., Ліскутина А.П., Санніков Д.А., Вальєхо П.Г., Ліньков О.Ю., Савельєва Г.С., Семенова В.Г., Слепцова О.Н., Кочетков М.Н., Фомін В.Н., Киреева Н.С., Коваленко В.П., Davis Ch.H., Langley K., Schlick M і інших дослідників) встановлено, що до чинників ефективності використання біопалива в АПК відносяться відновлюваність, екологічність, економія дизельного палива, застосування палива без конструктивних змін двигуна, підвищення ресурсу двигуна. Все це дає значну економію при внутрігосподарчому способі виробництва.

Недоліками, стримуючими використання біопалива, є підвищена в'язкість, коксованість, розшарування на вихідні складові, а також втрата потужності, підвищена витрата палива дизельним двигуном.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). В статті поставлена задача провести аналіз різних видів біопалив, які застосовуються в ДВЗ сільськогосподарської техніки як в Україні так і в країнах Європи та світу.

Основні матеріали дослідження (основна частина). На сучасному етапі розвитку науки і техніки ДВЗ залишаються основним типом приводу для більшості мобільних і стаціонарних установок. Цим пояснюються високі темпи використання енергоресурсів, в балансі споживання яких провідну роль займають нафта і нафтопродукти. Нафта є непоновлюваним природним ресурсом, тому необхідний перехід до її більш раціонального використання.

Перехід на альтернативні палива виправданий, якщо вони можуть знизити негативний екологічний вплив двигуна на навколишнє середовище і розширити сировинну базу палив. При оцінці ефективності використання нового палива необхідний комплексний підхід до його техніко-економічних показників. Необхідно враховувати не тільки показники його безпосереднього застосування в двигуні, але і весь ком-

плекс заходів щодо створення інфраструктури з його виробництва, сировинної бази, транспортуванні і т.п.

За результатами аналізу було встановлено, що на сьогоднішній день в якості біопалива використовується ріпакова, кукурудзяна, бавовняна, гірчична, пальмова, соєва, арахісова, соняшникова олія, олія із рецини та льону, тваринних і рибних жирів.

При роботі ДВЗ на біопаливі із рослинної олії необхідна модернізація паливної системи двигуна тому що питомі витрати палива при роботі двигуна на номінальній потужності складають більше 60%.

В зв'язку з цим при переході ДВЗ на біопаливо з рослинної олії рекомендуються провести наступні операції:

- збільшення кута випередження вприску палива на 2-3°;
- застосувати спеціальні конструкції розпилювачів форсунок із збільшеним на 10-22% ефективним прохідним перерізом;
- застосувати теплообмінник для підігріву ріпакової олії в системі живлення до температури 40-45 °С;
- застосувати підігрів форсунок до температури $t=120^{\circ}\text{C}$;
- збільшити тиск подачі палива в паливній системі до 20 МПа;
- встановити ручний або автоматичний перемикач з дизельного палива на біопаливо [1].

Проведення даних заходів дає можливість скоротити розрив у показниках економічності роботи двигуна на дизпаливі та ріпаковій олії з 8 до 3% - по індикаторному ККД, та з 60 до 45 г/кВт·год за питомою індикаторною витратою палива.

Встановлено, що ріпакова олія є найбільш перспективним компонентом суміші мінерально-рослинного палива автотракторних дизелів за своїми фізико-хімічними властивостями [2].

Огляд існуючих моделей процесів сумішоутворення та згоряння показав, що різні дослідники вивчали процеси утворення сумішей в різних пропорціях. Для дослідження обирались наступні палива: дизельне паливо (ДП) по СТУ 3868-99; суміш дизельного палива (25 % об.) і ріпакової олії (75% об.); суміш ДП (50 % об.) і РО (50 % об.); суміш ДП (75 % об.) і РО (25 % об.); суміш ДП (90%) і РО (10%) [3,4].

Найбільш прийнятним з екологічної і економічної точок зору є використання суміші біопалива і дизельного пального в пропорції 1:1. Проте в основному дослідники сходяться на ефективній роботі ДВЗ на сумішах 80% ДП і 20% РО. Найбільш раціональним для застосування в весняно-зимовий період суміші ріпакової олії і дизельного пального є суміш (70%РО+30%ДП), але перед використанням її необхідно нагріти до температури 65-70°С. Рекомендується в теплий час пори року в ДВЗ заливати суміш 70% РО і 30% ДП, а при температурах нижче 0°С – 25% РО і 75% ДП. Позитивні результати були досягнені при ви-

користанні багатокomпонентної суміші, до якої входило 70% ДТ, 20% РО и 10% АИ-80 [5,6,7].

Виконані порівняльні моторні випробування роботи повнометражного дизельного двигуна на товарному дизельному паливі і біодімі за параметрами робочого циклу, потужносними, економічними та екологічними показниками. Встановлено незначне зменшення ефективної потужності дизеля на номінальному режимі в середньому від 0,8 до 3,1% при роботі на біодімі (залежно від його виду) пов'язане зі зниженням теплоти його згорання. Встановлено, що в порівнянні з роботою дизеля на товарному нафтовому паливі перехід на біодіт призводить до збільшення витрати палива на 1,8%, питомої ефективної витрати палива - на 2,5%, ефективна потужність знижується на 0,8%, а димність відпрацьованих газів зменшується на 8,4% [7].

Дані дослідження показують істотне поліпшення показників дизеля при його роботі на сумішевих паливах.

Важливим фактором застосування біопалива в ДВЗ є підготовка його до спалюванням. В даний час існують два напрямки для перемішування біопалива перед його спалюванням: 1- в резервуарах, 2- перемішування безпосередньо в пристроях паливної апаратури ДВЗ.

Головним недоліком практично всіх існуючих технологій виробництва біопалива є використання ємнісних апаратів з перемішуючими пристроями, у яких неможлива суттєва інтенсифікація тепломасообмінних процесів. Для ефективної роботи автотракторних дизелів, які працюють на біопаливі розроблені механічні пристрої для отримання біопалива, які забезпечують підтримку необхідного складу суміші при заправці трактора. Прикладом таких апаратів є роторно-пульсаційні апарати в яких реалізується комплекс факторів впливу на оброблюване середовище, гідродинамічні змішувачі, диспергатори, апарати гідротермічного подрібнення рідини в вихровому шарі, імпульсні багатфакторні роторні апарати, якірні мішалки, струйні змішувачі [8].

Для активації молекул метанолу та триацилгліцеридів рослинної олії пропонується використовувати біореактор, реакційний обсяг якого заповнений феромагнітними частинками, які вчиняють під дією зовнішнього обертового електромагнітного поля складні імпульсно-коливальні рухи. Обертове електромагнітне поле не тільки приводить в рух феромагнітні частинки, що перемішують реакційну масу, але й чинить додатковий вплив на реагенти. Ефективність перемішування призводить до зміни параметрів масопередачі в бік її інтенсифікації, вплив електромагнітного поля - до різкого підвищення енергії активації вихідних сполук і збільшенню швидкості хімічної реакції [9].

До систем, які встановлюються безпосередньо в паливну апаратуру можна віднести заміну розпилювачів на більш ефективні, установку пристроїв, які змінюють тиск впрыску палива, установку в па-

ливну систему ультразвукового магнітострикційного приладу для обробки сумішевого палива, пристроїв, дія яких заснована на впливу електромагнітного поля [9].

Проте основними недоліками вище перерахованих пристроїв є: малий термін зберігання приготовленого біопалива, розслоювання палива, висока температура помутніння (уже при температурі мінус 6⁰С в біодизелі з'являються кристалики льоду, а при температурі мінус 10⁰С вони досягають таких розмірів, що забиваються паливні фільтри при цьому утруднений запуск ДВС, відносно низька теплота згорання, під впливом сумішевого палива гумові елементи паливної апаратури і двигуна (шланги, прокладки) руйнуються значно швидше, підвищена наявність гліцерину в паливі в процесі згорання палива утворює нагар і сажа. Тож фільтри і моторне масло необхідно замінювати частіше.

Висновки. Найважливішими стадіями, від яких безпосередньо залежить якість кінцевого продукту, є процеси перемішування, метанолиза і рівень однорідності (гомогенізації), досягнутий при змішуванні товарного дизельного і біодизельного палива.

Науковцями експериментально встановлено, що для інтенсифікації процесу отримання біодизельного палива тільки кавітаційного і термічного впливу на рослинні олії і метанол недостатньо.

Необхідний подальший пошук ефективних технологій отримання якісного біодизельного палива, подальший розвиток нових конструкцій біореакторів, в яких інтенсифікація процесу досягається за рахунок багатofакторного впливу на реагенти зовнішніх силових полів різної фізичної природи. Безсумнівний інтерес у цьому плані представляють технічні рішення, спрямовані на створення біореакторів з механічним, кавітаційним, електричним, електромагнітним впливом.

Список використаних джерел

1. *Шашев А.В.* Совершенствование рабочего процесса дизеля с объемно-пленочным смесеобразованием при использовании в качестве топлива рапсового масла: Дис. канд. тех. наук: 05.04.02 / *А.В. Шашев*, Барнаул, 2008 – 135 с.

2. *Железна Т.А.* Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси. Частина 2. / *Т.А. Железна* // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004.- №3. – С 3-8.

3. *Шеховцов А.Ф.* Экспериментальное исследование автотракторного дизеля СМД-17Н при его работе на рапсовом масле и его смесях с дизельным топливом / *А.Ф. Шеховцов, А.П. Марченко, А.Ф. Минак, О.Ю. Линьков* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ „ХПІ”, 2001. – № 2. – С.119-123.

4. *Девянин С.Н.* Использование смесевых биотоплив в дизелях / *С.Н. Девянин, В.А. Марков, Д.А. Коршунов* // Сборник научных трудов

по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - С. 63-68.

5. *Громаков, А.В.* Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей / *А.В. Громаков* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – С. 24-25.

6. *Марков В.А.* Работа транспортного дизеля на многокомпонентных топливах/ *В.А.Марков, А.Ю Шустер, С.Н Девянин* // Автомобильная промышленность. 2010. № 4. - С. 26-34.

7. *Лискутина А.П.* Улучшение качества и экологических свойств дизельного топлива за счет использования биологического компонента: Дис. канд. тех. наук: 05.20.01 и 05.20.03 / *А.П. Лискутина*, Мичуринск-Наукоград РФ, 2006 – 136 с.

8. Пат. 82797 Российская Федерация, МПК F 04 F 5/54. Гидравлический смеситель / *Богданович В.П., Громаков А.В., Камбулов С.И., и др.*; заявитель и патентообладатель ВНИПТИМЭСХ. – №2008145542/22; заявл. 18.11.2008, опубл. 2009, Бюл. №13.

9. *Фадеев С.А.* Улучшение показателей тракторных двигателей при работе на биотопливе обработанном ультразвуком: Дис. канд. тех. наук: 05.20.03 / *С.А.Фадеев*, Саратов, 2011 – 102 с.

АНАЛИЗ ВИДОВ БИОТОПЛИВА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Кушлык Р.Р.

Аннотация - в работе проведен анализ различных видов биотоплива, которые применяются в двигателях внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники, а также проанализированы смеси дизельных топлив с биотопливом и методы их обработки с целью улучшения физико-химических и экономических показателей топлива.

ANALYSIS OF BIOFUELS FOR AGRICULTURAL MACHINERY

R. Kushlyk

Summary

The authors conducted analysis of different kinds of biofuel, which are used in internal combustion engines of agricultural machinery. They also analyzed the mixtures of diesel fuel and biofuels, as well as the methods of their processing in order to improve physical, chemical and economic indicators of the fuel.

УДК 621.396

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ИХ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Лисиченко Р. Н., аспирант*,
Черемисин Н. М., к.т.н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

Тел.: (057) 712-34-32

Аннотация - в результате проведенных теоретических исследований предложена методика расчета синхронизатора частоты возбудителя и систем фазовой синхронизации инверторов.

Ключевые слова: инвертор напряжения, спектральные характеристики инвертора, преобразователи частоты, фазовый детектор.

Постановка проблемы. В последнее время в АПК увеличилось количество рабочих машин и механизмов, оснащенных регулируемым электроприводом. Регулирование частоты вращения реализуется в зависимости от изменения контрольных параметров технологического процесса посредством применения преобразователя частоты (ПЧ) в цепи питания асинхронного электродвигателя [1,2].

Основным элементом ПЧ является инвертор напряжения, который имеет сложную конструкцию и представляет для электрической сети нелинейным потребителем, что требует повышенного внимания на проблему качества электроэнергии в сети, т.к. генерирует высшие гармоники. Причиной появления высших гармоник являются полупроводниковые элементы (диоды, транзисторы, тиристоры, др.), которые входят в состав электрических схем инвертора. Поэтому необходимо усовершенствовать схемные решения инверторов напряжения.

Анализ последних исследований. Проведенный в работе анализ показал, что в известных работах, посвященных анализу и синтезу систем фазовой синхронизации инверторов, основные элементы данных систем, в частности фазовые детекторы, усилители обратной связи и управляющие элементы, считаются обычно идеальными [3,4]. Например, идеализированная модель фазового детектора представляется обычно в виде идеального перемножителя с фильтром нижних

частот на выходе. При этом характеристика такого фазового детектора может быть описана соотношением следующего вида

$$u_{\text{ВЫХФДиг}} \doteq \sin \Delta\varphi, \quad (1)$$

где $u_{\text{ВЫХФДиг}}$ - напряжение на выходе идеального фазового детектора;

$\Delta\varphi$ - разность фаз сигналов опорного и принимаемого колебаний.

Формирование целей статьи. Провести теоретические теоретических исследования методов расчета синхронизатора частоты возбуждителя и систем фазовой синхронизации инверторов.

Основные материалы исследований. Реальные радиоэлементы, в частности перемножители, обладают ограниченным линейным динамическим диапазоном, вне которого необходимо учитывать влияние нелинейных искажений. С этой целью представим выходной сигнал реального перемножителя Z в виде двойного ряда Вольтерра от опорного Y и принимаемого X сигналов.

$$Z(f_1, f_2, \dots, f'_1, f'_2, \dots) = \sum_{\substack{i, j=0 \\ i=j=0}}^{\infty} H_{ij} \left(f_1, \dots, f_i, f'_1, \dots, f'_j \right) \prod_{k=1}^i X(f_k) \prod_{e=1}^j Y(f'_e), \quad (2)$$

где H_{ij} - нелинейная передаточная функция (ядро Вольтерра);

$(i + j)$ -го порядка реального перемножителя;

f'_k, f'_e - аргументы многомерного преобразования Фурье.

Полезная составляющая выходного сигнала фазового детектора. Z_n описывается выражением

$$Z_n(f_1, -f'_1) = H_{11}(f_1, -f'_1) X(f_1) Y(-f'_1). \quad (3)$$

Тогда величина Z_f , определяемая формулой вида

$$Z_H(f_1, f_2, \dots, f'_1, f'_2, \dots) = Z(f_1, f_2, \dots, f'_1, f'_2, \dots) - Z_f(f_1, -f'_1).$$

Может служить количественной характеристикой степени неидеальности реального фазового детектора. Учитывая фильтрующие свойства стоящего на выходе перемножителя фильтра низких частот и ограничиваясь характеризующими динамический диапазон этого перемножителя нелинейными составляющими третьего порядка, выход-

ной сигнал неідеального фазового детектора приблизенно можна описати наступним вираженням

$$Z = Z_i + Z_f \cong H_{11}(f_1, -f_1')X(f_1)Y(-f_1') + H_{31}(f_1, f_1, -f_1, -f_1') \cdot X(f_1)X(f_1)X(-f_1)Y(-f_1') + H_{13}(f_1, -f_1', -f_1', f_1)X(f_1)Y(-f_1')Y(-f_1') \cdot Y(f_1') + H_{22}(f_1, f_1, -f_1', -f_1')X(f_1)X(f_1)Y(-f_1')Y(-f_1'), \quad (4)$$

где f_1, f_1' - несущая (средняя) частота входного сигнала (принимаемого) и опорного колебаний соответственно, причем, предполагается, что $f_1 \cong f_1'$.

Отсюда следует, что характеристика неідеального фазового детектора имеет вид

$$u_{\text{ВЫХФДреал}} \cong \sin \Delta\varphi + (K_{31} + K_{13})\sin \Delta\varphi + K_{22} \sin 2\Delta\varphi, \quad (5)$$

где величины K_{31}, K_{13} и K_{22} характеризуют динамический диапазон фазового детектора и однозначно определяются отношениями

$$\left| \frac{H_{31}(\cdot)}{H_{11}(\cdot)} \right| \cdot \left| \frac{H_{13}(\cdot)}{H_{11}(\cdot)} \right| \text{ и } \left| \frac{H_{22}(\cdot)}{H_{11}(\cdot)} \right| \text{ соответственно.}$$

При этом предполагается, что величины $H_{11}(\cdot), H_{31}(\cdot), H_{13}(\cdot), H_{22}(\cdot)$ собственных фазовых искажений не вносят, поскольку данные искажения являются регулярными (систематическими) и могут быть априорно скорректированы.

Аналогичным образом может быть учтена неідеальность усилителя обратной связи, на выходе которого даже в случае неискаженного выходного сигнала фазового детектора (т.е. при $u_{\text{ВЫХФД}} = u_{\text{ВЫХФДиг}} = \sin \Delta\varphi$) имеем

$$U \cong \mu \{u_{\text{ВЫХФД}}\} = \mu_1 \sin \Delta\varphi + \mu_2 \sin 2\Delta\varphi + \mu_3' \sin \Delta\varphi + \mu_3'' \sin 3\Delta\varphi, \quad (6)$$

где $\mu(\cdot)$ - оператор, описывающий работу усилителя обратной связи;

U - сигнал на выходе усилителя обратной связи;

μ_i - коэффициенты, характеризующие динамический диапазон усилителя обратной связи по нелинейным искажениям i -го порядка ($i \geq 2$);

μ_1 - коэффициент передачи усилителя обратной связи.

Подобные результаты дает и учет неидеальности (нелинейности) регулировочной характеристики управляющего элемента, выходной сигнал которого ω может быть описан выражением вида

$$\omega \cong \varphi\{U\} = \varphi_1 \mu_1 \sin \Delta\varphi + \varphi_2 \mu_1^2 \sin 2\Delta\varphi + \varphi_3' \mu_1^3 \sin \Delta\varphi + \varphi_3'' \varphi_1^3 \sin 3\Delta\varphi. \quad (7)$$

где $\varphi\{\}$ - оператор характеризующий управляющий элемент;
 φ_j - коэффициенты, описывающие динамический диапазон управляющего элемента по нелинейным искажению j -го порядка ($j \geq 2$);
 φ_1 - линейный коэффициент преобразования управляющего элемента.

Здесь, как и в формуле (6) предполагается, что $U = U_{ug} = \mu_1 \sin \Delta\varphi$.

Запишем дифференциальное уравнение, характеризующее нелинейную динамику системы ФАПЧ с одновременным учетом неидеальности ее фазового детектора, усилителя обратной связи и управляющего элемента. При этом получим

$$p\Delta\varphi + \Omega_y K(p) [(1 + \alpha_3') \sin \Delta\varphi + \alpha_2 \sin 2\Delta\varphi + \alpha_3'' \sin 3\Delta\varphi] = \dot{x}, \quad (8)$$

где p - комплексная переменная;
 Ω_y - полоса удержания системы ФАПЧ;
 $K(p)$ - передаточная функция линейного фильтра обратной связи;
 $\dot{x} = x(t)$ - шумы на входе системы ФАПЧ;
 α_p - коэффициент, учитывающий неидеальность одновременно фазового детектора, усилителя обратной связи и управляющего элемента ($p = 2, 3$).

Здесь величины α_p однозначно определяются нелинейными передаточными функциями соответствующего порядка каскадного соединения указанных выше элементов системы ФАПЧ. Общий вид аналитических соотношений для нахождения этих ядер Вольтерра представлен в работе [5]. При этом необходимо учитывать, что ширина линейного динамического диапазона каскадного соединения меньше минимального из динамических диапазонов отдельных элементов этого соединения. Наличие такого взаимного влияния нелинейных процессов отдельных элементов кольца ФАПЧ приводит к

тому, что суммарное влияние их неидеальности на нелинейную динамику системы автоподстройки возрастает. Поэтому при количественном анализе необходимо использовать точные соотношения для определения ядер Вольтерра многокаскадного соединения нелинейных инерционных устройств.

Разложим нелинейные функции $\sin(\cdot)$ в ряд Тейлора и, ограничиваясь первыми двумя членами этого ряда, подставим в формулу (8). Записав затем ряд Вольтерра для величины $\Delta\varphi$ и приравнявая члены, содержащие X в одинаковой степени, получим следующие выражения для нелинейных передаточных функций G_e первых трех порядков ($l=1, 2, 3$) исследуемой системы ФАПЧ с не идеальными элементами:

$$G_1(p_1) = \frac{1}{p_1 + \Omega_y K(p_1)[1 + \alpha'_3 + 2\alpha_2 + 3\alpha''_3]}; \quad (9)$$

$$G_2(p_1, p_2) = 0; \quad (10)$$

$$G_3(p_1, p_2, p_3) = \frac{\frac{1}{3!} \Omega_y K(S_1 + S_2 + S_3)[1 + \alpha'_3 + 8\alpha_2 + 27\alpha''_3]}{(p_1 + p_2 + p_3) + \Omega_y K(p_1 + p_2 + p_3)[1 + \alpha'_3 + 2\alpha_2 + 3\alpha''_3]} \cdot \prod_{i=1}^3 G_i(p_i), \quad (11)$$

где p_i - аргументы многомерного преобразования Лапласа ($i = 1, 2, 3$).

Анализ полученных соотношений (8-10) показывает, что неидеальность элементов кольца ФАПЧ оказывает заметное влияние на нелинейную динамику этих систем и, в частности, приводит к возрастанию «веса» нелинейных составляющих в выходном сигнале системы ФАПЧ. Данное влияние становится особенно существенным при наличии внешних мощных сосредоточенных составляющих или широкополосных шумов достаточно большого уровня. Это может иметь место, например, в системах фазовой синхронизации инвертора с первичной сетью, системах фазовой синхронизации инвертора с нагрузкой при работе выпрямительного блока инвертора и блока силовых ключей. Поэтому при исследовании и разработке систем фазовой синхронизации инвертора целесообразно качественно оценивать влияние неидеальности характеристик данных систем и задавать требования к допустимой степени этой неидеальности исходя из условия функционирования и параметров рассматриваемых систем.

Оценим влияние нелинейности характеристик элементов сложных комбинированных систем синхронизации на качество их функционирования.

С этой целью в правой части уравнения, описывающую работу внутреннего кольца ФАП с синусоидальной нелинейностью

$$p\varphi + \Omega_y K(p) \sin \varphi = \dot{x}, \quad (12)$$

где p - аргумент преобразования Лапласа;

φ - разность фаз сигналов, поступающих на входы фазового детектора;

Ω_y - полоса удержания внутреннего кольца ФАП;

$K(p)$ - передаточная функция фильтра схемы ФАП;

$\dot{x} = x(t)$ - внешние, по отношению к внутреннему кольцу ФАП, возмущения.

Учтем нелинейные компоненты сигнала внешнего кольца синхронизации, поступающие на вход фазового детектора внутреннего кольца ФАП, т.е.

$$x = \sum_{n=1}^{\infty} G_n(p_1, \dots, p_n) \prod_{i=1}^n y(p_i) \cong G_1(p_1) y(p_1) + G_3(p_1, p_2, p_3) \prod_{i=1}^3 y(p_i), \quad (13)$$

где $G_n(\cdot)$ - ядро Вольтерра (нелинейная передаточная функция) n -го порядка внешнего кольца синхронизации;

p_i - i -аргумент многомерного преобразования Лапласа;

y - внешние, по отношению к системе синхронизации в целом (а следовательно, и по отношению к ее внешнему кольцу АПЧ) возмущения.

Тогда, используя методику, описанную в подразделе 2.2, из уравнения (12) с учетом формулы (13) можно получить следующие выражения для ядер Вольтерра первых трех порядков, описывающих нелинейную динамику двухкольцевой системы синхронизации:

$$H_1(p_1) = \frac{G_1(p_1)}{p_1 + \Omega_y K(p_1)}; \quad (14)$$

$$H_2(p_1, p_2) = 0; \quad (15)$$

$$H_3(p_1, p_2, p_3) = \frac{G_3(p_1, p_2, p_3) + \frac{1}{3!} \Omega_y K(p_1 + p_2 + p_3) \prod_{i=1}^3 \frac{G_i(p_i)}{p_i + \Omega_y K(p_i)}}{(p_1 + p_2 + p_3) + \Omega_y K(p_1 + p_2 + p_3)}. \quad (16)$$

Аналогічним образом можна отримати нелінійні передаточні функції для трьохколецевих і більш складних комбінованих систем синхронізації.

Из анализа соотношений (14) следует, что в частности, что с увеличением числа колец АПЧ в сложной комбинированной системе синхронизации происходит «накопление» нелинейных компонент и, следовательно, дополнительное снижение точности синхронизации. Поэтому для повышения реальной эффективности разрабатываемых сложных комбинированных систем синхронизации необходим не только анализ нелинейных явлений в изолированных кольцах ФАПЧ, но и максимально полный учет взаимных влияний между схемами захвата и удержания сигналов.

Подставляя полученные соотношения в уравнение

$$S_{\varphi}(\omega) = b^2 \Omega_y^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3!} b^2 \Omega_y^3 \frac{K_1 \omega^6 + K_2 \omega^4 + K_3 \omega^2 + K_4}{L_1 \omega^8 + L_2 \omega^4 + L_3 \omega^2 + L_4} \right\} \cdot \frac{m^2 \omega^2 + 1/T^2}{\omega^4 + \frac{1}{T^2} [1 + 2T\Omega_y(m-1) + m^2 T^2 \Omega_y^2] \omega^2 + \left(\frac{\Omega_y}{T} \right)^2}$$

можно получить численные оценки значения спектральной плотности мощности фазовых флуктуации на выходе системы ФАПЧ, исследовать ее динамические характеристики и на этой основе получить необходимые расчетные соотношения при разработке и проектировании синхронизатора частоты возбудителей и систем фазовой синхронизации инверторов.

Апробация предложенной методики анализа влияния неидеальности характеристик основных элементов ФАПЧ синхронизатора частоты, комбинации ФАП и ЧАЛ осуществлена на основе сравнения результатов расчета на компьютере с результатами экспериментальных исследований на частоте 1 ГГц и приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, методика расчета позволяет получить весьма близкие к экспериментальным значениям расчетные данные как для спектральных плотностей мощности фазовых флуктуации, так и для дискретных составляющих спектра выходного сигнала.

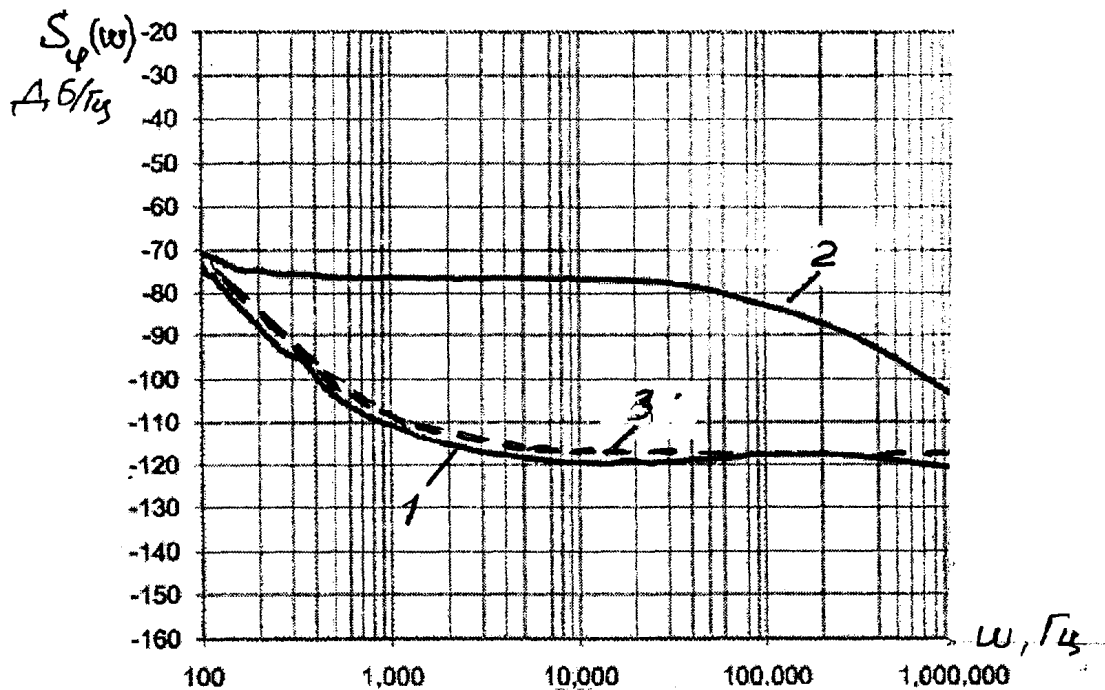


Рис. 1. График фазовых шумов синтезатора с учетом основных нелинейностей: 1 – фазовые шумы, 2 – побочные спектральные составляющие (ПСС), 3 – расчетные данные ФШ.

Вывод. Таким образом, из приведенных результатов следует, что предложенная методика расчета дает близкие к экспериментальным значениям численные оценки и может быть рекомендована для проектирования синхронизатора частоты возбуждителей и систем фазовой синхронизации инверторов.

Список использованной литературы.

1. Акимов Л.В. Автоматизированный электропривод: элементы, теория, системы управления / Л.В. Акимов, П.А. Качанов, А.Н. Черенов – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 532 с.
2. Голодний І.М. Моделювання регульованого електропривода: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавриненко, Л.С. Червінський – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 227 с.
3. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / 2-е издание. Под ред. В.В. Шахгильдяна – М.: Радио и связь, 1989. – 230 с.
4. Шахгильдян В. В. Системы фазовой автоподстройки с элементами дискретизации / В. В. Шахгильдян, А. А. Ляховкин – М.: Энергия, 1979. – 224 с.

5. *Rise S.O.* Volterra Systems With more than one snput port (Distortion in a frequency conuerter) // Bell Syst Tech – 1973. – № 8. – P. 1255-1271.

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНОСТІ
СИСТЕМ ФАЗОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ
НА ЇХ СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Лисиченко Р. М., Черемісін М. М.

Анотація - в результаті проведених теоретичних досліджень запропонована методика розрахунку синхронізатора частоти збудника і систем фазової синхронізації інвертора.

**THEORETICAL ANALYSIS NONLINEARITY INFLUENCE
OF PHASE CLOCK ON THEIR VOLTAGE INVERTERS
SPECTRAL CHARACTERISTICS**

R. Lysychenko, M. Cheremisin

Summary

As a result of the theoretical research, a new method of calculating the lock unit of pathogen frequency and the systems of the inverter's phase lock is suggested.

УДК 621.313.33

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОДНОФАЗНОГО АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Макаревич С.С., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Телефон: 044-527-87-29

Анотація – розглянуто основні теоретичні положення та фізичні процеси однофазної компенсованої асинхронної машини в режимі генератора.

Ключові слова: однофазний конденсаторний двигун, принцип оберненості, автономний однофазний компенсований генератор, внутрішня ємнісна компенсація.

Постановка проблеми. Реалізація ідеї у застосуванні в автономній системі електроживлення однофазного асинхронного генератора викликала необхідність аналізу процесу сумісної роботи з асинхронним короткозамкненим двигуном. Процес запуску та роботи асинхронного генератора на асинхронний двигун ускладнюється загальним недоліком цих машин [1], необхідністю джерела реактивної потужності для їх збудження та специфічними умовами забезпечення стійкої сумісної роботи.

Аналіз останніх досліджень. Відомо [1], що однофазний конденсаторний асинхронний двигун, у якому просторово зміщені у пазах осердя статора дві робочі обмотки під кутом 90° між ними і включені в однофазну електричну живлячу мережу змінного струму по схемі поворотного автотрансформатора (АТ) на електричну ємність, при визначеній величині якої струми обмоток зсунуті між собою по фазі і в часі на 90° , створюючи магнітне поле, обертаються зі швидкістю

$$\omega = \frac{2\pi f}{p}.$$

Така система електричних струмів є двофазною. Завдяки просторовому зміщенню на 90° двох обмоток статора і включенні їх по схемі поворотного АТ на електричну ємність, як фазозсунутий елемент, відбувається перетворення однофазного кола у двофазну систему, або у загальному вигляді подвоєнням числа фаз. Обертове магнітне поле, перетинаючи обмотку ротора (найчастіше прийнятий найбільш прос-

тий короткозамкнений ротор), індукує у ній ЕРС і струм, взаємодія якого з полем статора створює обертовий момент. Машина працює у режимі асинхронного електродвигуна зі швидкістю $\omega < \omega_0$, при ковзанні $S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ у межах $0 \leq S \leq 1$. При цьому одна з обмоток статора

включена на напругу \dot{U} живлячої мережі і являється основною, головною і первинною обмоткою АТ, послідовно з'єднаною з електричною ємністю C_Δ , просторово зміщеною відносно головної обмотки на 90° , у режимі двигуна проти напрямку обертання магнітного поля (рис.1).

включена на напругу \dot{U} живлячої мережі і являється основною, головною і первинною обмоткою АТ, послідовно з'єднаною з електричною ємністю C_Δ , просторово зміщеною відносно головної обмотки на 90° , у режимі двигуна проти напрямку обертання магнітного поля (рис.1).

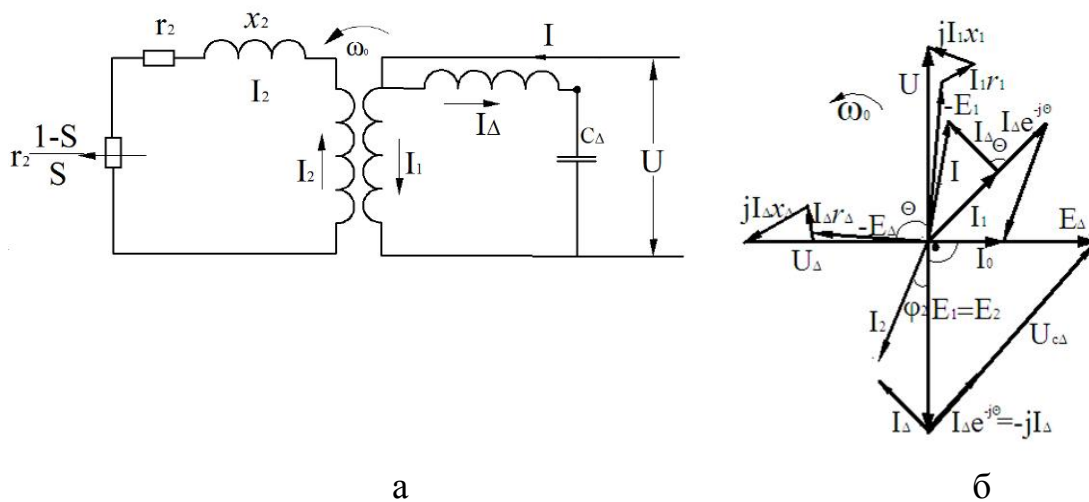


Рис. 1. Принципова електрична схема однофазного асинхронного двигуна (а) і векторна діаграма (б).

У відповідності з принципом оберненості будь яка електрична машина, у тому числі і однофазна асинхронна, може працювати у режимі двигуна і генератора. Проте однофазна конденсаторна машина з просторовим зміщенням на 90° одна відносно одної обмотки статора, відома як електродвигун, у якому вторинна обмотка АТ, з ємністю у колі, зсунута відносно первинної проти напрямку руху машини і її обертового магнітного поля і у режимі двигуна.

Обертове магнітне поле статора (рис.1) індукує в обмотках ЕРС, причому ЕРС \dot{E}_Δ вторинної обмотки АТ випереджає ЕРС \dot{E}_1 основної обмотки на кут $\Theta = 90^\circ$, тому $\dot{E}_\Delta = \dot{E}_1 e^{j\Theta} = j\dot{E}_1$. Напруга на виході АТ без урахування спаду напруги в обмотках дорівнює:

$$\dot{U}_{c\Delta} = \dot{U} - \dot{U}_\Delta, \quad (1)$$

де $\dot{U} = -\dot{E}_1 + \dot{I}z_1 \approx -\dot{E}_1$ – напруга живлячої мережі,

$\dot{U}_\Delta = -\dot{E}_\Delta + \dot{I}_\Delta z_\Delta \approx -\dot{E}_\Delta$ – напруга вторинної обмотки,

$z_1 = z_\Delta = r_\Delta + jx_\Delta$ – власні опори обмоток статора – основної W_1 та додаткової W_Δ , при числах витків $W_1 = W_\Delta$. Струм ємності C_Δ у колі вторинної обмотки АТ дорівнює:

$$\dot{I}_\Delta = \frac{\dot{U}_{c\Delta}}{-jx_{c\Delta}}, \quad (2)$$

де $x_{c\Delta} = \frac{1}{\omega C}$ – величина опору ємності C_Δ .

$\omega = 2\pi f$ – швидкість обертання,

f – частота живлячої мережі напругою U .

Намагнічуючий струм машини визначається як

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta e^{-j\theta} + \dot{I}_2, \quad (3)$$

де \dot{I}_1 – струм основної обмотки,

$\dot{I}_\Delta e^{-j\theta} = -j\dot{I}_\Delta$ – струм додаткової обмотки, просторово приведеної до струму основної обмотки,

\dot{I}_2 – робочий струм ротора при прийнятому навантаженні двигуна з ковзанням $0 \leq S \leq 1$,

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta$ – загальний струм двигуна.

У режимі двигуна з приведенням його вторинної обмотки до нерухої основної обмотки статора ЕРС \dot{E}_1 основної обмотки статора і \dot{E}_2 обмотки ротора визначається як

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -jx_m \dot{I}_0, \quad (4)$$

де x_m – реактивний опір намагнічуючого контуру двигуна.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Особливістю переводу однофазної конденсаторної асинхронної машини з режиму двигуна в режим генератора є створення приводним двигуном швидкості обертання ω вала ротора машини більше швидкості ω_0 обертання магнітного поля, $\omega > \omega_0$ (при незмінному напрямку обертання ротора у режимі двигуна) при одночасній зміні на протилежне просторове положення додаткової (вторинної) обмотки АТ, зсувом відносно основної обмотки на 90° у напрямку обертання машини. Вище зазначене переключення потребує попереднього відключення машини від живлячої мережі, що виключає на практиці переведення однофазної конденсаторної машини в генераторний режим без відключення від мережі живлення [2]. Проте в автономному режимі, при попередньому налаштуванні просторового положення обмоток статора і включенні по схемі поворотного АТ на електричну ємність C_Δ , з обертанням від приводного двигуна, робота однофазної конденсаторної машини в генераторному режимі не викликає ускладнень.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Аналогами схем автономних однофазних конденсаторних асинхронних генераторів (рис.2 і 3) є відповідно [3] та [4]. Відмінними особливостями запропонованого варіанту по рис. 2 та рис.3 відносно представлених аналогів є: 1) різні числа фаз в устаткуванні і призначенні схем (в однофазній конденсаторній машині для створення обертового магнітного поля при подвоєнні числа фаз; пускового обертового моменту, при фазозсунутому варіанті у вигляді електричної ємності), 2) у трифазних аналогах просторове зміщення між собою обмоток статора і включення їх по схемі поворотного АТ на електричну ємність створює ефект внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності з активним впливом на зміни властивостей компенсованих асинхронних машин з підвищенням енергетичної ефективності, 3) величина кута просторового зсуву обмоток статора однієї відносно другої по схемах аналога ($\Theta = 30^\circ$ при $m = 3$) і запропонованого устаткування ($\Theta = 90^\circ$ при $m = 1$) відрізняється і залежить від числа фаз, $\Theta = \frac{\pi}{2m} = \frac{90^\circ}{m}$ при різному вихідному числі фаз устаткування $m = 3$ у трифазних аналогах і $m = 1$ у запропонованому варіанті подвоєння ($m' = 2m$) і фазних зон обмоток ($m'' = 2m'$) призводить відповідно до чисел фаз і фазних зон $m' = 6$, $m' = 12$ та $m' = 2$, $m'' = 4$.

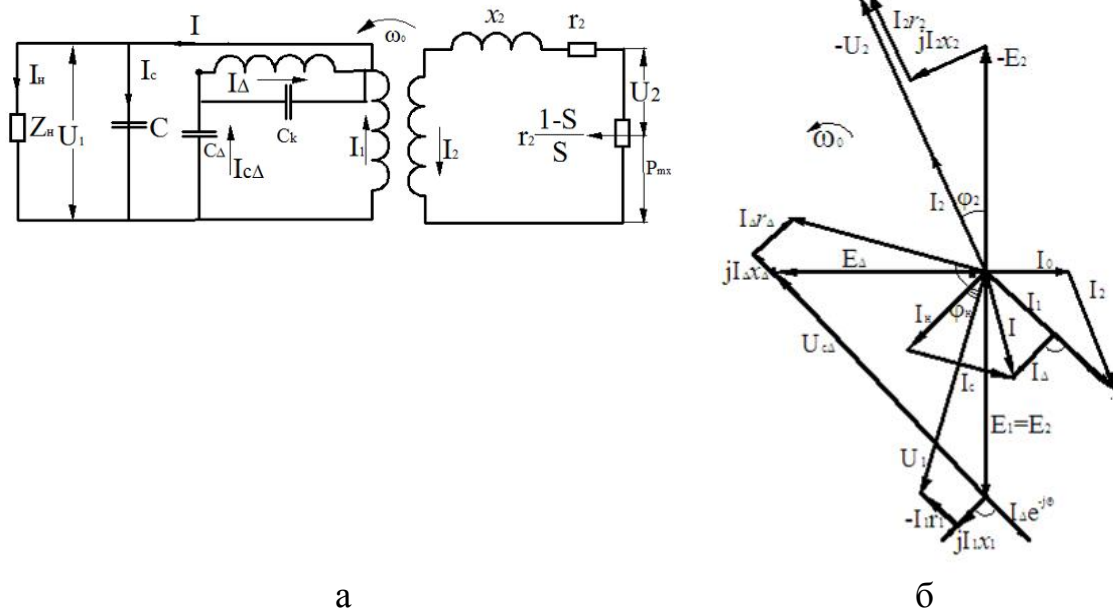


Рис. 2. Принципова схема (а) і векторна діаграма (б) автономного однофазного конденсаторного асинхронного генератора при роботі на статичне навантаження з опором Z_n .

Призначення електричних ємностей у генераторному режимі запропонованого варіанту і трифазних аналогів практично однакова, за винятком подвоєння числа фаз. Ємності забезпечують живлення асин-

хронних машин реактивною потужністю для збудження їх магнітного поля.

Аналогічно принципівим електричним схемам фази і більшості однакових функціональних властивостей трифазних компенсованих асинхронних машин є однофазні конденсаторні асинхронні машини (ОКАМ), а саме, однофазний компенсований автономний асинхронний генератор (ОКААГ). По схемі рис. 2а ОКААГ працює на статичне індуктивно-активне навантаження з опором $Z_n = R_n + jX_n$. Генератор, обертається на валу ротора від приводного двигуна, що має ємнісне самозбудження (при наявності залишкового магнетизму у сталі ротора) і зовнішньої електричної ємності C , реактивна потужність йде на збудження генератора, тобто на створення основного магнітного поля і поля розсіювання) та компенсацію реактивної потужності індуктивного характеру навантаження. Додаткова ємність C_Δ у колі вторинної обмотки АТ відіграє роль фазозсунутого устаткування при подвоєнні числа фаз для створення обертового поля і додаткового ємнісного збудження. По векторній діаграмі рис. 2б ємнісний струм $\dot{I}_\Delta = \frac{\dot{U}_{c\Delta}}{-jx_{c\Delta}}$

на виході АТ по відношенню до загальної напруги генератора $\dot{U}_1 = \dot{E}_1 - \dot{I}_{z_1}$ є ємнісно-активним. Тобто вторинна обмотка W_Δ поворотного АТ є суміщеною – робочою по активному навантаженню машини і компенсованою по її ємнісній частині. Основна обмотка W_1 , як і в звичайному асинхронному генераторі є індуктивно-активною за потужністю.

Зі зростанням навантаження генератора активний струм додаткової обмотки дещо збільшує ємнісно-активний струм \dot{I}_Δ , напругу на виході АТ $\dot{U}_\Delta = -jx_{c\Delta} \cdot \dot{I}_\Delta \approx \dot{E}_\Delta - \dot{E}_1$ та виробіток реактивної потужності $Q_{c\Delta} = I_\Delta^2 x_{c\Delta}$ ємністю C_Δ . При цьому збільшення індуктивно-активного навантаження потребує компенсації індуктивної частини та виробітку ємнісної потужності від загальної ємності C . За рахунок цього знижується частина реактивної потужності для збудження генератора. Частково відбувається розмагнічування генератора, зменшується ЕРС і вихідна напруга U_1 , що призводить до зниження виробітку реактивної потужності ємністю C . Навіть при незначному збільшенні виробітку реактивної потужності ємністю C_Δ загальний виробіток її знижується, що призводить до значного зменшення вихідної напруги генератора U_1 і частоти f з ростом навантаження. При збільшенні навантаження ($\cos \varphi_n \approx 0,8$) від холостого ходу до номінального, номінальна напруга знижується на 15-20%, що є неприпустимим для електроустановок. Особливо складно протікають динамічні про-

цеси в автономному асинхронному генераторі. Наприклад, при пуску асинхронного двигуна сумірної потужності необхідно збільшити ємність у 4-5 разів у порівнянні з номінальним режимом. Для усунення вище наведеного недоліку застосовують ступінчасте (плавне) регулювання загальної ємності C , підмагнічування спинки осердя статора генератора постійним струмом і т.д. Але такі способи ускладнюють і здорожують установку. Окрім того, при загальній ємності C для збудження генератора і компенсації реактивної потужності навантаження у послідовному колі фази автономної установки можуть виникати ферорезонансні явища з неоднозначними накладами струмів і напруг, розмагнічуванням і перемагнічуванням магнітопроводів електричних машин, з неможливістю сумісної роботи.

У запропонованому устаткуванні автономного генератора (рис. 3) з метою стабілізації вихідної напруги і частоти при зростанні навантаження, виключені ферорезонансні явища у послідовному колі ємності C і нелінійних реактивних опорів асинхронного генератора, приймається поділ ємнісного збудження генератора і споживача.

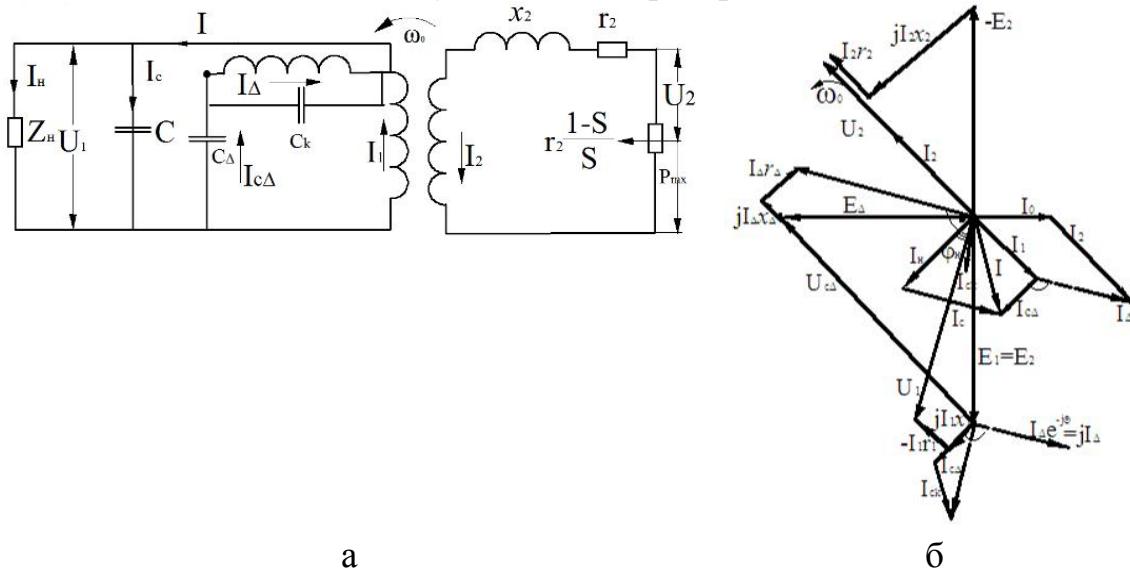


Рис. 3. Принципова схема (а) і векторна діаграма (б) автономного однофазного конденсаторного асинхронного генератора з подвійним ємнісним збудженням.

Зокрема, зовнішня ємність C на виході генератора призначена для компенсації реактивної потужності споживача, збудження для генератора здійснює внутрішнє ємнісне збудження за допомогою двох ємностей: C_{Δ} – включається на виході поворотного АТ схеми його обмотки статора, просторово зміщеного між собою на кут $\Theta = 90^\circ$, а C_k – шунтує вторинну обмотку АТ.

Зі збільшенням навантаження однофазного компенсованого автономного асинхронного генератора (ОКААГ) (рис.3а) зростає активний

струм, що призводить до збільшення величин струмів \dot{I}_1 та \dot{I}_Δ робочих обмоток. При цьому зростання ємнісно-активного струму \dot{I}_Δ вторинного кола АТ призводить до збільшення напруги $\dot{U}_{c\Delta}$ на вихідній ємності C_Δ та \dot{U}_Δ на додатковій внутрішній обмотці АТ. Незначне зростання напруги $\dot{U}_{c\Delta} = jx_{c\Delta}\dot{I}_\Delta$ на малому по величині ємнісному опорі $x_{c\Delta}$, послідовному з додатковою обмоткою W_Δ , призводить до невеликого збільшення ємнісної потужності $Q_{c\Delta} = jx_{c\Delta}\dot{I}_\Delta^2$, що в свою чергу дещо підмагнічує генератор, але недостатньо для збереження рівня напруги (зовнішні характеристики C , C_Δ (рис.4)).

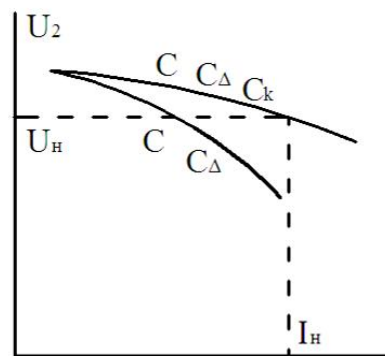


Рис. 4. Зовнішні характеристики однофазних компенсованих автономних асинхронних генераторів.

Додаткова ємність C_k (рис. 3а) шунтує додаткову обмотку W_Δ вторинного кола АТ. При роботі навантаження генератора, відбувається збільшення ємнісно-активного струму \dot{I}_Δ , у колі вторинної обмотки W_Δ зростає напруга \dot{U}_Δ , ємнісний струм $\dot{I}_{ck} = \frac{\dot{U}_\Delta}{-jx_{ck}}$. Відбувається виробіток реактивної потужності $Q_{ck} = jx_{ck}\dot{I}_\Delta^2$. На відміну від малої величини реактивної потужності послідовної у схемі вторинної обмотки АТ ємності C_Δ , струм \dot{I}_{ck} , що паралельний ємності C_k , може забезпечити виробіток реактивної потужності Q_{ck} , достатньої для компенсації розмагнічуючої дії навантаження у процесі зростання. Зовнішня характеристика генератора жорстка (рис.4) зі спадом напруги на 5% при збільшенні навантаження від холостого ходу до номінального.

Векторна діаграма (рис. 3б) ілюструє дію фізичних процесів в ОКААГ. При цьому, на відміну від діаграми (рис. 2б) у генераторі з подвійним внутрішнім ємнісним збудженням (C_Δ , C_k) струм ємності

C_k , перетинаючи обмотку W_Δ , збільшує струм $\dot{I}_\Delta = \dot{I}_{c\Delta} + \dot{I}_{ck}$, де струм ємності C_Δ дорівнює $\dot{I}_\Delta = \frac{\dot{U}_{c\Delta}}{-jx_{c\Delta}}$. Намагнічуючий струм генератора визначається як

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta e^{-j\Theta} + \dot{I}_2 = \dot{I}_1 - j\dot{I}_\Delta + \dot{I}_2, \quad (5)$$

де $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_{c\Delta} = \dot{I}_n + \dot{I}_c$ – загальний струм генератора,

$\dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta$ – сума струмів паралельних віток обмоток,

$\dot{I}_n + \dot{I}_c$ – сума струмів навантаження і загальної ємності C .

Висновки. При визначенні величин ємностей C_Δ , C_k , генератор отримує повне внутрішнє ємнісне збудження, а вплив зовнішньої ємності C обмежується лише тільки компенсацією реактивної потужності навантаження.

Навантаження з шунтуючою ємністю C відносно генератора складають загальний навантажувальний активний опір, що виключає ферорезонансні явища в автономній системі електроживлення з компенсованим асинхронним генератором.

Однофазний автономний асинхронний генератор з короткозамкненим ротором та однофазною обмоткою статора з подвійним внутрішнім ємнісним збудженням може застосовуватися у якості джерела живлення однофазним змінним струмом для ручного інструменту, наприклад, електрозварювального апарату та інших однофазних електроустановок.

Список використаних джерел.

1. Вольдек А. И. Электрические машин. / А. И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832с.
2. Компенсовані асинхронні машини: монографія / В. І. Мішин, В. В. Каплун, Р. М. Чуєнко, С. С. Макаревич, В. В. Гаврилюк] – К. : КНУТД, 2012. – 220с.
3. Пат. 83730 Україна, МПК H02K 17/00. Автономний асинхронний генератор / Мішин В. І., Каплун В. В., Козирський В. В., Кулинич А. М., Макаревич С. С. ; заявник і власник Національний аграрний університет. – № а200610561 ; заявл. 05.10.06 ; опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.
4. Пат. 89884 Україна, МПК H02K 17/00 H02K 17/42. Автономний асинхронний генератор / Мішин В. І., Каплун В. В., Козирський В. В., Макаревич С. С. ; заявник і власник Національний аграрний університет. – № а200809091; заявл. 11.07.08 ; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОДНОФАЗНОГО
АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

Макаревич С.С.

Аннотация – в статье изложены основные теоретические подходы и физические процессы однофазного компенсированного автономного асинхронного генератора.

**THE RESEARCH OPERATING MODES OF SINGLE-PHASE
AUTONOMOUS ASYNCHRONOUS GENERATOR**

S. Makarevich

Summary

The main theoretical position and physical processes compensated single-phase asynchronous machine in generator mode were conceived.

УДК 637.433.4

УСЛОВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕПОДВИЖНОГО ЭЛЛИпсоИДА ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

Миленин Д.Н., инженер,
Лисиченко Н.Л., д.т.н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

Тел.: (057) 712-50-56

Аннотация - в результате проведенных теоретических исследований определены граничные значения облученности точек на поверхности эллипсоида при различных условиях размещения точечного источника излучения.

Ключевые слова: когерентное оптическое излучение, облученность объекта, аппроксимация поверхности яйца в эллипсоид.

Постановка проблемы. Эффективность производства продукции птицеводства напрямую связана с качеством полученного молодняка птицы, которая поставляется на птицефабрики для последующего содержания [1]. Поэтому особенное внимание следует обратить на процесс инкубации, который зависит от качества обеззараживания поверхности скорлупы яйца перед закладкой в шкаф инкубатора [2].

Анализ последних исследований. Раньше было показано, что облучение поверхности скорлупы яйца когерентным оптическим (лазерным) излучением для активизации вредной микрофлоры значительно повышает эффективность последующего химического обеззараживания [3]. Но в процессе лазерной обработки необходимо учитывать условия поглощения излучения биологическими объектами (бактериями) [4] и обеспечить равномерное облучение всей поверхности скорлупы и выдержать необходимую дозу облученности, аппроксимированного в виде эллипсоида яйца [5]. Причем, необходимо определить месторасположение лазера над яйцом с учетом его высокой плотности потока излучения и изменения угла падения на поверхность эллипсоида [6, 7].

Основная часть. Пусть облучение происходит в соответствии со схемой представленной на рис.1. Обозначим: J_i – сила излучения ис-

точника $[Bm]$, E – облученность $[Bm/m^2]$. Как известно [8], приведенные величины связаны между собой зависимостью:

$$E = \frac{J_i \cos \gamma}{r_i^2} = \frac{J_i \cos \gamma}{PM^2}, \quad (1)$$

где r_i – расстояние от источника до облучаемого объекта.

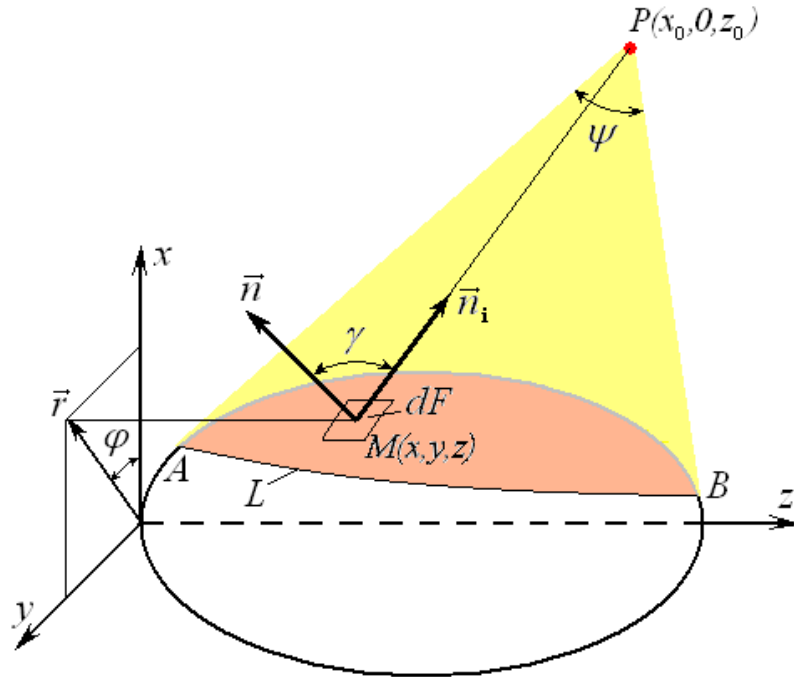


Рис. 1. Расчетная схема облучения поверхности скорлупы яйца.

Получим выражение для определения облученности точек поверхности неподвижного эллипсоида:

$$E(\varphi, z) = J_i \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2] [x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^{3/2}}}. \quad (2)$$

Следует иметь в виду, что цилиндрические координаты φ , z в этом выражении должны соответствовать точкам внутренней области линии L (рис. 1). Можно также воспользоваться прямоугольными координатами y , z , для чего необходимо выполнить замену:

$$\cos \varphi = \frac{\sqrt{r^2(z) - y^2}}{r(z)}. \quad (3)$$

Тогда каждая выбранная точка поверхности эллипсоида, имеющая координаты y, z на горизонтальной плоскости yOz , должна попадать внутрь эллипса.

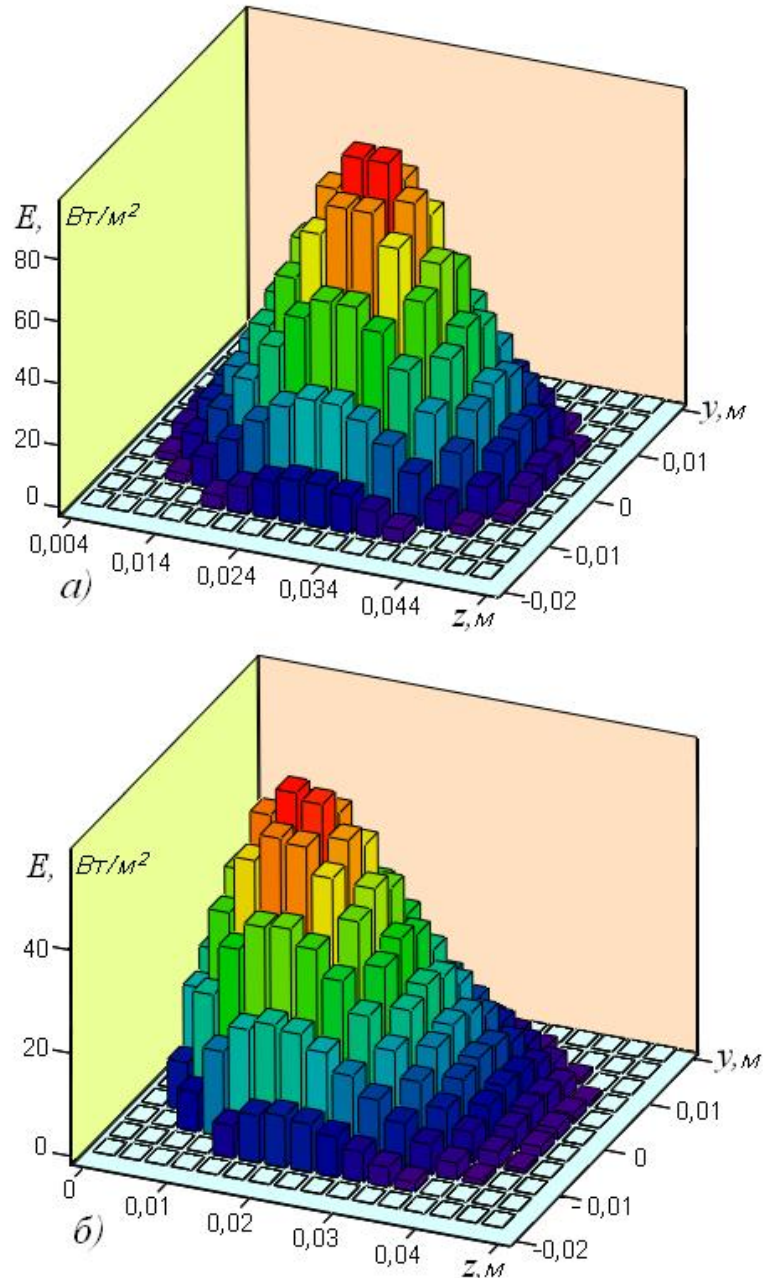


Рис. 2. Диаграммы облучения неподвижного эллипсоида, построенные на проекциях облучаемого пятна на плоскость yOz при: а) $z_0 = \tilde{n}$; б) $z_0 = 0$, а также $x_0 = 2b$, $b=0,0226$ м; $\tilde{n}=0,0293$ м; $J_i = 50$ Вт.

Некоторое представление о степени облученности поверхности эллипсоида дают столбчатые диаграммы на рис. 2. Они построены на эллипсах, как на плоской основе. Расчет облученности проводился лишь для тех клеток разбиения прямоугольника

$\tilde{z} - C \leq z \leq \tilde{z} + C$, $-B \leq y \leq B$ плоскості yOz , которые располагались внутри указанных эллипсов.

Диаграммы показывают симметричное распределение облученности относительно вертикальной плоскости xOz , наличие локальных максимумов и уменьшение облученности до нуля на границе области, что и следовало ожидать.

Большее значение локального максимума наблюдается при размещении источника над центральной частью эллипсоида (рис. 2 а). При смещении источника вдоль оси Oz (параллельно оси симметрии эллипсоида) экстремум смещается в ту же сторону, одновременно убывая (рис. 2 б).

Очевидно, что именно экстремумы имеют преимущественное значение при соблюдении допустимых доз облучения. Постольку же имеет место указанная выше симметрия, то функцию (2) целесообразно свести к одному аргументу – z , проведя ее усреднение по углу φ .

Чтобы отличить переменную подынтегральной функции и пределы интегрирования, обозначим значение угла φ на линии L буквой ϕ . Для угла ϕ будем иметь

$$\phi(z) = \arccos \frac{b[cz_0 + (c - z_0)z]}{cx_0 \sqrt{2cz - z^2}}. \quad (4)$$

Следовательно, угол φ изменяется в промежутке $-\phi(z) \leq \varphi \leq \phi(z)$. Однако, учитывая четность подынтегральной функции по φ , пределы интегрирования можно упростить

$$E(z) = \frac{1}{\phi(z)} \int_0^{\phi(z)} E(\varphi, z) d\varphi =$$

$$= \frac{J_1}{\phi(z)} \int_0^{\phi(z)} \frac{[x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)]}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2][x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]}} d\varphi \quad (5)$$

Решение интеграла (5) проводилось в среде «Mathcad», в которой предлагается на выбор четыре численных алгоритма интегрирования: “Метод Ромберга” (Romberg) – для большинства функций, не содержащих особенностей; “Адаптивный метод” (Adaptive) – для функций, быстро меняющихся на интервале интегрирования; “Предел в бесконечности” (Infinite Limit) – для интегралов с бесконечными пределами; “Особая конечная точка” (Singular Endpoint) – для интегралов с сингулярностью на конце.

Третий метод по понятным причинам для нашего случая не подходит. Остальные дают одинаковые результаты, но адаптивный имеет некоторое преимущество в скорости. Он же предлагается и автовыбором системы, поэтому здесь и в дальнейшем (особенно для кратного интегрирования) будем использовать именно его.

На рис. 4 на основании расчета построены графики функции (5) при фиксированных положениях источника облучения, а на рис. 4 – зависимость максимального значения (E_{\max}) облученности от координаты расположения источника по горизонтальной оси Oz . Для вычисления указанного максимального значения использовалась встроенная функция «Mathcad» – “Maximize”.

Качественно графики на рис. 3 подтверждают результаты, полученные по рис. 2, но проводить количественный анализ по таким графикам существенно проще.

Зависимость на рис. 4 представляет собой линию локальных максимумов. В свою очередь эта линия тоже имеет максимум, который по определению следует считать глобальным. Как видим, он имеет место, когда источник излучения расположен над центром эллипсоида.

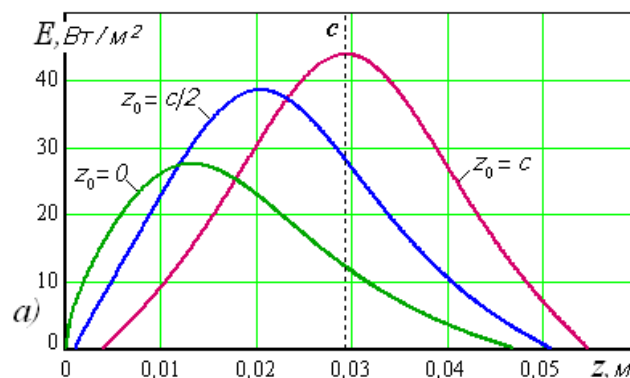


Рис.3. Изменение средней облученности по длине эллипсоида при:

$$b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м} \quad J_i = 50 \text{ Вт} \quad x_0 = 2b$$

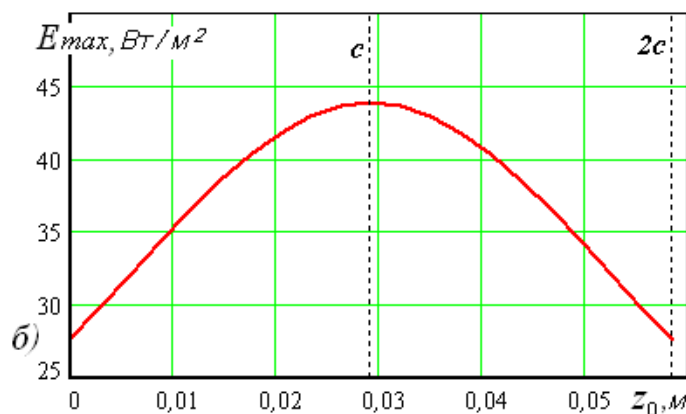


Рис.4. Изменение максимальной облученности эллипсоида в зависимости от горизонтальной координаты размещения источника

$$\text{при: } b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м} \quad J_i = 50 \text{ Вт} \quad x_0 = 2b$$

Формулы (5) удобны для определения облученности отдельных участков эллипсоида. Но они не дают возможности оценить облученность, которую получает вся освещенная поверхность эллипсоида одновременно. В таких случаях в качестве оценки принято вводить среднее значения показателя. Для этого необходимо определить силу светового потока J , воспринимаемую всей поверхностью (пятном) облучения и разделить ее на площадь этой поверхности.

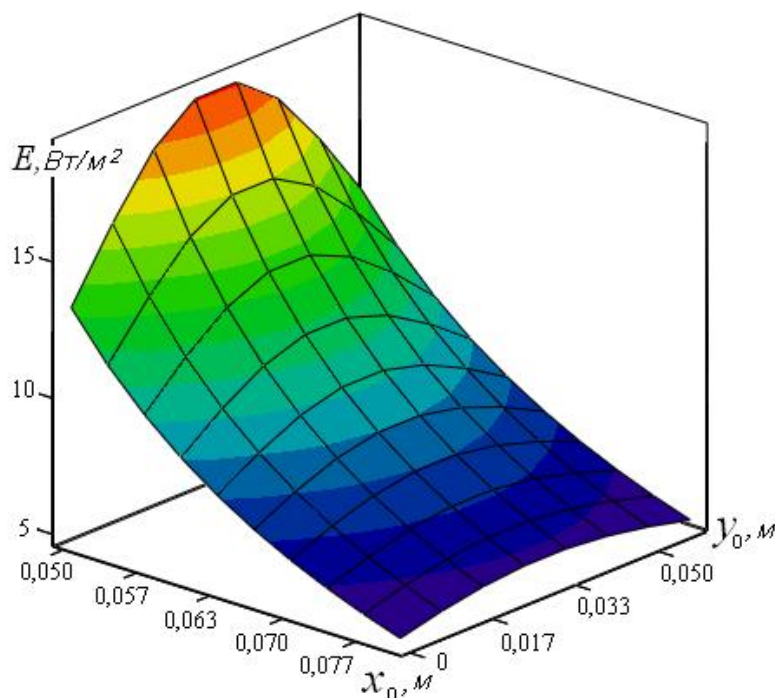


Рис.5. Изменение средней облученности эллипсоида в зависимости от расположения источника излучения при:

$$b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м}; J_i = 50 \text{ Вт}.$$

Площадь элементарной площадки, выделенной на поверхности эллипсоида (рис. 1) равна

$$dF = \sqrt{1 + (r'_z)^2} r(z) d\varphi dz. \quad (6)$$

Отсюда вытекает выражение для определения площади пятна облучения

$$S_n = 2 \int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^{\phi(z)} \sqrt{1 + (r'_z)^2} r(z) d\varphi. \quad (7)$$

Внутренний интеграл легко берется, так как подынтегральная функция не зависит от угла φ . В этой связи формулу (7) можно переписать в удобном для использования виде

$$S = 2 \frac{b}{c^2} \int_{z_1}^{z_2} \sqrt{(2cz - z^2)c^2 + (c - z)^2 b^2} \arccos \left[\frac{b}{c} \cdot \frac{cz_0 + (c - z_0)z}{x_0 \sqrt{2cz - z^2}} \right] dz. \quad (8)$$

Элементарная сила излучения dJ , приходящаяся на площадку dF очевидно равна $E(\varphi, z)dF$. Учитывая соотношения (2) и (6), для определения средней облученности эллипсоида окончательно получим

$$E = 2 \frac{J_i}{S} \int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^{\phi(z)} \frac{[x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z)(z_0 - z)]r(z)}{[x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^{\frac{3}{2}}} d\varphi \quad (9)$$

Выражение (9) показывает, что среднее значение облученности зависит от расположения источника излучения. Эта зависимость показана на рис. 5.

Выводы. Как видим, наиболее существенное влияние на облученность имеет удаление (x_0) источника от облучаемой поверхности: с его увеличением среднее значение облученности резко падает. Приближение источника к центральной части эллипсоида ($z_0 = c = 0,0293$) увеличивает облученность. Но эта особенность при удалении источника (возрастании координаты z_0) ослабевает.

Список использованной литературы.

1. *Алексеев Ф.Ф.* Промышленное птицеводство / *Ф.Ф. Алексеев, М.А. Асриян, Н.Б. Бельченко и др.* – М.: Агропромиздат, 1991. – 554 с.
2. *Буртов Ю.З.* Инкубация яиц. Справочник / *Ю.З. Буртов, Ю.С. Голдин, И.П. Кривошишин* – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
3. *Міленін Д. М* Лазерна технологія знезаражування інкубаційних яєць / *Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О.В., Терещенко, О.Б. Артеменко* // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 134 – 136
4. *Лисиченко Н.Л.* О поглощении низкоинтенсивного лазерного излучения молекулами в тканях биообъекта // Проблемы бионики. – 2001. №54. – С. 108-111
5. *Лисиченко М.Л.* Опромінювальні світлотехнічні установки з когерентними джерелами випромінювання // Вісник ХДТУСГ “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 265-273

6. Лисиченко М.Л. Низькоенергетичні лазерні електротехноогії в тваринництві: Автореф. дис. ...доктора техн. наук / Хар. нац. техн. ун-т с.г. – Харків: 2006. - 40 с.
7. Патент України на корисну модель No 72084. України М ПК (2012) А01К 45/00. Спосіб обробки інкубаційних яєць / Д.М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О.В. Терещенко, О.Б. Артеменко (Україна). № u 2011 15208; Заявлено 22.12.2011; Опубл. 10.08.2012. Бюл.№19. – 4 с.
8. Бутиков Е.И. Оптика: учеб. пособ. [для студ. физ. спец. вузов] / Бутиков Е.И., Е.П.Бутиков, – М.: «Высшая школа», 1986. – 512 с.

УМОВИ ОПРОМІНЕННЯ РУХОМОГО ЕЛІПСОЇДА ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ

Миленин Д.М., Лисиченко М.Л.

Анотація - в результаті проведених теоретичних досліджень визначені граничні значення опроміненості точок на поверхні еліпсоїда при різних умовах розміщення точкового джерела випромінювання.

IRRADIATION CONDITIONS STILL ELLIPSOID POINT SOURCES

D. Milenin, M. Lysychenko

Summary

As a result of theoretical studies, investigations determined boundary values irradiance points on the surface of the ellipsoid under different conditions of placement of a point source of radiation

УДК 621.313.333+621.316.925.4

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Нестерчук Д.М., к.т.н.,

Рижков А.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (097)43-96-458

Анотація – робота присвячена розробці алгоритму для функціонування системи діагностування та захисту низьковольтних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором та його адаптації для конкретних типів електродвигунів.

Ключові слова: алгоритм, асинхронний електродвигун, система діагностування та захист, ідентифікація

Постановка проблеми. Однією з основних задач сучасних промислового і агропромислового виробництва є підвищення якості, конкурентоспроможності та економічності продукції, підвищення її надійності, зниження вартості, матеріалоємності і енергоспоживання. Тому особливий вплив на вирішення цього завдання надає надійність роботи асинхронних електродвигунів (АД), які використовуються як приводні механізми для обладнання промислового і агропромислового виробництва. Зазвичай дані АД розраховуються на термін служби до 5...20 років з проведенням капітальних ремонтів. Обов'язковою умовою при експлуатації АД є робота при номінальних або каталожних параметрах, що вказуються в паспорті АД. Однак необхідно зазначити, що реальні умови роботи низьковольтних АД з короткозамкненим ротором є умови, які далекі від необхідних. До чинників, що спотворюють номінальні експлуатаційні режими роботи АД, належать:

- спотворення напруги живлення, яке виникає наявністю несиметричного навантаження;
- несправності системи охолодження електричної машини;
- порушення правил технічної експлуатації – часті технологічні перевантаження, незадовільні умови навколишнього середовища, а

саме, підвищена вологість, агресивне середовище, перепади температури [1, 2, 3].

Анормальні режими роботи АД призводять до росту температури їх обмоток та, як наслідок, до скорочення строку служби. Залежно від теплового стану АД і навколишнього середовища ступінь їх впливу може бути різною: якщо різниця температур електродвигуна і навколишнього середовища невелика, а енергія, що виділяється, значна, то її основна частина поглинається обмоткою, сталлю статора і ротора, корпусом та іншими його частинами. Відбувається інтенсивне зростання температури ізоляції. По мірі нагрівання все більше проявляється вплив тепловіддачі.

Процес встановлюється після досягнення рівноваги між виділеним теплом і теплом, що віддається в навколишнє середовище. Ріст температури ізоляції обмоток є причиною старіння ізоляції обмоток статора та сприяє появі таких відмов, як міжфазні короткі замикання та виткові замикання [1–4].

Підвищення струму понад допустиме значення не відразу призводить до аварійного стану. Потрібен деякий час, перш ніж статор і ротор нагріються до граничної температури.

Тому немає необхідності в тому, щоб захист реагував на кожне перевищення струму. Він повинен відключати машину тільки в тих випадках, коли виникає небезпека швидкого зносу ізоляції. З точки зору нагріву ізоляції велике значення мають величина і тривалість протікання струмів, що перевищують номінальне значення. Ці параметри залежать, насамперед, від характеру технологічного процесу [3, 5].

Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації АД, з урахуванням їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі роботи або під час ремонту, впровадження нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту АД, а також удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів для системи діагностування та захисту АД.

Аналіз останніх досліджень. За даними статистичного аналізу, що зібраний та проаналізований багатьма авторами [1–8], саме обмотки статора є причиною виходу з ладу електродвигунів в 75...85% випадків, на пошкодження підшипникового вузла припадає 5...8%, пошкодження в роторі – 5...8% від загального числа відмов елементів конструкції АД.

За даними літературних джерел існують класичні методи побудови захисту, які ґрунтуються на застосуванні захисту від перевантаження статора при використанні діючого значення сили струму від часу спрацювання або часо-струмової характеристики [6].

До недоліків таких методів можна віднести неможливість контролю температури обмоток статора та ротора АД, а також неспрацювання захисту при багатократних пусках при включеному навантаженні.

Більшість методів та пристрої теплового захисту АД, які побудовані на сучасних мікропроцесорах, засновано на безперервному вимірюванні температури обмотки статора за допомогою вбудованого в фазні обмотки напівпровідникових термодатчиків.

Слід зазначити, що до недоліків такого підходу слід віднести інерційність термодатчиків та відсутність контролю температури ізоляції обмоток ротора. В [7] наведена детальна інформація щодо розрахунку теплового стану АД з застосуванням динамічних теплових схем заміщення АД. В [8] запропонований спосіб контролю температури ротора в стаціонарному режимі за даними вимірювання сили струму, напруги та ковзання.

Актуальним в наш час є впровадження комбінованого теплового захисту на базі сучасних мікроконтролерів, так як стало можливим вирішувати задачу діагностування АД та побудови комбінованого захисту для ізоляції обмоток, як статора, так й ротора АД, як при повільних, так й при швидких наростаннях теплових перевантажень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Створення алгоритму ідентифікації параметрів АД, як основи інформаційного забезпечення процесу експлуатації і ремонту АД, для зменшення ресурсних та енергетичних витрат.

Основні матеріали дослідження (основна частина). В процесі експлуатації і ремонту параметри і характеристики асинхронного електроприводу змінюються і вимагають свого визначення для забезпечення реального номінального навантаження на електропривод і подовження строку служби АД.

Тому є актуальною необхідність визначення реальних параметрів АД. Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє вирішувати проблему шляхом створення єдиної системи інформаційного забезпечення при функціонуванні системи діагностування та захисту АД з к.з. ротором.

Основою системи при експлуатації АД є моніторинг параметрів і технічного стану електроприводу.

Узагальнена система діагностування та захисту групи АД наведена на рис.1 [9].

Вхідними сигналами системи є фазні струми статора, напруга живлення та температура ізоляції обмоток АД. Збір даних з первинних перетворювачів щодо величин фазних струмів, напруги живлення та температури ізоляції обмоток здійснює вимірювальна частина ВПК.

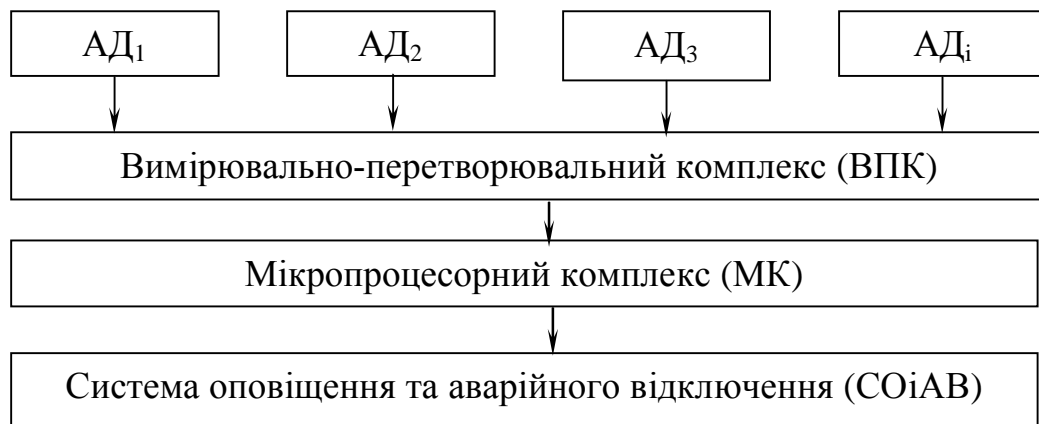


Рис. 1. Система діагностування та захисту групи АД.

Перетворення отриманих вимірювальних сигналів в дискретний вид здійснюється в частині перетворення ВПК системи. В МК системи реалізується алгоритм обробки вимірювальної інформації, реалізації моделі функціональної діагностики АД за величинами параметрів моделі діагностики, їх зберігання і відомостей про моніторинг роботи АД, а також надається рішення щодо можливості подальшої роботи, наявності виду несправності, визначення її розвитку та прогнозування очікуваного строку безвідмовної роботи АД.

Інформація щодо моніторингу роботи АД надається оператору за допомогою системи оповіщення. За необхідністю здійснюється відключення АД від мережі живлення.

За результатами моніторингу оцінюється фактичний технічний стан АД, розбіжність значень параметрів контролю, а також визначається критичний вузол, який потребує ремонту за результатами прогнозування, а не за графіком.

Загальними методами для реалізації моніторингу параметрів асинхронного електроприводу в процесі експлуатації є методи ідентифікації за вимірювальними сигналами згідно алгоритмів ідентифікації номінальних параметрів.

Алгоритм ідентифікації номінальних параметрів і параметрів динамічного режиму АД – це послідовність кроків, які дозволяють отримати при використанні вимірювально-перетворювального комплексу системи масиву даних усталених та перехідних процесів струмів та напруг, достатніх для подальшої процедури ідентифікації АД [10].

Початковими даними для алгоритму є сила електричного струму, що споживається АД, та допоміжні параметри, до яких належать – номінальна потужність, номінальний струм, номінальний коефіцієнт корисної дії АД, клас нагрівостійкості системи ізоляції, інтервал часу зчитування сили струму (крок дискретизації).

На основі вище наведеного масиву даних, який вводиться оператором в пам'ять мікроконтролера, останнім здійснюється ідентифікація опору фаз статора, а також аналітично визначається коефіцієнт втрат потужності a з урахуванням розподілу втрат потужності в АД в цілому.

Алгоритм складається з таких кроків:

- 1) визначення поточного часу;
- 2) дискретне вимірювання миттєвих значень сили струму АД;
- 3) обчислення діючого значення сили струму з числовою фільтрацією отриманих значень;
- 4) визначення середньоквадратичного діючого значення сили струму;
- 5) визначення кратності струму по відношенню до номінального струму

$$k = \frac{I}{I_{\text{ном}}} ; \quad (1)$$

- б) визначення усталеного перевищення температури електродвигуна над температурою навколишнього середовища

$$\tau_y = \tau_n \cdot \frac{a + k^2}{a + 1}, \quad (2)$$

де τ_n - номінальне перевищення температури електродвигуна над температурою навколишнього середовища, °C ;

- 7) визначення еквівалентної постійної часу нагрівання АД

$$T = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot \tau_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot \tau_2}{\Delta P_n}, \quad (3)$$

де c_1 – питома теплоємність міді, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

m_1 – маса міді (обмотки), кг;

$\tau_{1н}$ – номінальне перевищення температури міді, °C ;

c_2 – питома теплоємність сталі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

m_2 – маса сталі, кг;

$\tau_{2н}$ – номінальне перевищення температури сталі, °C [3];

- 8) визначення перевищення температури обмотки згідно рівняння нагріву обмотки

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_{\text{поч}} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (4)$$

де $\tau_{\text{поч}}$ – початкове перевищення температури обмотки АД, °C ;

t – поточний час, с;

9) визначення фактичної температури обмотки електродвигуна з урахуванням температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер}$

$$\Theta = \tau + \vartheta_{сер}; \quad (5)$$

10) перевірка умов

- якщо $\tau > \tau_n$, то в мікропроцесорному комплексі формується сигнал персоналу щодо початку теплового перевантаження;

- якщо $\Theta > \Theta_n$, то в мікропроцесорному комплексі формується команда на відключення АД.

Висновки.

1 Запропонований алгоритм може бути основою для побудови системи безперервного та неруйнівного діагностування асинхронних електродвигунів.

2 Наявність мікропроцесорного комплексу в системі діагностування дозволить оперативно адаптувати алгоритм і параметри системи під параметри конкретного типу асинхронного електродвигуна.

Список використаних джерел.

1. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб.заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.

2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин / Н.Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

3. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В.В.Овчаров. – К.: Изд – во УСХА, 1990. – 168 с.

4. Соркин М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы / М. Соркин // Новости электротехники. – 2005. – №2(32). – С. 36–38.

5. Закладний О.М. Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів / О.М.Закладний, В.В.Прокопенко, О.О.Закладний // Промелектро. – 2010. - №4. – С.36–40.

6. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения: учебник для Вузов / В.А.Андреев. - 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2006. – 639 с.

7. Невзлин Б.И. Определение температуры срабатывания термодетектора/ Б. И. Невзлин, Мохамед Аль-Фаваир, Е. Б. Ковалёв // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». - Донецьк: ДонНТУ, 2003. - Вип. 67. – С.185-189.

8. *Сивокобыленко В.Ф.* Микропроцессорная защита от тепловой перегрузки асинхронных электродвигателей/ В. Ф. Сивокобыленко, С. Н. Ткаченко// Технічна електродинаміка. Тем.вип. «Проблемисучасноїенергетики».Ч.1. – 2008. – С.47-52.

9. *Ніфантьєв О.М.* Система діагностики несправностей та моніторингу роботи групи асинхронних електродвигунів / О.М.Ніфантьєв, Д.М.Нестерчук // Зб. тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика». - Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2015. – С.133.

10. *Бешта О.С.* Ідентифікація параметрів електропривода в задачах енерго- і ресурсозбереження (розвиток теорії, розробка і впровадження): Дис...доктор. техн. наук; 03.09.03/ НГУ. – Дніпропетровськ, 2001. – 344 с.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Нестерчук Д.Н., Рыжков А.А.

Аннотация – работа посвящена разработке алгоритма для функционирования системы диагностирования и защиты низковольтных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и его адаптации для конкретных типов электродвигателей.

ALGORITHMIZATION TO RUN THE SYSTEM OF DIAGNOSTICS AND PROTECTION OF LOW-VOLTAGE INDUCTION MOTORS WITH SQUIRREL-CAGE ROTOR

D. Nesterchuk, A. Ryzhkov

Summary

The paper is devoted to the development of an algorithm to run the system of diagnostics and protection of low-voltage induction motors with squirrel-cage rotor and its adaptation for specific types of electric motors.

УДК 632.937+632.935

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ

Новиков Г.В., инженер

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: 0619-42-57-97

Аннотация – рассмотрены пути совершенствования технологического оборудования для предпосевной обработки зерновых питательным раствором в протравителях семян, в условиях электростатического поля.

Ключевые слова: распылитель, инкрустатор, зерно, предпосевная обработка, электротехнология, аэрозоль.

Постановка проблемы. Анализ тенденций установившегося развития полеводства, как самостоятельной и эффективной отрасли сельского хозяйства показывает, что одним из определяющих факторов стабилизации его продуктивности остается высокая технологическая дисциплина. При этом несовершенство технологий и технических средств химической защиты растений от вредителей и болезней, а также несоблюдение других агротехнических и технологических требований ухода и содержания садов приводят к избыточному содержанию пестицидов в почве, загрязнению водоемов и грунтовых вод, угнетению жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и уничтожению полезной микрофлоры [5, 7].

В свою очередь, целью инкрустации семян является защита молодых всходов растения в целом от бактериальных возбудителей, грибных и вирусных заболеваний, обеспечение стартовой дозой микро- и макроэлементов для дальнейшего развития и урожайности [3]. Обогащение семян микроэлементами и биологически активными веществами с помощью инкрустации семян защитно-стимулирующими составами - наиболее доступный способ повышения интенсивности биохимических преобразований в прорастающих семенах, а также стимуляция прорастания и развития растений.

В контексте сказанного выше следует рассмотреть симбиоз использования современных препаратов стимулирования и защиты семенного материала и электротехнологий. Нужны новые технологии и оборудование, построенное по рациональным принципам и выгодно

отличающееся от существующего, что позволяет обеспечить равномерность химической обработки и снизить расход дорогостоящих препаратов.

В этих условиях возрастает актуальность двух проблем [4, 5]:

- 1) выбора принципиальных схем средств химической защиты растений;
- 2) создания экологически безопасного опрыскивателя, способного значительно снизить загрязнение биосферы.

Практическая значимость результатов исследований в этом направлении заключается в экономии пестицидов и удобрений при опрыскивании растений и их семян.

Анализ последних исследований. Защита растений от болезней и вредных организмов - обязательное звено в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которое особенно важно в условиях интенсивного сельскохозяйственного производства. Защитные мероприятия можно осуществлять различными методами: агротехническим, физико-механическим, биологическим, химическим и др.

Среди всех основным методом внесения средств химической защиты растений остаются наземное опрыскивание, с помощью этого способа вносится до 76% всех используемых в сельскохозяйственном производстве препаратов [5]. Эффективность химической обработки зависит от срока обработки, ее качества и выбора препарата. Использование химических препаратов приводит к загрязнению окружающей среды и растительной продукции [7].

В зависимости от расхода рабочей жидкости различают опрыскивание полнообъемное (обычное), малообъемное, ультрамалообъемное и аэрозольное. При приготовлении рабочей жидкости химические препараты разбавляются водой. Промышленность производит фунгициды в нескольких препаративных формах: смачивающихся порошков (СП), концентрат эмульсии (КЭ), водные растворы (ВР), концентрат суспензии (КС), растворы для ультрамало-объемного опрыскивания (УМО) [3]. При малообъемном опрыскивании рекомендуется добавлять в рабочую жидкость антииспарители, при ультра- малообъемном - использовать жидкие препараты, содержащие не испаряющиеся растворители [7]. На долю полнообъемного опрыскивания приходится 30,5% используемых пестицидов; при малообъемном опрыскивании - 45%, при ультрамалообъемном - 0,5%. Остальные 24% средств химической защиты растений используют при протравливании посевного и посадочного материала, внесении гранулированных препаратов, опыливания и аэрозольных обработках [5].

Под методом ультрамалообъемного опрыскивания (УМО)

подразумевают обработку сельскохозяйственных растений с ещё более низкими нормами расхода рабочей жидкости: 1...5 л/га для полевых культур, 5...25 л/га - для многолетних насаждений. Именно этот метод подходит для предпосевной обработки зернового материала.

Исследованием этого способа и совершенствованием технических средств занимались: Вялых В.А., Кадыкало Г.И., Метревели В.И., Цымбал А.А. и многие другие исследователи [5]. Рабочая жидкость высокой концентрации распыляется на капли размером 60...150 мкм. Препараты для УМО, как правило, поступают с заводов-изготовителей в готовом виде и не требуют дополнительных затрат на приготовление. Это позволяет высвободить из производственного процесса опрыскивания дополнительную рабочую силу и механизированные средства, занятые на операциях подвозки воды, приготовления рабочих жидкостей и заправки опрыскивателей.

Принципиально технологические схемы практически всех известных опрыскивателей можно представить в виде последовательно выполняемых трех основных операций, таких как: подача и дозирование жидкости и разбиение на капли (диспергирование); равномерное нанесение в распыленном виде на объект (растения, семена). В зависимости от характера технической реализации этих операций и степени насыщенности опрыскивателя оборудованием, оптимизирующим параметры рабочих процессов, создано достаточно много разновидностей машин. Их систематизация по доминирующим признакам позволила определить возможные пути совершенствования, как отдельных систем опрыскивателей, так и принципа их действия в целом.

Большинство опрыскивателей имеют одинаковую компоновочную схему (структурную схему), в которую входят: резервуар, насос, фильтр, заправочное устройство, регулятор давления, распределительная система и распылители. Детальный анализ структуры опрыскивателей различных видов (ОВСА, ОВТ-А, ОН-400, ОПШ-15-01, ОПМ-2001, (Ш-2000-2-01, ОЗГ 120М, опрыскивающая аппаратура мотодельтаплана РО-2 АГРО) [5, 7] показал, что они обладают одинаковой технологической структурой.

При УМО опрыскивании снижение норм расхода жидкости в десятки и даже сотни раз по сравнению с малообъемным и обычным методами опрыскивания позволяет сократить до минимума непроизводственные затраты, связанные с регулярными заправками емкости опрыскивателя, так как одной заправки хватает на всю смену. Сама емкость может иметь значительно меньшие размеры, что позволяет создавать более компактные, облегченные УМО

опрыскиватели и агрегатировать их в технологических линиях.

В той или иной степени разработаны вопросы теории и сформировано устоявшиеся мнения на следующие основные точки зрения на механизм распыливания [4]:

- а) распад под влиянием ассиметричных возмущений, возрастающих под действием капиллярных сил;
- б) распад под воздействием турбулентных пульсаций, приводящих к отрыву отдельных частиц жидкости;
- в) распад под воздействием кавитационных явлений, возникающих вследствие колебательных процессов, которые сопровождают течение жидкости перед распыливанием;
- г) распад под влиянием внешних инерционных сил, роль которых становится весьма существенной при высоких скоростях истечений.

Во всех случаях причиной образования капель является колебательный процесс, развивающийся вблизи среза сопла распылителя [7]. Основным внешним фактором считают воздействие на поверхность струи аэродинамической силы, стремящейся деформировать и разорвать струю. Внутренними причинами являются различного рода начальные возмущения, связанные с конструкцией распылителя, качеством его изготовления, нарушением цилиндрической формы струи при выходе из сопла, вибрации сопла и др. Из физических параметров на распад струи жидкости наиболее существенно влияет вязкость и поверхностное натяжение, а также плотность жидкости и окружающего газа.

Из режимных параметров наиболее существенным является относительная скорость движения струи (пленки) жидкости в газовом потоке, которая, в свою очередь, во многом определяется способом распыливания.

Формулировка цели статьи. Определить перспективную ресурсосберегающую технологическую схему предпосевного опрыскивателя зернового материала и на ее основе предложить базовый вариант, который бы сочетал в себе принципы модернизации и трансформации технического облика с учетом:

- экологической безопасности;
- условий применения и эксплуатации агрегата;
- применения новых разработок рабочих и вспомогательных органов.

Основной материал исследования. В практике защиты растений сложившимся общепризнанным требованиям к современным технологиям и используемым в них техническим средствам, стало повышение эффективности вносимых препаратов при минимальных нормах их расхода. При анализе способов уменьшения загрязнения биосферы пестицидами установлено, что повышение эффективности вносимых пестицидов при минимальных нормах их расхода может

достигаться за счет принудительного осаждения капель на обрабатываемый объект, технического совершенствования систем опрыскивателей (распылителей, насосов, фильтров, дозаторов и т.д.).

На современном этапе развития технические средства для обработки растений пестицидами совершенствуются по следующим направлениям [7]:

- снижение норм расхода рабочей жидкости за счет повышения качества распыления;

- внедрение компьютерного контроля стабильности заданного режима опрыскивания с постоянной цифровой индикацией на табло в кабине трактора.

Наиболее разрабатываемыми и реализуемыми направлениями в обработке многолетних насаждений остается малообъемное и ультромалообъемное опрыскивание.

Но анализ разработок новых способов и технологий защиты растений и опыта использования в различных условиях существующих отечественных и зарубежных опрыскивателей показывает, что основным критерием при их создании является не сколько снижение норм расхода рабочей жидкости, сколько снижение потерь при опрыскивании и влияние на уровень загрязнения окружающей среды химическими веществами. Поэтому одним из реальных путей повышения качества опрыскивания и приведение его в соответствие с требованиями экологической безопасности является применение сильных электрических полей для электризации и осаждения диспергируемого жидкого пестицида на обрабатываемый материал, который также может подвергаться предварительной зарядке. Эффективность применения электроподзарядки капель посвящены работы: Турчина И.А., Уралова Ш.Н., Бородина И.Ф. [7]. В этом случае образующие факел распыла капли раствора искусственно заряжаются в сильном электрическом поле, т.е. частицам принудительно придается электрический заряд определенного знака (униполярная электризация). Дальнейшее осаждение аэрозоля происходит с участием электрических сил, которые по своей величине могут быть соизмеримы или в несколько раз превосходить силы гравитации (притяжения земли) и аэрогидродинамического давления воздушной среды (снос воздушным потоком). Если сравнивать традиционные способы опрыскивания, то иногда только 20 % распыленной жидкости достигают объектов обработки [6], а остальные 80% приходится на:

- мелкие капли, испарившиеся в воздухе (менее 50 мкм); -капли, унесенные за пределы обрабатываемой зоны воздушными потоками, будь то ветер или воздушный напор вентиляторных опрыскивателей (от 50 до 100 мкм);

-крупные капли, не удерживающиеся даже на шероховатых поверхностях обрабатываемого объекта под действием сил трения (более 300 мкм).

Достижение поставленных задач возможно при учете системных связей сложной комплексной системы, которые системно рассматривают конечный продукт в рамках технико-экономических показателей. Такой подход не всегда приводит к однозначному решению, однако, в любом случае ряд полученных решений будет дискретным и конечным по техническим характеристикам. Следовательно, результатом исследований будет конечный и дискретный ряд множеств требований к техническим характеристикам подсистем комплекса, при выполнении которых заданная эффективность СКС будет обеспечена.

Особенность этого подхода заключается в том, что предлагается количественный метод выбора характеристик электротехнического комплекса и интегральных характеристик отдельных его подсистем, заключающихся в определении оптимальных, с точки зрения технического уровня, его параметров, таким образом, чтобы выполнялся заданный общий технико-экономический критерий эффективности. В данной системе целесообразно решение прямой и обратной задачи. Применение обратной задачи к маркетинговым исследованиям представляет собой перспективное направление для разработчиков изделий высокого уровня (эффективность → критерии → параметры). Оценка взаимозависимости характеристик подсистем и их влияние на выполнение целевой задачи проводится по критерию Парето [1]

$$|W = W(a_{ji}) \rightarrow \min|, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n; \quad \{a_{ij}\} \subset A, \quad (1)$$

где A – область допустимых технических решений a_{ij} , определенная на этапе выбора технического решения и конструирования комплекса;

$W(a_{ij})$ – эффективность функционирования комплекса;

W – эталонная эффективность, определенная на высшем уровне иерархии технических решений комплекса, исходя из заданной эффективности достижения указанных показателей;

i, j – число технических комплекса и параметров окружающей среды с учетом особенностей объекта обработки.

Принцип Парето позволяет сократить множество исходных вариантов, т.е. исключить из неформального анализа те варианты решений, которые заведомо не будут удовлетворять условиям выбора.

Принцип Парето не выделяет единственного решения, а сужает множество альтернатив. Результаты парных сравнений по вариантам технических решений оцениваются в числовой форме по правилу

$$d_{m,k} = \begin{cases} 0, & \text{если оценка варианта } m \text{ меньше оценки варианта } k; \\ 1, & \text{если оценка варианта } m \text{ равна оценке варианта } k; \\ 2, & \text{если оценка варианта } m \text{ больше оценки варианта } k; \end{cases}$$

где $d_{m,k}$ – ячейка таблицы технических решений по адресу m и k ;
 m – строка указанной таблицы;
 k – столбец указанной таблицы.

Определение коэффициента относительного превосходства r_m принятых вариантов технических решений поставленных задач может осуществляться по формуле

$$r_m = \frac{\sum_{k=1}^f d_{m,k}}{\sum_{m=1}^f \sum_{k=1}^f d_{m,k}} = \frac{d_{m,k}}{\sum_{m=1}^f d_m}, \quad (2)$$

где f – количество вариантов технических решений комплекса.

Конечный вариант выбирается на основе критерия максимальности значения r_m . Учитывая, что при электростатическом опрыскивании и использовании МО и УМО, возможно осаждение до 90% капель, поскольку электростатическая сила (силы кулоновского притяжения) влияет на мелкие капли намного активнее, чем силы земного притяжения [6], а вариантов технической реализации зарядки капель и семян множество, то такой подход позволит сравнить варианты конструкции на этапе проектирования комплекса.

Известны три способа сообщения электрического заряда частицам: а) -контактный; б) - в коронирующем поле; в) - электродинамический. Общим для них является наличие высоковольтного генератора постоянного тока, один электрод которого непосредственно (при контактном способе) или через влияние (при коронирующем и электродинамическом способе) сообщается с рабочей жидкостью, другой — с зерном. В процессе электрочарядки распыливаемой жидкости на электрод опрыскивателя подается напряжение от 1 до 100 кВ. В опрыскивающих средствах с контактном и коронирующим зарядом частиц жидкости применяют распылители механического, гидравлического и акустического дробления. В установках электродинамического типа сообщение заряда и формирование частиц рабочей жидкости осуществляется одновременно электрическим полем электродов (рис. 1, 2).

Для достижения равномерности покрытия необходимо проводить зарядку самих семян (рис. 2). Причем знак статического заряда должен быть противоположным по знаку заряду раствора.

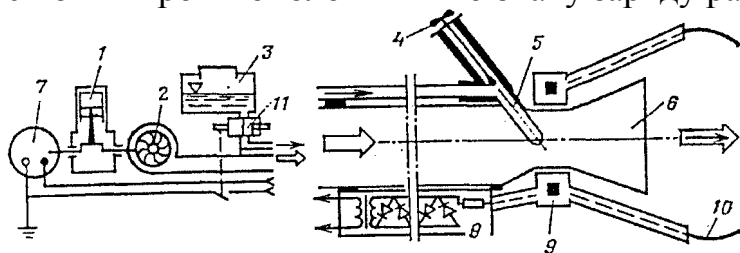
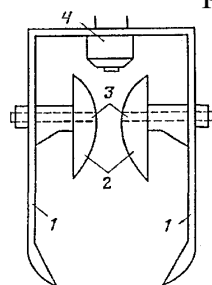


Рис. 1. Схематическое изображение электростатического опрыскивателя с дроблением струи потоком воздуха и зарядом частиц в коронирующем поле: 1 - двигатель; 2 - центробежный вентилятор; 3 - бак опрыскивателя; 4 - регулятор расхода жидкости; 5 - форсунка; 6 - сопло; 7 - электрический генератор; 8 - преобразователь напряжения; 9 - высоковольтный электрод; 10 - тонкий электрод; 11 - регулировочный кран.



1 - кожух;
2 - куполообразные накладки;
3 - электроды;
4 - дозатор зерна.

Рис. 2. Приставка для заряда семян зерновых при их подаче в корону опрыскивателя.

Анализ базовых данных по изученным информационным материалам показал, что современные опрыскивающие средства для садоводства не обеспечивают защиту растений от вредителей и болезней, обитающих на обратной стороне листа. Также не определен показатель оценки работы опрыскивателей, характеризующий обработку внутреннего объема кроны дерева как основного.

Выводы. Применение электродинамического способа опрыскивания, позволяет достичь более высокого качества обработки семенного материала по сравнению с обычным опрыскиванием за счет:

- однородности по размеру образуемых капель;
- увеличения количества закрепляемых пестицидов (более 50%);
- уменьшения расхода рабочей жидкости примерно в 20 раз без снижения эффективности обработок;
- возможность обработок при наличии возмущающих внешних или технологических воздушных потоков;
- лучшего прилипания к семенам.

Список использованных источников

1. *Абраменко Г.В.* Применение системного анализа в технике и экономике / *Г.В. Абраменко*, Под ред. *Ю.И. Краснощёкова* - М.: ЦЭИ Химмаш, 2001.-190с.
2. *Сахта А.А.* Механизация защиты растений: Состояние и перспективы. Обзор / *А.А. Сахта, А.Я. Фастов* - Ташкент, 1980. - 39с.
3. *Смелик В.А.* Предпосевная обработка семян нанесением искусственных оболочек / *В.А. Смелик, Е.И. Кубеев, В.М. Дринча.* – СПбГАУ, 2011. – 272 с.
4. *Соловьёва Н.М.* Технологии и технические средства для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней / *Н.М. Соловьёва.* - М.: ФГНУ " Росинформаг- ротех", 2001.-60с.
5. *Чернов В.А.* Новые перспективные способы и средства механизации защиты растений / *В.А. Чернов.* - М.: 1988. - 53с.
6. *Цымбал А.А.* Оценка качественных показателей опрыскивателя с электростатической подзарядкой капель / *А.А. Цымбал, Р.П. Яцков, Г.А. Кочедыков, А.А. Козьмин, В.А. Небавский* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №2, 2003. - с.44- 45.
7. *Яцков Р.П.* Технологический процесс и оборудование для опрыскивателей с элеткроподзарядкой капель / *Р.П. Яцков.* Специальность: 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства. Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М.: ГНУ «ВСТИСП». – 2005. – 144 с.

**ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ПЕРЕДПОСІВНОЇ
ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛЕЙ**

Новіков Г.В.

Анотація – розглянуті шляхи вдосконалення технологічного обладнання для передпосівної обробки зернових протруйниками живильним розчином у сильному електростатичному полі.

**ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX FOR THE
PRESOWING GRAIN PROCESSING ON THE BASIS OF
ELECTRICALLY CHARGED AEROSOLS**

G. Novikov

Summary

The ways to improve the technological equipment for the grain pre-treatment with protectant nutrient solution into electrostatic field environment are considered.

УДК 621.316.929

ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ТЕЛЕКОНТРОЛЮ ТА ЗАХИСТУ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Попова І.О., к.т.н.,

Курашкін С.Ф., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (0619) 42-32-63

Анотація – електронний пристрій діагностує режими роботи групи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі за рахунок контролю напруги зворотної послідовності і температури обмотки статора кожного асинхронного двигуна, забезпечує включення полегшуючого режиму роботи для кожного двигуна при глибокій несиметрії на час завершення технологічного процесу.

Ключові слова: витрати ресурсу ізоляції, швидкість теплового зносу ізоляції, коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності, аналог лямбда-діода.

Постановка проблеми. Велика аварійність асинхронних двигунів обумовлена особливостями експлуатації їх в агропромисловому комплексі, до специфічних умов якої слід віднести низьку якість напруги в мережі, зокрема, її несиметрію. Кожного року виходять з ладу 20-25 % працюючих в АПК асинхронних електродвигунів [1]. Несиметрія напруг мережі у сільських розподільчих колах 0,38/0,22 кВ викликана великою довжиною ліній електропередачі та змішаним підключенням однофазних і трифазних споживачів. Тому несиметричний режим є звичайним режимом зазначених сільських мереж.

Таким чином, розробка електронного пристрою телеконтролю режиму роботи асинхронних двигунів технологічної лінії при несиметрії напруг мережі і полегшення їх режиму експлуатації при обриві лінійного проводу (глибокій несиметрії напруг) є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи дослідження режимів роботи асинхронних двигунів, як правило, не враховують залежності їх від несиметрії напруги, завантаження робочих машин та особливостей їх механічних характеристик. За критерії оцінки режимів роботи асинхронних двигунів беруться, як правило, сила струму та температура обмотки, не використовується такий об'єктивний показник, як швидкість витрати ресурсу ізоляції обмоток двигунів.

З аналізу літературних джерел встановлено, що пристрої контролю режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі здійснюють контроль струму (максимального, мінімального і нульової послідовності), кута зсуву фаз між споживаними струмами, теплової дії струму, напруги (прямої, зворотної і нульової послідовностей) і температури (обмотки статора, сталі статора і корпусу). Існуючі пристрої відключають двигуни під час виконання технологічного процесу при досягненні граничного значення контрольованого параметру, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на ліквідацію наслідків аварійного відключення. Тому при розробці пристроїв діагностування і захисту доцільно передбачити полегшення режиму роботи аварійних двигунів на час завершення технологічного процесу у випадку глибокої несиметрії напруг і при досягненні несиметрії напруг гранично значення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). В роботі поставлена задача розробити удосконалений пристрій контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів з урахуванням коефіцієнта несиметрії напруги зворотної послідовності, коефіцієнта завантаження робочої машини та особливостей електроприводу.

Основні матеріали дослідження (основна частина). За результатами теоретичних і експериментальних досліджень про вплив несиметрії напруг мережі і коефіцієнта завантаження робочої машина на швидкість теплового зносу ізоляції асинхронного двигуна, зокрема, на температуру його обмотки, розроблено технічні вимоги до пристрою контролю, діагностування режимів роботи і захисту групи асинхронних двигунів:

- контроль напруги зворотної послідовності мережі на ввіді шафи керування технологічною лінією; світлову сигналізацію про досягнення несиметрії напруг гранично припустимого значення і включення пристрою симетрування напруг;

- контроль температури обмоток і напруги зворотної послідовності на кожному двигуні;

- включення полегшуючого режиму для кожного двигуна при глибокій несиметрії напруг на ньому;

- відключення двигуна від мережі при досягненні температури обмотки гранично припустимого значення;

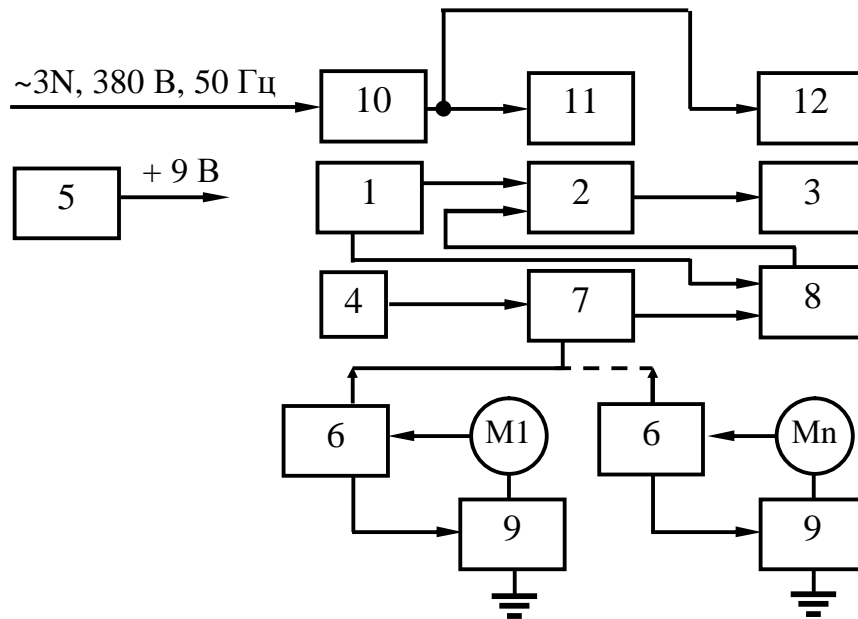
- дискретну індикацію режимів роботи контрольованих асинхронних двигунів і справності кіл датчиків.

Блок-схема пристрою діагностування, що дозволяє контролювати режим роботи чотирьох двигунів, показана на рис.1.

Датчик контролю аномального режиму б роботи асинхронного двигуна складається з фільтру напруги зворотної послідовності, первинного перетворювача температури і аналога лямбда-діода.

Фільтр напруги зворотної послідовності виконаний на базі двох резисторів і двох конденсаторів, які включені за мостовою схемою, також

підстроечного резистора, яким задається граничне значення несиметрії напруги мережі зворотної послідовності і обмежувального резистору.



1 – блок часових позицій; 2 – блок виявлення ушкоджень кіл датчиків та номеру аварійного двигуна; 3 – блок сигналізації й захисту від аномальних режимів двигунів і датчиків; 4 – кероване джерело напруги; 5 – стабілізоване джерело живлення; 6 – датчики аномальних режимів; 7 – L-C контур; 8 – блок виявлення вхідних сигналів; 9 – виконуючий орган; 10 – фільтр напруги; 11 – світлова сигналізація; 12 – симетруючий пристрій.

Рис. 1. Блок-схема пристрою діагностування режимів роботи асинхронних двигунів .

Аналог лямбда-діода утворюється за допомогою двох біполярних транзисторів, включених за схемою з об'єднаними емітерами (рис.2). На відміну від аналога лямбда діода на польових транзисторах, в цьому разі не треба формувати комплементарну пару. Первинними перетворювачами температури в датчику аномальних режимів є позистори, які встановлені в обмотках асинхронного двигуна.

Проведені аналітичне і експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) аналога лямбда-діоду з біполярними транзисторами показали можливість зміни його ВАХ у широких межах за рахунок включення в коло бази одного з транзисторів терморезистора R_2 [2, 3]. При досягненні температури обмотки електродвигуна гранично допустимого значення змінюється співвідношення величин опорів резисторів R_3 і R_2 , включених в кола баз транзисторів, що призводить до збільшення струму через аналог лямбда-діода, збільшенню ширини ВАХ аналог лямбда-діода.

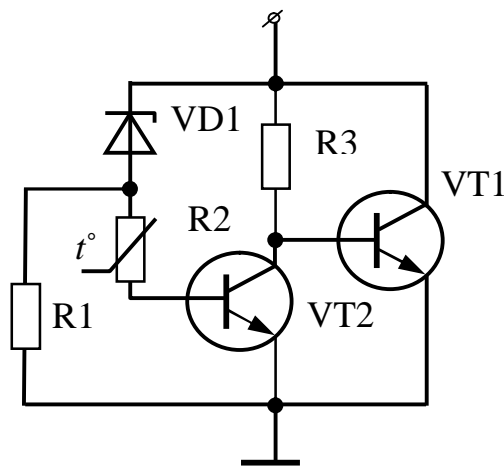


Рис. 2. Принципова електрична схема аналога лямбда-діода.

В коливальному L-C контурі 7 виникають гармонійні коливання, які в блоці виявлення вхідних сигналів 8 формують і подають сигнал до блоку 3 сигналізації й захисту від аномальних режимів двигунів і блоку 2 виявлення ушкоджень кіл датчиків та номеру аварійного двигуна. В разі обриву лінійного проводу (глибокій несиметрії напруги мережі) з фільтру напруги зворотної послідовності датчика контролю аномального режиму 6 подається сигнал на виконавчий орган 9 на об'єднання нульової точки обмотки статора асинхронного двигуна з нульовим проводом.

В якості виконавчого органа для включення полегшуючого режиму використано оптосемистор, який включено між нульовою точкою обмотки статора і заземленням корпусу двигуна. В цьому випадку, згідно теоретичним дослідженням, зменшуються фазні струми асинхронного двигуна до 20 %, швидкість теплового зносу ізоляції асинхронного двигуна, що працює при глибокій несиметрії напруги і з'єднанні нульових точок обмотки статора і джерела живлення зменшується на 60-90 % в порівнянні з аналогічним режимом роботи асинхронного двигуна з ізолюваною нейтраллю.

Датчики контролю аномального режиму роботи, які встановлюються на асинхронних двигунах потокової технологічної лінії, приєднуються до пристрою за допомогою одного проводу. Кількість датчиків дорівнює кількості контрольованих електродвигунів.

Висновки. Пристрій дозволяє підвищити експлуатаційну надійність групи електродвигунів за рахунок безперервного телеконтролю експлуатаційних режимів роботи, що дозволяє збільшити термін їхньої служби у сільськогосподарському виробництві і виявити номер електродвигуна, що працює у аномальному режимі.

Список використаних джерел

1. Некрасов А.И. Совершенствование системы технического сервиса и повышение эффективности работы сельских электроустановок. /А.И. Некрасов Автореф. дис... доктора техн. наук. – Краснодар: 2007 – 42 С.
2. Патент № 22526 Україна, МПК(2006) G01K7/16. Пристрій для контролю температури / А.Я. Чураков, І.О. Попова, С.Ф. Курашкін (Україна). – № 200612431; Заявл. 27.11.2007; Опубл.25.04.2007, Бюл. № 5.
3. Патент 28741 Україна, МПК (2006) H02H 7/09, G01K 7/16. Пристрій контролю електродвигунів при несиметрії напруги / А.Я. Чураков, І.О. Попова, С.Ф. Курашкін (Україна). – u2007 07338; Заявл. 2.07.2007; Опубл.25.12.2007, Бюл. № 21. 2007. – 7 С.

**ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ
ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Попова И.А., Курашкин С.Ф.

Аннотация – электронное устройство диагностирует режимы работы группы асинхронных двигателей при несимметрии напряжений сети за счет контроля напряжения обратной последовательности и температуры обмотки статора каждого асинхронного двигателя, обеспечивает включение облегчающего режима работы для каждого двигателя при глубокой несимметрии на время завершения технологического процесса.

**ELECTRONIC DEVICE OF TELEMETRIC CONTROL AND
PROTECTION OF THE GROUP OF THE INDUCTION MOTORS**

I. Popova, S. Kurashkin

Summary

Electronic device checks state of working groups of the for the induction motor at asymmetries of the voltages to network to account of the checking the voltage to inverse sequence and temperature windings статора each induction motor, provides cut-in relieving state of working for each engine under deep asymmetry for time of the termination of the technological process.

УДК 658.011.56

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЗЕРНОПУНКТАХ

Постнікова М.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (0619) 42-31-59

Анотація – приведені дослідження факторів, які впливають на енергоємність транспортних операцій на зернопунктах.

Ключові слова: раціональне використання електроенергії, електропривід, енергозбереження, транспортер, зернопункт.

Постановка проблеми. Поточна форма організації виробничих процесів на зернопункті забезпечує значне підвищення продуктивності і якості праці, зниження собівартості продукції, скорочення тривалості виробничого циклу і прискорення оборотності коштів. Поточний процес післяжнивної обробки зерна здійснюється без використання фізичної праці людини, яка приймає участь в цьому процесі, тільки спостерігаючи та регулюючи роботу машин і установок. Зерноочисно-сушильні пункти повинні безперебійно приймати зерно для сушіння та очищення для того, щоб забезпечити його повну збереженість. Матеріал, що обробляється, повинен надходити від однієї машини до іншої найкоротшим шляхом і, по можливості, не повертатись по пройденому шляху. Розвиток механізації та автоматизації технологічних процесів на зернопунктах пов'язаний з використанням великої кількості транспортних машин. Всі технологічні і транспортні операції виконуються з обов'язковою їх участю. Ступінь використання їх по продуктивності є основним критерієм, який визначає найголовніші техніко-економічні показники зернопункту. У зв'язку з цим досягнення економічності роботи електроприводів транспортерів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Систематичне недовантаження електродвигунів різко знижує важливі техніко-економічні показники зернопунктів.

Питання енергетики і динаміки транспортерів висвітлені в деяких роботах [1-4]. Експериментальні дослідження енергетики транспортерів в більшості випадків обмежувались виміром потужності на затискачах електродвигуна, що не може служити достатньою енергетичною характеристикою. Інші важливі параметри системи транспортер-електродвигун не визначались. Між тим, незважаючи на простоту

конструкції для транспортерів, як робочих машин, характерні деякі специфічні особливості, які вимагають більш детального вивчення, наприклад, процес пуску завантаженої норії, зміну моменту опору на валу норії в залежності від якості зерна і способу його подачі в башмак норії, величина моменту зрушення при раптових зупинках норії під навантаженням. З літературних даних [1-4] виходить, що перехідні режими роботи норії не вивчались, а енергетичні показники для усталеного режиму досліджені недостатньо.

Формулювання цілей статті. В роботі поставлена задача дослідження факторів, які впливають на енергоємність транспортних операцій на зернопунктах.

Основні матеріали дослідження. Існуючі формули для розрахунку потужності норії при однакових вихідних даних дають дуже велике розходження кінцевих розрахунків (200 % і більше) [1, 5]. Крім того, формули призначені для визначення потужності тільки при усталеному режимі роботи норії з рівномірним навантаженням. Особливості перехідних режимів і динаміки норії не враховувались із-за відсутності необхідних даних.

В загальному випадку потужність, яка потрібна для приводу транспортерів, визначається за таким виразом [1]

$$P = P_{xx} + P_{тп}, \quad (1)$$

де P_{xx} - потужність, яка необхідна для подолання опору при холостому ході машини;

$P_{тп}$ - потужність, яка необхідна для виконання технологічного процесу.

Для норії технологічний процес полягає в транспортуванні зерна на певну висоту. При постійній швидкості роботи робочий режим норії характеризується тільки її продуктивністю Q . Очевидно, що всілякі зміни продуктивності будуть викликати відповідні зміни складової потужності $P_{тп}$, тобто [1]

$$P = P_{xx} + kQ, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт, який показує приріст потужності норії.

Змінна складова продуктивності kQ , представляє собою навантажувальну потужність, яка потрібна для подолання корисних і шкідливих опорів, які виникають в робочому режимі норії. Ефективність роботи норії залежить від якості зерна, яке переміщується, вологості, засміченості, натурної ваги [6].

При роботі норії на вологому і сирому зерні виникають додаткові опори, які приводять до збільшення витрат енергії. Тому при розра-

хунку потужності норії необхідно було би урахувати вологість зерна. Однак, досвід експлуатації норій показав, що при роботі на сирому зерні, норії ніколи не досягають паспортної продуктивності внаслідок поганої сипкості зерна, зменшення коефіцієнта заповнення ковшів і зниження насипної ваги.

Результати дослідів дозволяють зробити висновки в тому, що найбільш важким режимом, з точки зору витрат енергії, являється робота норії на сухому зерні, при якому коефіцієнт завантаження норії близький до одиниці, а потужність досягає максимального значення. Із цього ясно, що розрахунок потужності, яка потрібна для приводу норії, можна вести без коректування на вологість зерна.

Розділення зерна за ознакою маси дозволяє виявити вплив маси зерна на енергоємність транспортування. При переміщенні зерна стрічковими транспортерами і підйому зерна норіями питомі витрати енергії будуть більші при роботі з легковаговим зерном, ніж з великоваговим. Це пояснюється тим, що при транспортуванні більш важкого зерна коефіцієнт завантаження механізмів підвищується, а продуктивність (по масі) транспортерів і норій збільшується. В результаті цього із-за зменшення питомої складової холостого ходу знижуються загальні питомі витрати електроенергії [6].

З підвищенням вологості зменшується об'ємна маса зерна, збільшується внаслідок набухання зерен скважистість, знижується сипкість. Зміна вказаних фізичних властивостей зернової маси з підвищенням вологості визиває зниження продуктивності транспортуючих механізмів і підвищення питомих витрат енергії на транспортні операції.

На енергоємність транспортних операцій значно впливає довжина маршрутних ліній. Для довгих маршрутів руху зерна питомі витрати енергії більші. Характеристика технологічного обладнання і його параметри також впливають на енергоємність операцій [6].

Основним фактором, який впливає на енергоємність транспортних операцій являється продуктивність. Для виявлення закономірностей були проведені дослідження і побудовані характеристики потужності в функції продуктивності $P = f(Q)$ (рис. 1) для норій НЗ-20, 2НЗ-20, 2ТКМ-10, шнека ЗАВ-40.03.010. Для цього була визначена активна потужність, яку споживає електродвигун приводу норії [5, 7]

$$P_{\text{спож.}} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{нор.}} \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{дв.}}}, \quad (3)$$

де Q – продуктивність норії, кг/с;

H – висота підйому матеріалу, м;

$\eta_{\text{нор.}}$, $\eta_{\text{пер.}}$, $\eta_{\text{дв.}}$ – відповідно ККД норії, передачі та електродвигуна.

Для скребкового транспортера [5, 7]

$$P_c = \frac{9,81 \cdot Q \cdot (H + f_c \cdot L \cdot \cos \alpha)}{\eta_{тр.} \cdot \eta_{пер.} \cdot \eta_{дв.}}, \quad (4)$$

де Q – продуктивність транспортера, кг/с;

H – висота підйому продукту, м;

f_c – коефіцієнт опору руху;

L – довжина транспортера, м;

α – кут нахилу транспортера до обрїю, град.;

$\eta_{тр.}$, $\eta_{пер.}$, $\eta_{дв.}$ – відповідно коефіцієнт корисної дії транспортера, передачі та електродвигуна.

Для шнекового транспортера [5, 7]

$$P_c = \frac{9,81 \cdot k \cdot Q \cdot (H + f_c \cdot L)}{\eta_{шн.} \cdot \eta_{пер.} \cdot \eta_{дв.}}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт, що враховує кут α нахилу шнека до обрїю;

Q – продуктивність шнека, кг/с;

H – висота підйому матеріалу, м;

f_c – коефіцієнт опору переміщенню матеріалу по кожуху;

L – довжина шнека, м;

$\eta_{шн.}$, $\eta_{пер.}$, $\eta_{дв.}$ – відповідно коефіцієнт корисної дії шнека, передачі та електродвигуна.

Для того, щоб урахувати вплив вологості зерна на енергоємність операцій транспортування зерна, були проведені дослідження на одному і тому же обладнанні, але при різній вологості зерна. Відомо, що з підвищенням вологості зерна знижується сипкість, зростає скважистість і зменшується об'ємна маса.

Зменшення об'ємної маси і сипкості при збільшенні вологості являється причиною зниження продуктивності транспортних механізмів зернопунктів, особливо норій. На рисунку 2 показані криві, які характеризують зміну продуктивності норії в залежності від вологості різних культур. Як видно, з підвищенням вологості знижується продуктивність, що в свою чергу, приводить до підвищення питомих витрат енергії. В середньому продуктивність при збільшенні вологості на 1 % знижується на 2 т/год.

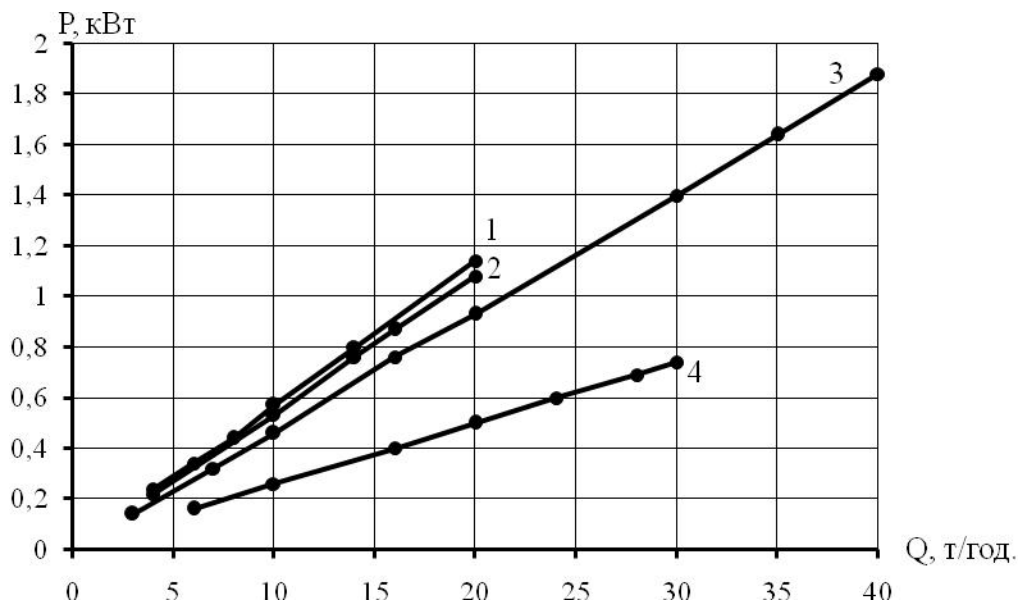


Рис. 1. Залежність $P_{дв.} = f(Q)$ для норій: 1 – 2ТКН-10 агрегату ЗАР-5; 2 – НЗ-20 агрегатів ЗАВ-20, ЗАВ-25; 3 – 2НЗ-20 агрегатів ЗАВ-40, ЗАВ-25; 4 – шнека ЗАВ-40.03.000 агрегату ЗАВ-40.

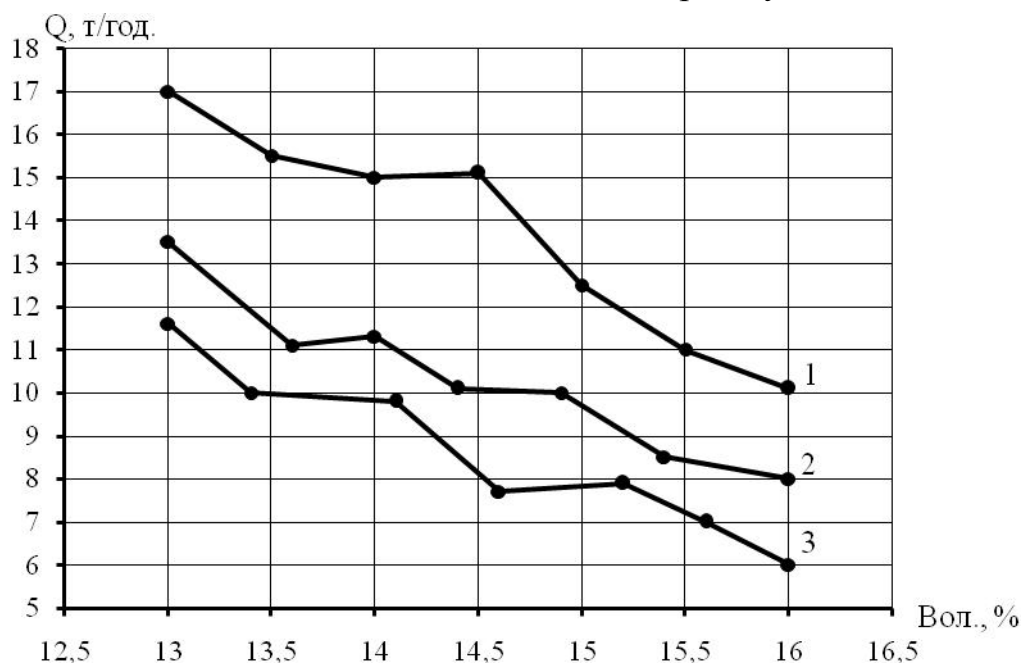


Рис. 2. Залежність продуктивності норій від вологості зерна для: 1 – пшениці, 2 – ячменя, 3 – рису.

Висновок.

При дослідженні факторів, які впливають на енергоємність транспортерів, було визначено, що основним фактором, який впливає на енергоємність транспортних операцій, являється продуктивність, яка в свою чергу залежить від вологості зерна. В середньому продуктивність при збільшенні вологості на 1 % знижується на 2 т/год.

Список використаних джерел.

1. *Сегеда Д.Г.* Исследование пусковых и нагрузочных режимов работы зерновой норрии для обоснования параметров электропривода: автореф. дис... канд. техн. наук / Д.Г. Сегеда. – М., 1964. – 26 с.
2. *Громак В.В.* Анализ статических и динамических характеристик электропривода машин зерноочистительного агрегата / В.В. Громак, Н.А. Устименко // Сборник работ по механизации и электрификации сельскохозяйственного производства / ВНИИМЭСХ. – М., 1969. – Вып. 11. – С. 186-197.
3. *Гончаров А.А.* Энергетические характеристики зерноочистительных агрегатов / А.А. Гончаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства Узбекистана. – Ташкент, 1975. – Вып. 77. – С. 28-31.
4. *Гончаров А.А.* Влияние подачи зерна на энергетические характеристики агрегата ЗАВ-20 / А.А. Гончаров // Применение электрической энергии и электробезопасность в сельском хозяйстве. – Ростов / Дон, 1974. – С. 20-22.
5. *Фоменков А.П.* Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий / А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1984. – 288 с.
6. *Ястребов П.П.* Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / П.П. Ястребов. – М.: Колос, 1973. – 331 с.
7. *Желтов В.С.* Механизация послеуборочной обработки зерна: справочник / В.С. Желтов, Г.Н. Павлихин, В.М. Соловьёв. – М.: Колос, 1973. – 255 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЗЕРНОПУНКТАХ

Постникова М.В.

Аннотация – приведены исследования факторов, которые влияют на энергоёмкость транспортных операций на зернопунктах.

STUDY OF ENERGY CONSUMPTION OF TRANSPORT OPERATIONS AT THE GRAIN POINTS

M. Postnikova

Summary

The author researches the factors that influence energy consumption of transport operations at the grain points.

УДК 621.31

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗНОШЕНІ ДЕТАЛІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Радько І.П., к.т.н.

Мархонь М.В., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування

Тел.: 067-661-57-44

Анотація - розглянуто питання дослідження контактних матеріалів при відновленні контактних вузлів електричних апаратів на твердість, утомленість та проникність.

Ключові слова: контакт, електричний апарат, напилення, твердість, втомленість, проникність.

Постановка проблеми. Існує проблема відновлення контактних вузлів комутаційних апаратів. Способи відновлення застосовуються різні. Після напилення контактних матеріалів необхідно провести дослідження на міцність зчеплення контактних матеріалів з зношеними деталями електрообладнання.

Формулювання цілей статті. Дослідити міцність зчеплення контактних матеріалів на зношенні деталі контактних вузлів.

Основні матеріали дослідження. Для визначення міцності зчеплення контактних матеріалів до основи при відновленні контактів необхідно визначити твердість, втомність та проникність.

Твердість оцінюється опором, що одне тіло робить проникненню в нього іншого, більш твердого тіла. Ця характеристика відбиває цілий комплекс механічних властивостей. Випробування на твердість матеріалів з покриттями проводиться для контролю якості нанесеного шару, виявлення змін у поверхневих ділянках основного металу, для оцінки структурної неоднорідності по перерізу покриття, з метою дослідження закономірностей зношування покриттів, визначення міцності з'єднання покриття з основним металом тощо. Дані про твердість широко використовуються завдяки ряду переваг цього методу: можливість 100%-го контролю деталей після нанесення покриття, випробування не є руйнуючими, виміри можна робити безпосередньо на контакт-деталі; серійні прилади не складні побудовою, продуктивні і зручні в експлуатації.

Існують стандарти, що регламентують вимірювання твердості [1]. Стандарт визначає параметри і межі допустимої похибки стаціонарних твердомірів, що випускаються вітчизняною промисловістю.

Метод вимірювання твердості по Роквелу завдяки простоті й оперативності вважається одним з найпоширеніших. Сутність його полягає в тому, що у випробувану поверхню вдавлюється алмазний конус чи сталева кулька. Безрозмірною одиницею твердості є величина, що відповідає переміщенню кінцевика на глибину $2 \cdot 10^{-3}$ мм. Переміщення фіксується індикатором годинникового типу, а значення твердості фіксуються безпосередньо на шкалі твердоміра. Діаметр кульки 1,5875 мм (1/16 дюйма), кут при вершині алмазного конуса 120° (2,1 рад). Для того, щоб усунути вплив вібрації і тонкого поверхневого шару, робиться попереднє навантаження зусиллям 100 Н (10 кгс). Потім діє основне навантаження: для шкали А — 490 Н (50 кгс), для шкали В — 883 Н (90 кгс) і для шкали С — 1472 Н (150 кгс). По різних шкалах відліку значення твердості позначаються HRA, HRB, HRC.

Твердість за Бринелем (HB) визначають, головним чином, у м'якого основного металу: сталі після відпалу, нормалізації, бронз, латуней тощо. Суть методу полягає в тому, що в поверхню зразка вдавлюється сталева загартована кулька діаметром 10 або 2,5 мм. Регламентується час витримки під навантаженням і величина навантаження, причому остання підбирається таким чином, щоб її відношення до квадрата діаметра кульки було постійним. Значення твердості визначається за діаметром відбитка, що залишився на поверхні зразка після зняття навантаження.

Відповідно до стандарту [1], вимірювання твердості по Віккерсу проводяться при навантаженнях від 9,8 Н (1 кгс) до 980 Н (100 кгс). За схемою навантаження метод нагадує вимір твердості по Бринелю, тільки індентором виступає чотирикутна алмазна піраміда з кутом між протилежними гранями $2,38$ рад (136°). Числове значення твердості по Віккерсу (HV) визначають по довжині діагоналі відбитка, використовуючи спеціальні таблиці. При вимірі твердості необхідно, щоб мінімальна товщина покриття була більше діагоналі відбитка в 1,2 рази. Методом Віккерса можна вимірювати твердість поверхневих шарів покриття товщиною до 0,03—0,5 мм.

Розмірність значень твердості, визначених по методу Бринеля чи Віккерса, однакова — Па (МПа) ($\text{кгс}/\text{мм}^2$); крім того, для матеріалів із твердістю до HB 450 числа твердості збігаються. Метод звичайно застосовують для матеріалів, у яких HB > 360, тобто для термозміцнених сталей, зносостійких покриттів тощо. З усіх методів виміру твердості розглянутий найбільш досконалий, тому що дозволяє одержувати чисельні значення практично для будь-яких матеріалів і в будь-яких інтервалах твердості.

Методом мікротвердості знаходять твердість мікрооб'ємів покриття. Основне призначення методу — дослідження твердості окремих часток, структурних складових, а також анізотропії твердості в різних ділянках покриття. Розрізняють два методи іспитів: по відновленому відбитку (основний метод) і по невідновленому відбитку (додатковий метод) [3, 6]. Результат іспиту за першим методом характеризує опір матеріалу пластичної і пружної деформації при вдавненні алмазного наконечника статичним навантаженням протягом визначеного часу. Після зняття навантаження і видалення наконечника вимірюють параметри відбитка, що залишився, за яким, користаючись формулами і таблицями, визначають величину мікротвердості. Найбільше поширення одержали випробування з застосуванням кінцевика у формі чотирикутної піраміди з квадратною підставкою з кутом, що складає $2,38$ рад (136°). Тривалість дії навантаження повинна бути не менш 3 с. Шорсткість робочої поверхні (площина шліфа) $R_a \leq 0,32$ мкм. Значення мікротвердості H у цьому випадку обчислюють за формулою:

$$H=1,854 \cdot P/d^2,$$

де P - нормальне навантаження, що прикладене до алмазного кінцевика;

d - середнє арифметичне довжин обох діагоналей квадратного відбитка.

Для полегшення визначення числових значень мікротвердості при різних навантаженнях складені спеціальні таблиці. Діапазон застосовуваних навантажень $0,049$ — $4,905$ Н.

Зразками для вимірів мікротвердості служать металографічні шліфи. Мікротвердість покриття можна визначати на повздовжніх і поперечних шліфах. При використанні поперечних шліфів з покриттями слід дотримуватися наступних умов: відстань від центра відбитка до грані покриття повинно бути не менш подвійного розміру відбитка; відстань між центрами відбитків нанесених на поверхню покриття, повинне перевищувати розмір відбитка більш ніж у три рази. У дослідницькій практиці для визначення мікротвердості покриттів найчастіше використовується прилад марки ПМТ-3.

До недоліків методу виміру мікротвердості варто віднести високий рівень похибки, що особливо зростає при дослідженні покриттів із застосуванням малих навантажень. Тому бажано, щоб діагональ відбитка була не менше 8 — 10 мкм. Величина похибки залежить від ідентичності навантаження, вибору оптимального навантаження, якості налаштування систем приладу й інших причин.

Оцінка втомленої міцності. Під терміном «втома» розуміють процес поступового нагромадження пошкоджень матеріалу під дією змінних напруг, що призводить до зміни властивостей, утворенню і розвитку тріщин і руйнуванню [3].

Втома залишається однією з найважливіших проблем машинобудування, тому що більш 80% руйнувань деталей і конструкцій носять характер втоми.

За результатами досліджень зразків з покриттями на втому можна: відпрацювати технологію напилювання покриттів; вибрати оптимальне сполучення хімічного складу, структури і властивостей матеріалів покриття й основного металу; розраховувати і проектувати конструкції; проводити проміжний і вихідний контроль якості композиції «покриття — основний метал»; здійснювати контроль відповідальних деталей з покриттями перед експлуатацією.

Особливістю досліджень на втому матеріалів з покриттям є велика кількість факторів, що впливають на межу витривалості. Головними з них можна відзначити наступні: будова покриттів і основного металу (структура, пористість, шорсткість, товщина покриття, характер з'єднання на межі розділу або наявність перехідної зони тощо.); технологія виготовлення зразків (розміри і форма, наявність відсутності концентраторів напруг, спосіб нанесення покриттів, величина розподілу і знак залишкових напруг, попередня підготовка поверхні металевого зразка перед нанесенням покриття тощо); режим навантаження (частота, період, максимальна напруга, амплітуда, коефіцієнт асиметрії циклу напруг тощо); середовище експлуатації (наявність агресивного середовища, підвищена чи знижена температура тощо).

Підвищення зносостійкості, поліпшення захисних властивостей і багатьох експлуатаційних характеристик покриття звичайно супроводжуються зниженням втомленої міцності.

Модель механізму зародження тріщини в композиції «основний метал - покриття» при циклічному навантаженні запропонована в роботах [4]. Схема заснована на припущенні, що покриття блокує дислокації в поверхневому шарі основного металу і знижує розвиток пластичної деформації. При навантаженні джерело дислокацій починає функціонувати, випускаючи дислокації. Границя «покриття - основний метал» блокує дислокації, створюючи локальні підвищення їх щільності. У мікрооб'ємі, що безпосередньо прилягає до границі, утворюється плоске скупчення граничних дислокацій, причому вони можуть знаходитися на настільки близькій відстані один від одного, що їх екстраплощини зливаються, викликаючи появу розтягуючих напруг σ_{\perp} . Якщо покриття достатнє крихке, то розтягуючі напруги призводять до виникнення в покритті мікротріщин, що поширюються в основний метал.

Відповідно до іншої схеми, поява і поширення тріщин може відбуватися безпосередньо від поверхні покриття. Відомо, що навіть на гладких зразках при циклічному напруженні тріщини з'являються насамперед на поверхні. Що стосується поверхні покриття, на якій зав-

жди є готові концентратори напруг у вигляді порожнин, нерівномірностей, то вона відіграє роль джерела тріщин і зменшує довговічність композицій «основний метал — покриття».

Очевидно, залишкові внутрішні напруження, що виникають при формуванні покриття, відіграють двояку роль при виникненні і поширенні втомлених тріщин. Якщо в покритті і приповерхневих шарах основного металу є стискаючі залишкові напруження, то вони збільшують довговічність, затримуючи зародження і поширення втомлених тріщин. При утворенні напруг розтягування (що відбувається частіше), несприятливих з погляду конструктивної міцності, руйнування зразка прискорюється завдяки посиленню напруженості стану та ініціюванню утворення тріщин.

Отримано результати, які показують зв'язок довговічності газоплазмових покриттів з карбїду титана з розподілом залишкових напруг по товщині покриття. У поверхневому шарі покриття значні напруження розтягування призводять до відшарування покриття вже в початковий період навантаження. Залишкові напруження стиску, які виявлені в центральній частині шару і досягають 450 МПа, змінюють характер тріщиноутворення, переносячи осередки зародження тріщини під покриття.

Втомлені навантаження зразків з покриттями іноді супроводжується відшаруванням покриття від основного металу. Руйнування може носити адгезійний, когезійний або змішаний характер. В окремих випадках втомлена міцність обмежується міцністю зчеплення покриття з основним металом.

Мікроскопічні дослідження поперечних шліфів, що вирізані із зон втомленого руйнування, виявили велику кількість тріщин, перпендикулярних границі покриття з основним металом. Звичайно тріщини проходять через частки і зупиняються на межі, що розділяє частки. Ця особливість характерна як для крихких покриттів, так і для пластичних.

Експерименти проводилися на спеціальній установці, що складається з двох пристроїв. Один з них призначений для визначення довговічності, а інший - для дослідження закономірностей зародження і поширення втомлених тріщин. Дослідження проводилися за такою методикою. На стандартні зразки наноситься покриття й оцінюється його вплив на опір втоми в порівнянні з контрольними зразками. Розміри гладких зразків круглого і прямокутного перерізу, застосовуваних для утомлених дослідів, стандартизовані. Виготовляються типові машини для дослідів по різних схемах навантаження: чистий і консольний вигин обертового зразка, вигин плоских зразків, розтягання – стиск, скручування. Стандарт [5] визначає характеристики механічних, електромеханічних і гідравлічних машин. Нормуються наступні

параметри: найбільше сумарне навантаження, найбільша амплітуда навантаження, частота циклів комутації апаратів. Дослідження плоских контактів з покриттями проводяться на комбінованих експериментальних установках, що дозволяють визначати границю витривалості, будувати криві малоциклічної втоми, спостерігати за процесом зародження тріщини в покритті від задалегідь створеного концентратора напруги, визначати кінетику поширення тріщини в покритті та в основному металі.

Методика втомлених дослідів, при якій реєструється тільки кількість циклів до зношення, не відповідає зростаючим вимогам практики, не дає картини поширення втомлених тріщин. Тому, все частіше проводяться дослідження з безперервною реєстрацією довжини тріщини, що розвивається.

Виникаючі в шарі напруги обумовлюють низькі механічні властивості металізованих покриттів. Як видно з даних табл. 1, на міцність покриттів мало впливає спосіб нанесення (електродуговий або газоплазмовий).

Таблиця 1 - Механічні властивості металізованих покриттів

Метал	Тимчасовий опір, кг/см ²				Твердість по Бринелю	
	при розтягванні		при стисканні		ЭМ-3	ГИМ
	ЭМ-3	ГИМ	ЭМ-3	ГИМ		
Мідь МІ	8,2	5,4	28,4	32,0	66	64
Латунь Л62	3,8	5,2	18,5	20,4	50	63
Алюміній А99	5,4	5,0	14,2	13,1	27	26
Цинк Ц1	3,4	3,2	11,5	10,7	20	20
85% Ag+15% CdO	9,1	5,7	28,2	33,0	88	105
85% Cu+10% Mo+ +2% MoO ₃ +1% C+2% Ni	8,7	5,3	18,9	19,7	95	85

Напилений метал відрізняється низькою пластичністю і ударною в'язкістю, в зв'язку з чим руйнування покриттів відбувається з утворенням крихкого зламу.

Не дивлячись на низькі механічні властивості напилених покриттів, їх міцність при сумісній роботі достатня, щоб відновлені контакти витримали комутаційний ресурс в 300 тис. циклів комутації. Під дією зусиль розтягування, згинання і скручування руйнування металізованих покриттів контактів відбувається лише після того, як буде перебілена границя пружних деформацій основи. Така поведінка покриттів пояснюється тим, що напилений метал має низький модуль пружності, котрий наприклад, для напиленої міді дорівнює 4000 кг/мм²

(замість 10000 кг/мм² для литої). Тому навантаження, яке сприймається контактотримачем і покриттям, буде розподілятися між ними пропорційно величинам їх модулів пружності. Таким чином, під час роботи контакту, нанесене на нього покриття, завжди відчуває в декілька більшу напругу, ніж сам контактотримач.

Характерною особливістю металізованих покриттів, як вже відмічалось вище, є їх пористість і внаслідок цього більш низька, ніж у попереднього металу, густина (табл. 2).

Таблиця 2 - Густина газоплазмових покриттів різноманітних матеріалів

Метал	Густина напиленого металу	
	г/см ³	% від густини порошку
1. Алюміній	2,41	90
2. Цинк	6,36	80
3. Олово	6,43	88
4. Мідь	7,53	84
5. СОК-15 (85 % Ag+15 % CdO)	8,11	85
6. 85% Cu+10% Mo+ +2% MoO ₃ +1 % C+2% Ni	8,05	83

Кількість порожнин і їх розміри, а відповідно, і густина напиленого металу в залежності від умов металізації змінюються в широких межах. В багатьох випадках пористість покриттів виключає можливість їх застосування, в інших вона є властивістю корисною.

Пористість покриттів, їх забруднення оксидами і характер зв'язку часток одна з одного є причиною значної різниці властивостей покриттів від властивості металів до їх напилення. Дані про зміну деяких властивостей покриттів, отриманих внаслідок газоплазмового напилювання, наводяться в табл. 3.

Оцінка проникності. Проникність - це здатність матеріалу пропускати крізь себе рідини та газу. Особливо важливо знати проникність для захисних покриттів, що працюють в агресивному середовищі при високій температурі. Числовими критеріями проникності є коефіцієнти проникності K_p і фільтрації K_f . Проникність збільшується зі збільшенням пористості, а також залежить від перепаду напруг у зразку, товщини та анізотропії покриття.

Звичайно спостерігається гарна кореляція між значеннями пористості та проникністю. Це може бути використано, для виявлення мікротріщин покриття. При аналізі плазмових та окисних покриттів було знайдено, що газопроникність на порядок або більше перевищує значення їх відкритої пористості. В результаті мікроскопічних досліджень покриттів зафіксували наявність мікротріщин, які збільшуючи

пористість різко підвищують газопроникність. Проникності покриттів, отриманих різними методами, можуть відрізнятися на п'ять порядків, але навіть найбільш міцні газоплазмові покриття не зможуть надійно захистити від корозії в особливо агресивних середовищах [6,7,8.].

Таблиця 3 - Деякі фізичні властивості напилених металів

Метал	Теплоємність (при 15°C), ккал/кг · град		Коефіцієнт теплопровідності λ , кал/м ² град	
	Напиленого	Литого	Напиленого	Литого
Цинк	0,082	0,092	60,0	95,0
Алюміній	0,193	0,214	31,0	123,0
Латунь	—	—	12,0	73,5
СОК-15 (85% Ag+15% CdO)	0,213	—	20,0	—
85 % Cu+10 % Mo+ +2% MoO ₃ +1% C+ 2% Ni	0,028	—	24,0	—
Метал	Коефіцієнт теплового розширення α , 10 ⁻⁶ мм/мм °C		Питомий опір ρ , Ом·мм ² /м	
	Напиленого	Литого	Напиленого	Литого
Цинк	12,4	32,0	0,142	0,06
Алюміній	12,1	23,7	0,295	0,029
Латунь	11,8	17,2	0,817	0,07
СОК-15 (85% Ag+15% CdO)	10,3	-	0,28	-
85 % Cu+10 % Mo+ +2% MoO ₃ +1% C+ 2% Ni	10,4	-	0,32	-

Висновки. Проведеними експериментальними дослідженнями відновлення контактних вузлів встановлено, що отриманні локальні покриття з різноманітних контактних матеріалів характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю. Твердість матеріалів з покриттям, утомленість та проникність дозволяють стверджувати, що відновленні контакти витримують комутаційний рух в 300 тисяч циклів комутацій. Тривалість роботи електричного апарату продовжується. Підвищується економічна ефективність.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 2999-75. Металлы. Метод определения твердости по Викерсу.
2. ДСТУ 2846-94. Контактори електромагнітні низьковольтні.

3. ISO 2740.-86. Матеріали металеві спечені. Зразки для випробування.
4. *Кади́ров В.Х.* Високоенергетические процессы газоплазменного напыления / *В.Х. Кади́ров.* – К: ИПМ, 1995-52ст.
5. ISO 4498-90. Матеріали металеві спечені. Визначення уявної твердості матеріалів в основному з рівномірною твердістю у перерізі.
6. *Коханівський С.П. Наливайко В.А. Коробський В.В.* Вплив хімічного середовища на роботу комутаційних апаратів. Тези науково-практичної конференції «проблеми АПК: пошук, досягнення». К: УДАУ, 1993р.
7. *Радько І.П.* Дослідження мікроструктури робочих поверхонь відновлених контакт-деталей після випробування на їх електроерозійну стійкість. Журнал «Энергосбережение. Энергетика, энергоаудит». Харьков. №1. 2012р.
8. *Радько І.П.* Металографічний та рентгеноспектральний аналіз структури робочої поверхні дослідних контактів при комутації змінного струму, відновлених методом газоплазмового напилення. Журнал «енергетика і автоматика» НУБіП України №2. Київ 2012р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОШЕННЫЕ ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Радько І.П., Мархонь М.В.

Аннотация - рассмотрено вопрос исследования контактных материалов после восстановления контактных узлов энергетических аппаратов на твердость, утомленность и проникновения.

RESEARCH ADHESION STRENGTH COMPOSITE CONTACT MATERIALS ON THE WORN PARTS ELECTRIC

I. Radko, M. Markhon

Summary

The issue of studying contact materials after restoration of contact nodes of electrical apparatus for hardness, weariness and permeability was considered.

УДК 621.313.8 : 631.53.027

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕНЕРГІЮ ПРОРОСТАННЯ ТА ЗДАТНІСТЬ ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Савченко В.В., к.т.н.

Синявський О.Ю., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044) 527-85-22

Анотація – проаналізовано вплив магнітного поля на фізико-хімічні процеси, які відбуваються в насінні зернових культур. Встановлено залежності енергії проростання і здатності проростання зерна пшениці від магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі. Визначено найефективніші режими обробки насіння.

Ключові слова: енергія проростання, здатність проростання зерна, пшениця, магнітна індукція, швидкість руху насіння.

Постановка проблеми. Застосування електротехнологічних методів передпосівної обробки насіння зернових культур дає можливість збільшити їх врожайність, зменшити захворюваність рослин і підвищити якість продукції.

Одним з перспективних методів передпосівної обробки насіння є їх обробка в магнітному полі. У порівнянні з іншими електрофізичними методами він є високопродуктивним, енергозберігаючим, екологічним і безпечним для обслуговуючого персоналу.

Для впровадження цієї технології необхідно встановити механізм впливу магнітного поля на насіння зернових культур, визначити оптимальні режими їх обробки і параметри відповідного обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Відомі приклади успішного використання передпосівної обробки насіння зернових культур у магнітному полі при магнітній індукції 0,04 – 0,06 Тл. Для цього встановлювали над стрічкою вивантажувального транспортера ТЗК-30 шість пар магнітних модулів на відстані 110 мм один від одного і від стрічки транспортера при швидкості руху насіння 1–1,3 м/с [1].

Проте дослідження впливу на зерно магнітного поля з магнітною індукцією понад 0,01 Тл не проводилися, тому запропонований режим обробки не є оптимальним.

У зв'язку з цим виникла необхідність у проведенні досліджень впливу магнітного поля на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в насінні, і визначення оптимальних режимів обробки.

Постановка завдання. Встановлення впливу магнітного поля на енергію проростання і здатність проростання зерна пшениці.

Основна частина. Обробка насіння рослин в магнітному полі впливає на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в ньому.

Встановлено, що магнітне поле впливає на швидкість хімічних та біохімічних реакцій, які протікають в клітинах рослин, що сприяє стимуляції насіння, росту та розвитку рослин. Швидкість хімічної реакції залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі:

$$\omega_m = \omega \exp(\mu(K^2 B^2 + 2KBv)N_a / 2RT), \quad (1)$$

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

μ – зведена маса часток, що беруть участь у хімічній реакції, кг;

B – магнітна індукція, Тл;

v – швидкість руху насіння, м/с;

K – коефіцієнт, що залежить від концентрації та виду іонів, м/с·Тл;

N_a – число Авогадро, молекул/моль;

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

T – температура, К.

Під впливом магнітного поля збільшується розчинність солей і кислот, що знаходяться в клітині, що також є стимулюючим фактором у життєдіяльності рослин [2].

Магнітне поле сприяє прискоренню дифузії молекул через клітинну мембрану, в тому числі кисню [3]. Збільшується концентрація кисню в клітинах і пригнічується процес спороутворення фітопатогенних грибків, що сприяє підвищенню врожайності зернових культур та зменшенню захворюваності рослин.

Крім того, підвищення проникності клітинних мембран і швидкості хімічних реакцій при обробці насіння в магнітному полі викликає збільшення водопоглинання насіння, що прискорює розвиток рослин і сприяє підвищенню врожайності [4].

Під дією сили Лоренца посилюється транспорт іонів через клітинну мембрану, внаслідок чого зростає концентрація мінеральних елементів у клітині [5].

Всі ці процеси призводять до збільшення енергії проростання зерна та його здатності проростання.

Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на енергію проростання і здатність проростання зерна проводили з пшеницею сорту «Наталка». Зерно пшениці переміщувалося на транспортері через магнітне поле, створюване постійними магнітами.

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0 – 0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху насіння через магнітне поле становила 0,4 м/с, а температура – 20 °С.

Оброблене в магнітному полі насіння пшениці пророщували згідно ГОСТ 10968-88 [6].

Енергію проростання зерна у відсотках визначали за формулою:

$$E = \frac{500 - n}{500} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де n – кількість зерен, що не проросли за 72 год, шт.;
500 – кількість зерен в аналітичній пробі.

Здатність проростання зерна у відсотках обчислювали за формулою:

$$ЗП = \frac{500 - n_1}{500} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

де n_1 – кількість зерен, що не проросли за 120 год, шт.

Дослідження спільного впливу магнітної індукції і швидкості руху зерна на його енергію проростання та здатність проростання при магнітній обробці проводилися з використанням теорії планування експерименту.

На основі проведених однофакторних експериментів були визначені значення верхнього, нижнього і основного рівнів фактора, які становили для магнітної індукції відповідно 0,015; 0,65 і 0,115 Тл, для швидкості руху зерна – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

Експериментальні залежності енергії проростання зерна пшениці від магнітної індукції при швидкості руху насіння в магнітному полі 0,4 м/с показані на рис. 1. При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл значення енергії проростання зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції, що перевищує 0,115 Тл, енергія проростання змінюється неістотно і становить 64% (у контролі – 34%).

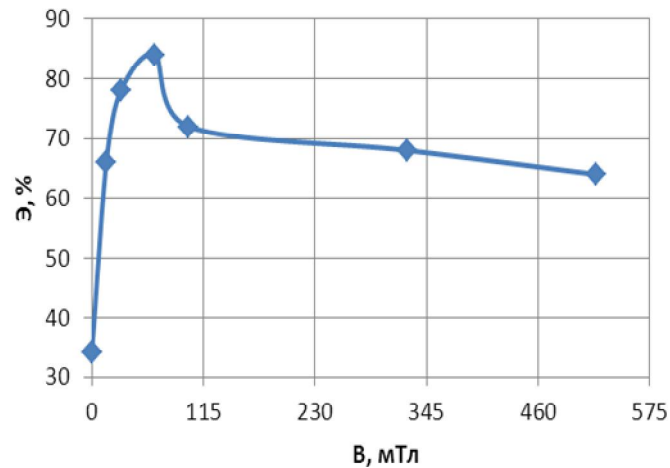


Рис. 1. Залежність енергії проростання зерна пшениці від магнітної індукції.

Рівняння регресії, що зв'язує енергію проростання зерна з магнітною індукцією і швидкістю руху, має вигляд (рис.2):

$$E = 80.021 + 680.889B - 60.889v + 300Bv - 5733B^2. \quad (4)$$

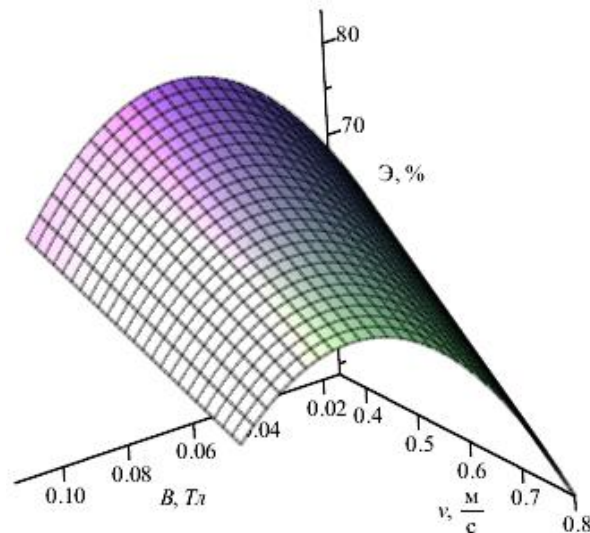


Рис. 2. Зміна енергії проростання зерна пшениці при обробці насіння в магнітному полі.

Експериментальні залежності здатності проростання зерна пшениці від магнітної індукції при швидкості руху насіння в магнітному полі 0,4 м/с показані на рис. 3. При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл здатність проростання зерна зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції, що перевищує 0,115 Тл, здатність проростання змінюється неістотно і становить 78% (у контролі – 70%).

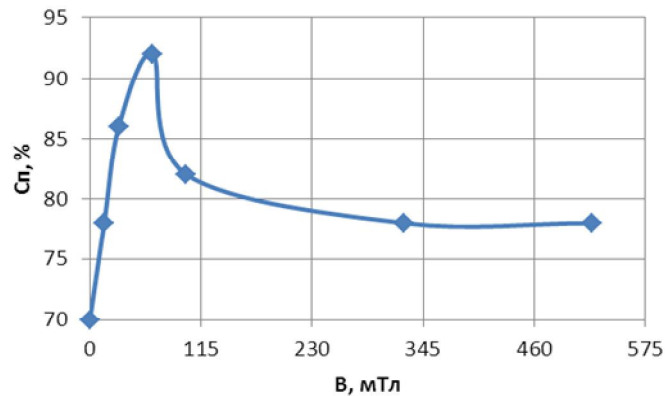


Рис. 3. Залежність здатності проростання зерна пшениці від магнітної індукції.

Рівняння регресії, що зв'язує здатність проростання зерна з магнітною індукцією і швидкістю руху, має вигляд (рис. 3):

$$3П = 75.831 + 533.667B - 9.875v - 91.667Bv - 3511B^2. \quad (5)$$

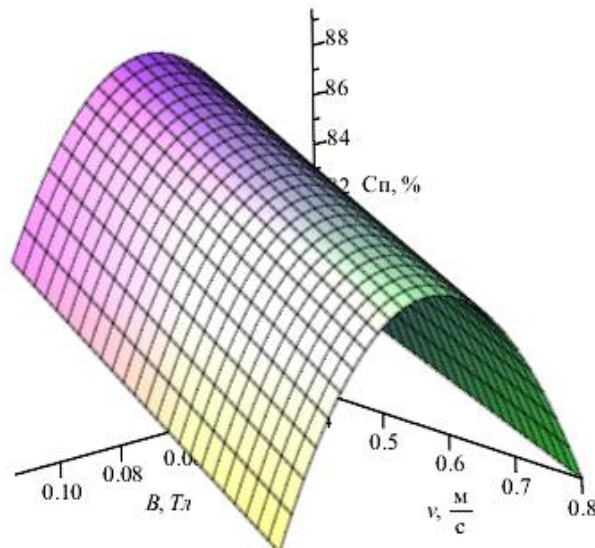


Рис.4. Зміна здатності проростання зерна пшениці при обробці насіння в магнітному полі.

Висновок. Встановлено, що зміна енергії проростання і здатності проростання зерна пшениці при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі. Оптимальний режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл. Зменшення швидкості руху зерна в магнітному полі призводить до збільшення енергії проростання зерна пшениці та його здатності проростання.

Список використаних джерел.

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. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В.В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.2. – С. 68–72.
3. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В.В. Козырский, В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №2 (15). – С. 16–19.
4. Козирський В.В. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння / В.В. Козирський, В.В. Савченко, О.Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.1. – С. 16–20.
5. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений культур / В.В. Козырский, В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3 (16). – С. 18–22.
6. Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания: ГОСТ 10968-88. – [Введен 1988-07-01]. – М.: Стандартинформ, 2009. – 4 с.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭНЕРГИЮ ПРОРАСТАНИЯ И СПОСОБНОСТЬ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.В. Савченко, А.Ю. Синявский

Аннотация – проанализировано влияние магнитного поля на физико-химические процессы, происходящие в семенах зерновых культур. Установлены зависимости энергии прорастания и способности прорастания зерна пшеницы от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определены наиболее эффективные режимы обработки семян.

MAGNETIC FIELD EFFECT ON VIGOR AND THE ABILITY TO GERMINATE OF SEED CROPS

V. Savchenko, A. Sinyavsky

Summary

The influence of magnetic field on the physical and chemical processes that occur in the seeds of cereal crops are analyzed. The dependences of vigor and germination capacity of wheat grain on the magnetic induction and speed of the seeds in a magnetic field. The most effective treatment regimens of seeds are identified.

УДК 631.333.92 : 631.22.018

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАНТЕНКА

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (0619) 42-05-70

Анотація – в роботі представлено методику теплового та термодинамічного розрахунків метантенку, також наведено аналіз його роботи.

Ключові слова: біогаз, метантенк, субстрат, ефлюент, коефіцієнт тепловіддачі, втрати теплоти, ексергія.

Постановка проблеми. Розвиток тваринницького підприємства на інноваційній основі припускає виробництво конкурентоздатної продукції за технологією, що забезпечує, визначену цією технологією, собівартість продукції. Втримання підвищення собівартості продукції можливо при вирішенні на тваринницьких підприємствах, перш за все, двох проблем – енергетичною і екологічною, що потребує використання певних технологій.

Застосування технології метанізації органічних відходів на основі анаеробної їх переробки в сільськогосподарському виробництві дозволяє вирішити не тільки екологічні проблеми, що встають перед тваринницькими підприємствами, але і збільшити його рентабельність за рахунок отримання високоякісних органічних добрив і біогазу, придатного для отримання електричної та теплової енергії.

Проте, не дивлячись на перераховані переваги технологія анаеробної переробки органічних ресурсів тваринницького підприємства ще не знайшла широкого застосування. Це обумовлено наступними чинниками: низькою продуктивністю процесу метаногенерації і, як слід, високою вартістю біогазового обладнання. При цьому низьку продуктивність процесу зброджування обумовлено недостатньою енергетичною насиченістю субстрату із-за недосконалого технологічного процесу видалення і зберігання цінного органічного ресурсу. Разом з тим, а це є головним, на сьогодні не вирішено проблему визначення енергетичного балансу між органічною сировиною, біогазом і органічними добривами.

Відсутність достовірних даних про енергетичний баланс системи «грунт – корм – тварина – органіка - грунт» і методології обґрунтування параметрів цієї системи методом енергетичної оцінки не дозволяє об'єктивно судити про наявність проблеми ефективного використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів як основного матеріалу підвищення середоформуючих і ресурсопродуючих функцій екосистеми.

Аналіз останніх досліджень. Біогаз утворюється в результаті розкладання бактеріями органічної субстанції. Бактерії розкладають органічні субстрати, що складаються переважно з води, білка, жиру, вуглеводів і мінеральних речовин на їх первинні складові - вуглекислий газ, мінерали і воду [1]. Як продукт обміну речовин, при цьому утворюється суміш газів, яка отримала назву біогаз. У цій суміші, вміст метану (СН₄) коливається від 5 до 85 %, і він є основним компонентом біогазу, а значить і основним компонентом, що містить енергію[2,3].

Формулювання цілей статті. Аналіз та визначення енергетичної ефективності метантенка біогазової установки.

Основна частина. Метантенк – це найбільш енергоємний апарат в технологічній схемі біогазової установки. Проаналізуємо енергетичну ефективність циліндричного метантенка.

Площа поверхні метантенка з плоским покриттям і днищем, м², можна визначається за наступною формулою

$$S_p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r^2,$$

де r – радіус метантенку, м;

h – висота метантенку, м.

Показник (темп) охолодження органічного субстрату

$$m = \frac{S_p \cdot k_p \cdot \tau_p}{G_p \cdot c_p},$$

де k_p - коефіцієнт теплопередачі від субстрату в повітря, Вт/(м²·К);

G_p – маса субстрату в метантенку, кг;

c_p – теплоємність субстрату, Дж/кг·К.

Розрахуємо ймовірну температуру субстрату, °С, в реакторі метанового бродіння за формулою

$$t_x = t_{o.cp.} + (t_c'' - t_{o.cp.}) / \exp(m),$$

де $t_{o.cp.}$ - температура зовнішнього середовища, °С;

t_c'' - температура субстрату, °С.

Середня температура субстрату, °С, в реакторі за період підігріву τ

$$\bar{t}_{c.p.} = \frac{t_c'' - t_x \cdot \exp(-m)}{1 - \exp(-m)} - \frac{t_c'' - t_x}{m}.$$

Знаходимо кількість теплоти, кДж, необхідну для розігріву субстрату в метантенку от t_x до t_c''

$$q_{\text{под}} = G_p \cdot c_p \cdot (t_c'' - t_x).$$

Обчислимо втрати теплоти в навколишнє середовище. Для цього задаємося середнім за період підігріву значенням температури стінки метантенка $\bar{t}_{\text{ст.}}$.

Знаходимо теплофізичні характеристики субстрату при $\bar{t}_{\text{с.р.}}$:

- щільність субстрату, кг/м³,

$$\rho_c = 1015,12 - 0,046 \cdot \bar{t}_{\text{с.р.}};$$

- теплоємність субстрату, Дж/(кг·К)

$$c_{p,c} = 4106,16 - 0,00269067 \cdot \bar{t}_{\text{с.р.}}^2;$$

- кінематична в'язкість субстрату, м²/с

$$v_c = \frac{\mu_c}{\rho_c},$$

де μ_c – динамічна в'язкість субстрату, Па·с.

Визначимо теплофізичні характеристики субстрату при $\bar{t}_{\text{ст.}}$:

- щільність субстрату, кг/м³,

$$\rho_c' = 1015,12 - 0,046 \cdot \bar{t}_{\text{ст.}};$$

- теплоємність субстрату, Дж/(кг·К)

$$c_{p,c} = 4106,16 - 0,00269067 \cdot \bar{t}_{\text{ст.}}^2;$$

- кінематична в'язкість субстрату, м²/с

$$v_c' = \frac{\mu_c}{\rho_c'}.$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі α_{1cm} , Вт/(м²·К), від субстрату в метантенку до стінки при $\bar{t}_{\text{с.р.}}$ і $\bar{t}_{\text{ст.}}$ наступним чином

$$\alpha_{1cm} = 0,5 \cdot \frac{\lambda_c}{d} \cdot (\text{Gr}_c \cdot \text{Pr}_c)^{0,33} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_c}{\text{Pr}_{c,\text{ст}}} \right)^{0,25},$$

де λ_c – теплопровідність субстрату, Вт/(м·К);

d – товщина стінки метантенку, м;

$$\text{Pr}_c = \frac{v_c \cdot c_p \cdot \rho_c}{\lambda_c},$$

$$\text{Gr}_c = \frac{d^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta t}{v_c^2},$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

β – коефіцієнт об'ємного розширення субстрату, 1/°С

$$\Delta t = \bar{t}_{\text{с.р.}} - \bar{t}_{\text{ст.}},$$

$$\text{Pr}_{c.cт} = \frac{v_c' \cdot c_p \cdot \rho_c'}{\lambda_c}$$

Для того, щоб розрахувати коефіцієнт тепловіддачі α_{2cm} , Вт/(м²·К), від стінки резервуара в навколишнє повітря конвекцією при швидкості вітру w , м/с, знаходимо число $\text{Re}_{\text{пов}}$ наступним чином

$$\text{Re}_{\text{пов}} = \frac{w \cdot d}{v_{\text{пов}}}$$

де $v_{\text{пов}}$ - кінематична в'язкість повітря, м²/с.

$\text{Re}_{\text{пов}}$ повинно бути більше за $5 \cdot 10^4$. Якщо ця вимога виконується, то розрахункові коефіцієнти дорівнюють $C = 0,023$ і $n = 0,8$, то визначаємо коефіцієнт тепловіддачі за формулою

$$\alpha_{2cm} = 0,023 \cdot \frac{\lambda_{\text{пов}}}{d} \cdot \text{Re}_{\text{пов}}^{0,8}$$

Для розрахунку коефіцієнт тепловіддачі від стінки метантенку в навколишнє повітря α_{3cm} , Вт/(м²·К), за допомогою радіації можна прийняти

$$\alpha_{3cm} = 2\alpha_{2cm}$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі k_p , Вт/(м²·К), від субстрату крізь стінки метантенку в повітря

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1cm}} + \frac{1}{\alpha_{2cm} + \alpha_{3cm}}}$$

Визначаємо теплові втрати в навколишнє середовище, кВт,

$$Q_{\text{пот}} = S_p \cdot k_p \cdot (t_{c.p.} - t_{o.c.p.})$$

Для стаціонарного нагрівача час, необхідний для підігріву субстрату в метантенку від ймовірної температури субстрату t_x до температури t_c''

$$\tau = \frac{q_{\text{под}}}{i_b \cdot G_b - Q_{\text{пот}}}$$

де i_b - ентальпія мережевої води, кДж/кг

G_b - витрата мережевої води при стаціонарному підігріві метантенка, кг/с.

Визначаємо середню кількість теплоти $Q_{\text{под2}}$, кВт, яка передається субстрату в процесі метанового бродіння в метантенку з системою механічного перемішування

$$Q_{\text{под2}} = \frac{q_{\text{под}}}{\tau} + Q_{\text{пот}}$$

Тепловий ККД метантенку

$$\eta_p = \frac{Q_{\text{под2}} - Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{под2}}}$$

Термодинамічний розрахунок і аналіз роботи метантенку.

1) Вибір параметрів навколишнього середовища і визначення допоміжних розрахункових величин.

1. Необхідно задатися температурою і тиском навколишнього середовища для зимового періоду роботи біогазової установки T_0 , К; P_0 , Па.

2. Розрахунки при наступних допущеннях. Перемішувачий пристрій представляє собою мішалку з плоскими лопатями з сталі, встановленими перпендикулярно до напрямку їх руху. Мішалка складається з трьох пар лопатей, розташованих під гострим кутом відносно один одного. Лопаті закріплено на валу накладками на болтах і на шпонках.

Ефективність процесу метанового бродіння при мезофільному режимі

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{100 - (-200 \cdot (-1,5/T_{\text{пр}}))}{100},$$

де $T_{\text{пр}}$ – тривалість процесу метанового бродіння, діб.

Вихід біогазу розраховуємо за формулою

$$G_{\text{бг}} = G_{\text{орг.суб}} \cdot \omega'_{\text{сух.р}} \cdot \omega_{\text{орг.р}} \cdot \omega_{\text{беззол.р}} \cdot \eta_{\text{еф}},$$

де $G_{\text{орг.суб}}$ - масова витрата органічного субстрату, кг/с;

$\omega'_{\text{сух.р}}$ - вміст сухої речовини в субстраті;

$\omega_{\text{орг.р}}$ - вміст в сухій речовині органічної речовини;

$\omega_{\text{беззол.р}}$ - вміст беззольної речовини в органічній речовині.

2) Визначення суми ексергії, що підводиться до метантенку.

1. Визначаємо ексергію, кВт, що підводиться до реактору метанового бродіння з субстратом.

Хімічна ексергія основного потоку субстрату

$$E'_{\text{Рсуб}}^{\text{хим}} = G_{\text{орг.суб}} \cdot Q_{\text{сг}}^{\text{н}} \cdot \omega'_{\text{сух.р}},$$

де $Q_{\text{сг}}^{\text{н}}$ - нижча теплота згоряння ефлюенту, Дж/кг·К.

Теплова ексергія основного потоку субстрату

$$E'_{\text{Рсуб}}^{\text{тепл}} = \frac{G \cdot c'_p \cdot \left(T'_{\text{Рсуб}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T'_{\text{Рсуб}}}{T_0} \right)}{1000 \cdot \tau_{\text{стац}}},$$

де G – маса підігріваємого органічного субстрату, кг;

c'_p - теплоємність субстрату на вході в метантенк, Дж/(кг·К);

$T'_{\text{Рсуб}}$ - температура субстрату на вході в метантенк, К;

$\tau_{\text{стац}}$ - час роботи стаціонарного нагрівача, с.

2. Визначаємо ексергію, кВт, що підводиться з мережевою водою

$$E'_{P_{вод.}}{}^{тепл} = G_{в.} \cdot c_{р.в} \cdot \left(T'_{P_{вод.}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T'_{P_{вод.}}}{T_0} \right) \cdot 10^{-3},$$

де $c_{р.в}$ - питома теплоємність води, Дж/кг·К;

$T'_{P_{вод.}}$ - температура води в стаціонарному нагрівачі на вході, К.

3. Потужність, Вт, яка підводиться до метантенку, визначається, виходячи з потужності механічного перемішуючого пристрою

$$L_p = 60 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\varphi \cdot z}{\eta} \cdot S \cdot D^3 \cdot n^3 \cdot \rho,$$

де φ - коефіцієнт, що залежить від форми лопаті мішалки;

z - число пар лопатей мішалки;

η - механічний ККД передаточного механізму;

S - площа лобової поверхні лопаті, яка витісняє рідину, м²

$$S = b \cdot h \cdot \sin \omega,$$

де b - довжина (виліт) лопаті, м;

h - висота лопаті, м;

ω - кут нахилу лопаті до напрямку руху, град.

D - діаметр кола, який окреслюється лопаттю мішалки, м;

n - частота обертання мішалки, об./хв.;

4. Визначаємо суму ексергій, кВт, на вході в метантенк

$$E_{вх}^P = E'_{P_{суб}}{}^{хим} + L_p + E'_{P_{вод.}}{}^{тепл} + E'_{P_{суб}}{}^{тепл} + E_{вх}^{ТО},$$

де $E_{вх}^{ТО}$ - тепла ексергія, відведена від теплообмінника з субстратом, кВт.

3) Визначення суми ексергії на виході з метантенку.

1. Визначаємо ексергію ефлюенту, кВт,

$$E''_{P_{суб}}{}^{хим} = G_{эфф} \cdot Q_{сг.эф}'' \cdot \omega''_{сх.р},$$

де $G_{эфф}$ - витрата ефлюенту, кг/с;

$Q_{сг.эф}''$ - нижча теплота згоряння, Дж/кг·К;

$\omega''_{сх.р}$ - вміст сухої речовини в ефлюенті.

2. Визначаємо кількість ексергії, кВт, що відводиться від метантенка з гарячою мережевою водою в одиницю часу

$$E''_{P_{вод.}}{}^{тепл} = G_{в.} \cdot c_{р.в} \cdot \left(T''_{P_{вод.}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T''_{P_{вод.}}}{T_0} \right) \cdot 10^{-3},$$

де $T''_{P_{вод.}}$ - температура води в стаціонарному нагрівачі на виході, К.

3. Визначаємо ексергію біогазу, кВт,

$$E_{P_{бг}}{}^{хим} = 0,975 \cdot G_{бг} \cdot Q_n^{\delta},$$

де Q_n^{δ} - нижча теплота згоряння біогазу, Дж/кг·К.

4. Визначаємо суму ексергій, кВт, на виході з метантенку

$$E_{вх}^P = E_{P_{бг}}{}^{хим} + E''_{P_{вод.}}{}^{тепл} + E''_{P_{суб}}{}^{хим}$$

4) Визначаємо ексергетичний ККД

$$\eta_p = \frac{E_{\text{вих}}^P}{E_{\text{вх}}^P}$$

Висновок. В результаті енергетичної ефективності метантенка нами обрано параметри навколишнього середовища та отримані залежності теплового балансу в метантенку; ефективності процесу метанового бродіння при мезофільному режимі; суми ексергії, що підводиться до метантенку.

Список використаних джерел.

1. Скляр О.Г. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр //Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Вип. 148. – С. 405-412.

2. Skliar A. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant/ A. Skliar, R. Skliar// Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa – Lublin, 2014 - Vol.16. - No2. - 183-188.

3. Баадер В. Биогаз: теория и практика/ В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. - М.: Колос, 1982. – 148 с.

4. Руководство по биогазу. От получения до использования/ Агенство по возобновляемым ресурсам.- 5-е изд., перераб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://escosys.narod.ru/2012_9/art272.pdf.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАНТЕНКА

Скляр А.Г., Скляр Р.В.

Аннотация

В работе представлена методика теплового и термодинамического расчетов метантенка, также наведен анализ его работы.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY DIGESTERS

A. Skliar, R. Skliar

Summary

In this paper the technique of thermal and thermodynamic calculations of the digester also imposed an analysis of his work.

УДК. 631.371

**ОЦІНКА ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ****Стьопін Ю.О., к.т.н.****Борохов І.В., к.т.н.,****Перова Н.П., інженер***Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел 8-(06192) 42-23-41

Анотація – робота присвячена оцінці роботи асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг у сільськогосподарських електричних мережах. Приведені дані загальних втрат потужності електродвигунів в ustalених режимах при несиметрії напруг.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, несиметрія напруг, втрати потужності, ustalений режим.

Постановка проблеми. Дослідження режимів роботи сільських розподільних мереж 0,38/0,22 кВ, до яких приєднано електрообладнання господарств, свідчить про те, що в наслідок значної протяжності низьковольтних мереж, а також змішаного підключення однофазних та трифазних споживачів (де загальна потужність однофазних споживачів вже перевищує потужність трифазних) має місце недопустима несиметрія струмів та напруг. В реальних умовах експлуатації електроспоживачів України несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ [1].

Несиметрія виявляється у різкому погіршенні техніко-економічних характеристик елементів мережі (зниженні експлуатаційної надійності і терміну роботи електродвигунів, виникненні ряду негативних явищ у мережах та ін.). Додаткові втрати у лініях 0,38 кВ, розподільних і споживчих трансформаторах тільки із-за нерівномірного навантаження по фазам складають 4% від всієї електроенергії, що споживає сільське господарство [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [3] показали, що відхилення напруги у сільських споживачів значно перевищують норми, що встановленні ГОСТ 13109-97. В господарствах, найбільш віддалених від джерел живлення, відхилення напруги знаходиться у допустимих межах тільки 54% часу, а нерівномірність навантаження фаз коливається в межах 16-22%. Математичне очікуван-

ня величини несиметрії напруг по даним [2] складає 7,3%, що значно перевищує вимоги ГОСТ 13109-97. Напряга прямої послідовності складає 89% від номінальної, що на 3,5% нижче мінімально допустимої на затискачах електродвигунів по умовам їх пуску у симетричному режимі.

Формулювання мети статті. Теоретично (на основі статистичних даних, а також аналітичних розрахунків) визначити допустимі параметри експлуатації асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг.

Матеріал та методика досліджень. Так як електродвигун представляє собою систему з ізольованою нейтраллю, його повна потужність розраховується за формулою

$$S = \frac{3U_1^2}{Z_H} K_3 (\cos \varphi + j \sin \varphi) + 3 \frac{U_1^2}{Z_n} K_i \varepsilon_{nc} (\cos \beta + j \sin \beta) \quad (1)$$

де Z_H – повний опір електродвигуна;

φ – кут між струмом та напругою прямої послідовності;

K_i – кратність пускового струму;

β – кут між струмом та напругою зворотної послідовності, що дорівнює куту у момент пуску електродвигуна, який визначається за формулою

$$\beta = \arccos \frac{2M_n \eta_n \cos \varphi_n}{K_i (1 - S_n)} \quad (2)$$

де M_n – пусковий момент електродвигуна

$\eta_n, \cos \varphi_n, S_n$ – номінальні к.к.д., коефіцієнт потужності та коефіцієнт реактивної потужності відповідно

Додаткове збільшення активної потужності електродвигуна, що віднесено до його номінальної активної потужності може бути знайдено із виразу [5]

$$\Delta P \varepsilon_{nc} = \frac{\varepsilon_{nc}^2 K_i \cos \beta}{\gamma_n \cos \varphi_n} \quad (3)$$

де ε_{nc} – коефіцієнт несиметрії напруг

Виникаючий при несиметрії напруг зворотній момент складає відносно малу величину. Потужність, що необхідна для переборення

зворотнього момента, яка віднесена до номінальної активної потужності, визначається за формулою

$$\Delta P_{M2} = 3,9 S_k \varepsilon_{nc}^2 \quad (4)$$

де S_k – критичне ковзання електродвигуна

Збільшення активної та реактивної потужностей електродвигуна за рахунок струмів прямої і зворотної послідовності іде на створення зворотнього момента, а також на нагрів обмоток статора і ротора.

Зворотній момент електродвигуна змінюється за законом

$$M_2 = 1,95 M_k S_k \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (5)$$

де M_k – критичний момент електродвигуна.

U_1 та U_2 – пряма та зворотня складова напруги відповідно

При $U_2 \leq 0,1 U_1$ величина зворотнього момента у порівнянні із номінальним невелика, тому її гальмівну дію можна не враховувати.

Визначимо збільшення втрат потужності у статорі електродвигуна:

Втрати потужності в обмотках у симетричному режимі

$$\Delta P_m = 3R_\phi (K_3 I_1)^2 \quad (6)$$

Втрати потужності в обмотках у несиметричному режимі

$$\Delta P_{m \varepsilon_{nc}} = 3R_\phi \left(\frac{U_1}{Z_n} \right)^2 (K_3^2 + K_i^2 + \varepsilon_{nc}^2) \quad (7)$$

де R_ϕ – активний опір фази обмотки статора

I_1, I_2 – пряма та зворотня складова струму відповідно

Перша складова дорівнює втратам у статорі при симетричному режимі і залежить від навантаження електродвигуна, друге дорівнює додатковим втратам п потужності при несиметрії напруг на затискачах двигуна і залежить від коефіцієнта несиметрії.

Результати досліджень.

Таблиця 1 – Середні загальні втрати активної потужності в електродвигунах, що виникають при середньостатистичній несиметрії напруг

Потужність електродвигуна, кВт	ΔP заг.сер. (за Кз.сер.), кВт	Рзаг. (за Кз), кВт	Розходження, %	Додаткові втрати, $\Delta P_{\varepsilon_{nc}}$, кВт	Загальні втрати, кВт	Збільшення втрат, %
0,55	0,127	0,128	1,08	0,027	0,154	21,2
1,1	0,176	0,180	1,23	0,037	0,213	21,0
1,5	0,252	0,257	1,79	0,067	0,319	26,6
2,2	0,390	0,398	1,18	0,095	0,485	24,4
4,0	0,512	0,512	1,23	0,172	0,684	33,6
7,5	0,722	0,729	0,965	0,331	1,052	45,7
11,0	1,160	1,190	1,027	0,372	1,530	31,0
15,0	1,430	1,470	1,028	0,512	1,940	35,7
22,0	1,734	1,786	1,029	0,774	2,508	44,6

Виникає питання не тільки у загальних втратах потужності у статорі при несиметрії напруг, а також втрат потужності у найбільш навантаженій фазі у випадку, при цьому передбачається найнеблагоприятний випадок, коли в цієї фазі струми прямої і зворотної послідовності співпадуть за кутом і складуться між собою арифметично.

Висновки. За допомогою математичної моделі можна визначити параметри асинхронних електродвигунів при заданих напругах фаз статора, частоти обертання ротора ω і параметрах машини. Напруги джерел живлення можуть бути несиметричними і несинусоїдальними, задані фазними або лінійними величинами, у фазі статора або ротора можуть бути включені додаткові опори.

Список использованных источников

1. Бакумов Ю.В. Влияние температуры окружающей среды на тепловое состояние обретенных асинхронных двигателей / Ю.В. Бакумов // Электротехника. – 1974. - №3. – с. 31-33.

2. Деменин В.Н. Анализ несимметрии в сельских сетях Новосибирской области / В.Н. Деменин // Механизация и электрификация сельского хозяйства Сибири. – 1978. - №3. – с. 21-24.

3. Мишин В.И. Принцип расчета характеристик асинхронных двигателей при асимметрии напряжений / В.И. Мишин, Г.С. Герасименко. - Киев. : Научные труды УСХА, 1985. – С. 32-37.

4. Нарожный В.Б. Отключение напряжения в электрических сетях / В.Б. Нарожный // Электрические станции. – 1970. - №1. – С. 55-59.

5. Рожавский С.М. Проблемы несимметрии в сельскохозяйственных электрических сетях / С.М. Рожавский // Энергетика и электрификация. – 1981. – Вып. 1. – С. 14-16.

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Стьопін Ю.О., Борохов І.В., Перова Н.П.

Аннотация - Работа посвящена оценке работы асинхронных электродвигателей при несимметрии напряжений в сельскохозяйственных электрических сетях. Приведены данные общих потерь мощности электродвигателей в установившихся режимах при несимметрии напряжений.

APPRECIATION OF CAPACITY WASTES OF ASYNCHRONOUS MOTORS' UNDER TENSION ASYMMETRY IN STEADY-STATE CONDITIONS

Y. Styopin, I. Borochov, N. Perova

Summary

The given paper researches the capacity wastes of asynchronous motors under tension asymmetry in agricultural electrical system. The paper gives proper appreciation of capacity wastes of motors parameters in steady-state conditions under tension asymmetry.

УДК 621.312

**ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ
ДСТУ EN 50160:2014****Трунова І. М., к.т.н.,****Мороз О. М., д.т.н.***Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*

Тел. (057) 712-34-32

Анотація – досліджуються протиріччя діючих стандартів характеристик напруги та пропонуються рекомендації щодо застосування ДСТУ EN 50160:2014 в умовах чинності ГОСТ 13109-97.

Ключові слова: стандарт, якість електричної енергії, норми.

Постановка проблеми. Наказом Мінекономрозвитку України від 20.05.2014 р. № 573 введений в дію національний стандарт України ДСТУ EN 50160:2014 [1] ідентичний європейському стандарту EN 50160:2010 [2] з набранням чинності з 01.10.2014 р. З цього моменту в Україні втратив чинність попередній стандарт [3], який діяв з 1.07.2012 року. Але, при цьому міждержавний стандарт ГОСТ 13109-97 [4] не втратив чинності, тобто, в Україні існують два стандарти, в яких є норми якості напруги електропостачання, що суперечать один одному.

Аналіз останніх досліджень. Вже в той час, коли набув чинності стандарт ДСТУ EN 50160:2010 [3], фахівці відмічали [5] що згідно із зобов'язанням перед CENELEC Україна має вилучити з обігу свої стандарти з якості напруги електропостачання, які суперечать стандарту EN 50160-2010.

Але наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 607 від 28.12.2010 р. про введення в дію стандарту ДСТУ EN 50160:2010 не містить пункту щодо втрачання чинності міждержавного стандарту ГОСТ 13109 (як і наказ Мінекономрозвитку України від 20 травня 2014 року № 573) [6].

Таким чином, в Україні існують два стандарти, в яких є норми якості напруги електропостачання, що суперечать один одному, що потребує роз'яснення щодо їхнього застосування.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою цієї статті є формулювання рекомендацій щодо застосування стандарту ДСТУ EN 50160:2010 в сучасних умовах.

Основна частина. Обов'язковість виконання вимог міждержавного стандарту ГОСТ 13109 була зумовлена текстом стандарту, де вказується: «Нормы, установленные настоящим стандартом, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных...» (далі перелік непередбачуваних ситуацій).

Згідно з Законом України «Про стандартизацію» (раніш також за Законом України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності») стандарти застосовуються на добровільній основі, за винятком випадків, коли застосування цих стандартів вимагають технічні регламенти.

Технічний регламент – це закон України або нормативно-правовий акт, прийнятий Кабінетом Міністрів України, у якому визначено характеристики продукції або пов'язані з нею процеси чи способи виробництва, а також вимоги до послуг, включаючи відповідні положення, дотримання яких є обов'язковим.

За Законом України «Про електроенергетику» (стаття 25 «Права споживачів електричної енергії») споживачі електричної енергії мають право на отримання електричної енергії, якісні характеристики якої визначені державними стандартами.

Таким чином, і ГОСТ 13109 (що був прийнятий як державний стандарт України), і ДСТУ EN 50160:2014 є стандартами, положення яких обов'язкові для виконання.

Це також вказане в Правилах користування електричною енергією (п.5.20): «У відповідних договорах вказуються показники якості електричної енергії, що забезпечуються постачальником електричної енергії. Перелік показників якості електричної енергії, що є суттєвими, сторони договору встановлюють на підставі державних стандартів шляхом врахування і погодження пропозицій постачальника електричної енергії і споживача. Засоби і умови контролю показників якості електричної енергії зазначають у договорі. Підтримання погодженого переліку показників якості є обов'язком для сторін договору» [7].

Таким чином, на період до відміни чинності *ГОСТ 13109-97*, рішення про застосування цього стандарту або ДСТУ EN 50160:2014 має приймати організація, що забезпечує поставки електричної енергії.

При цьому, слід враховувати більш жорсткі норми, для забезпечення обов'язковості виконання вимог двох стандартів.

Наприклад, це стосується усталеного відхилення напруги (за ГОСТ 13109-97 нормально допустимі значення $\pm 5\%$ та гранично до-

пустимі значення $\pm 10\%$) і такого безперервного явища, як змінення напруги за ДСТУ EN 50160:2014, де вказується, що у нормальних робочих умовах, за винятком періодів, під час котрих відбувались переривання напруги, змінення напруги не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від величини номінальної напруги U_n . В умовах, коли електричну енергію постачають електромережі без зв'язку з об'єднаною електричною системою чи до особливо віддалених користувачів мережею, змінення напруги не повинні перевищувати $+10\%/-15\%$ від U_n . Таким чином більш жорсткі норми є за ГОСТ 13109-97.

Що ж стосується небалансу напруги, то більш жорсткими є норми ДСТУ EN 50160:2014 (небаланс напруг у трифазних точках підключення користувачів може досягати до 3%, а за ГОСТ 13109-97 гранично допустимі значення коефіцієнта несиметрії напруг зворотної послідовності $\pm 4\%$).

Однак, в ДСТУ EN 50160:2014 є примітка, що цей стандарт може бути змінено повністю або частково відповідно до умов договору між користувачем мережею електропостачання та оператором електричної мережі [1].

Таким чином, навіть більш жорсткі вимоги ДСТУ EN 50160:2014 можливо пом'якшити у відповідних договорах. При цьому, в ГОСТ 13109-97 такі дії не передбачені.

Висновки. В сучасних умовах, коли в Україні чинні стандарти ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014, у випадку протиріччя їхніх вимог більш жорсткі норми ГОСТ 13109-97 повинні мати пріоритет до наказу Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики щодо втрачання чинності ГОСТ 13109-97. Більш жорсткі ж норми ДСТУ EN 50160:2014 можуть бути змінено повністю або частково відповідно до умов договору між користувачем мережею електропостачання та оператором електричної мережі.

Список використаних джерел.

1. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). [Чинний з 1.10.2014]. - К.: Держстандарт України, 2014. – 27 с.
2. EN 50160:2010 Voltage Characteristics of electricity supplied by public distribution networks.
3. Характеристики напруги електроживлення, постачаної розподільчими мережами загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2010 (EN 50160:2007, IDT). [Чинний з 1.07.2012]. – К.: Держстандарт України, 2012. – 39 с.
4. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97.

[Введ.01.01.2000]. – К.: Изд-во стандартов, 1998; Госстандарт Украины, с доп. и попр., 1999. – 31 с.

5. *Жаркин А. Ф.* Нормативные и технические аспекты обеспечения стандартных характеристик напряжения в системах электроснабжения Украины/ А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Вісник НТУ «ХП». 2012. № 52 (958).

6. Закон и норматив. [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: <http://www.zakon-i-normativ.info/index.php/component/lica/?href=0&view=text&base=1&id=602296&menu=747730>.

7. Про затвердження «Правил користування електричною енергією»: Постанова Національної комісії з питань регулювання електроенергетики України від 31 липня 1996 року № 28 /Із змінами і доповненнями, внесеними постановами Національної комісії регулювання електроенергетики України. – Ліга Закон [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG1442.html.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ДСТУ EN 50160:2014

Трунова И. М., Мороз А. Н.

Аннотация – исследуются противоречия действующих стандартов характеристик напряжения и предлагаются рекомендации по применению ДСТУ EN 50160:2014 в условиях действующего ГОСТ 13109-97.

SOME QUESTIONS OF APPLICATION DSTU EN 50160:2014

I. Trunova, A. Moroz

Summary

Explores the contradictions existing standards of voltage and offers recommendations for the use of DSTU EN 50160:2014 under the existing GOST 13109-97.

УДК 536.24

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ
ЧИСЕЛЬНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТРУБНОГО ПУЧКА****Троханяк В.І., аспірант****Національний університет біоресурсів і природокористування України*
Тел/факс (044) 527-8097

Анотація – проведено моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах кожухотрубного теплообмінника з шаховим розміщенням пучків труб. Отримано поля швидкостей, температур і тисків у каналі теплообмінника. Проаналізовано умови гідродинамічної течії в каналах та процесів переносу теплоти в цих каналах. В статті запропоновано методику виведення коефіцієнта тепловіддачі на поверхнях трубного пучка використовуючи пакет прикладних програм ANSYS Fluent.

Ключові слова: Математичне моделювання, процеси тепло- і масопереносу, експеримент, методика, коефіцієнт теплообміну.

Постановка проблеми. В літературі розглянуто багато робіт із визначенням коефіцієнта тепловіддачі. Однак надзвичайно мало робіт, де вивчалось комп'ютерне математичне моделювання трубного пучка перехресного току та виведення коефіцієнта тепловіддачі із результатів розрахунку при математичному моделюванні.

Аналіз останніх досліджень. Для визначення теплового стану трубного пучка теплообмінного апарата необхідно знання температур і коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні пучка. Дані результати можна отримати в ході експериментальних досліджень. Однак підготовка експерименту та обробка результатів досить трудомісткий процес. Другий спосіб – отримання розподіл параметрів для реальної конструкції за допомогою комп'ютерного математичного моделювання. Дане моделювання допомагає в ході процесу вдосконалювати конструкцію з метою отримання бажаних результатів.

Дана робота представляє результати комп'ютерного математичного моделювання процесів тепло- масообміну трубного пучка кожухотрубного теплообмінника за допомогою ANSYS Fluent. Дано рекомендації по проведенню гідро газодинамічних розрахунків для отримання значення середнього коефіцієнта тепловіддачі на поверхні

трубного пучка. Модель була побудована в CAD програмі Solid Works і з наступним експортом в програму для побудови сітки в ANSYS Meshing.

Експериментальні дані по визначенню тепловіддачі шахових пучків труб з конфігурацією розташування 1,5x1,5 в кінцевій обробці представлені в [1]. Зв'язок між гідродинамікою і тепловіддачею виражається показником степені при числу Re_f , який для всіх пучків рівний 0,6. Детальний аналіз [2] та обробка інформації показала кінцеву узагальнену формулу визначення числа Нуссельта в глибинних рядах різних шахових пучків при $a/b < 2$

$$Nu_f = 0.35(a/b)^{0.2} Re_f^{0.6} Pr_f^{0.36} (Pr_f/Pr_w)^{0.25} \quad (1)$$

де a – поперечний крок, м;

b – поздовжній крок, м;

Re – число Рейнольдса;

Pr – число Прандтля.

Звідси

$$a = Nu_f \cdot \lambda / d_3 \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

d_3 – зовнішній діаметр труби, м.

Множник $(Pr_f/Pr_w)^{0.25}$ рівний 1, лише для повітря, і в даному випадку ним можна знехтувати.

Також визначивши величину теплового потоку Q при конвективному теплообміні за законом Ньютона-Ріхмана [3] ми отримаємо коефіцієнт тепловіддачі за виразом

$$a = Q / F(t_{нов} - t_{ст}) \quad (3)$$

де F – загальна площа трубного пучка, м².

$t_{нов}$ - температура повітря, °С;

$t_{ст}$ - температура стінки, °С.

Слід підкреслити, що числове значення коефіцієнта тепловіддачі α не можна розглядати як просту функцію величин Q , F , $t_{нов}$ і $t_{ст}$, як це видно з виразу (3). Це означає, що коефіцієнт α при однакових значеннях наведених величин може бути різний, значення якого залежать від умов передачі теплоти.

Методи розрахунку коефіцієнта тепловіддачі (Surface Heat Transfer Coef.) в ANSYS Fluent відповідно [4] загальновідомі. Вказаний коефіцієнт розраховується по формулі

$$a = q_w / (T_{WALL} - T_{REF}) \quad (4)$$

де q_w – тепловий потік, Вт/м²;

T_{WALL} – температура потоку на стінці, °С;

T_{REF} – середня температура пристіночного контрольного об'єму або задана температура на вході, °С.

Формула (4) враховує як конвективний теплообмін, так і променистий теплообмін (якщо останній входить в фізичну модель).

Однак при використанні даного способу існує проблема, а саме, значно підвищений коефіцієнт теплообміну, оскільки використовується задана постійна температура на вході в теплообмінник. Тому результати, отримані згідно (4) не можна вважати адекватними.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах кожухотрубного теплообмінника з шаховим розміщенням пучків труб. Визначення коефіцієнта теплообміну на поверхнях трубного пучка використовуючи пакет прикладних програм ANSYS Fluent.

Основні матеріали досліджень. Найпоширенішими конструкціями теплообмінників, які переважно використовуються в енергетичному устаткуванні, є рекуперативні теплообмінники. За своїми конструктивними відмінностями ці теплообмінники розділяються на кожухотрубні та пластинчасті. Кожна з цих конструкцій має свої переваги та недоліки і залежно від гідродинамічних та температурних режимів роботи цих теплообмінників вибирається певний тип теплообмінника.

Розглянемо кожухотрубний теплообмінник із кожухом прямокутного перерізу, в якому розміщені пучки труб в шаховій конфігурації при поперечному їх обтіканні. Пучки труб розділені на три секції, так як він триходовий.

Масова витрата повітря (G_{Inlet}) на вході в теплообмінний апарат становить 1,25 кг/с з початковою температурою $T_{\text{Inlet}}=40$ °С. Висота труб – 1 м, їх зовнішній діаметр 10 мм. Товщина стінки 1 мм. Температура на внутрішній поверхні труб в першій секції починаючи від входу трубного пучка 11,46 °С, другої та третьої секції 10,88 °С і 10,3 °С відповідно. Загальна кількість труб в теплообміннику становить 150 шт. Проведено інженерний розрахунок даного теплообмінного апарату, результати якого співпадають з експериментальними даними [1] з точністю до 3 %. Таким чином ми можемо повністю опиратись на наш розрахунок і брати його за основу.

Проведено чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника шахової конфігурації, використовуючи пакет прикладних програм САПР ANSYS Fluent.

В основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса та рівняння конвективного переносу енергії. У розглянутому випадку вибрано стандартну k-ε модель турбулентності.

Для отримання адекватних результатів, які б відповідали експериментальним даним використовуючи формулу (3) рекомендуємо наступний метод визначення коефіцієнта теплообміну

$$a = Q / F \cdot \Delta T \quad (5)$$

Для розрахунку теплового потоку Q складаються рівняння теплового балансу, які базуються на законі збереження енергії. Тепловий баланс [3] виражається рівністю

$$Q = G_{Inlet} \cdot c_p \cdot (T_{Inlet} - T_{outlet}) \quad (6)$$

де c_p – теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

T_{Inlet} – задана температура на вході в теплообмінник, °С;

T_{Outlet} – розрахункова температура на виході з теплообмінника, °С;

Різниця температур між стінкою та повітрям, визначається за формулою

$$\Delta T = \left(\frac{T_{Inlet} + T_{outlet}}{2} \right) - T_{W.T.} \quad (7)$$

де $T_{W.T.}$ – розрахункова температура на зовнішній стінці труби, ($T_{WALL TEMP. (OUTER SURFACE)}$), °С.

Таким чином, з розрахунків комп'ютерного математичного моделювання отримані результати, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати дослідів.

Параметри	Результат	Параметри	Результат
Величина теплового потоку, Вт	26486	Температура на виході з теплообмінника, °С	19
Швидкість повітря в найвужчому перерізі каналу, м/с	30,7	Різниця температур між стінкою та повітрям, °С	18,6
Різниця тисків в каналі на вході і виході, Па	3800	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	303

Результати чисельних розрахунків подано на рис. 1-3. На рис. 1 наведено поле швидкостей у каналах теплообмінника. Аналіз отриманого поля швидкостей показує, що максимальні значення швидкості потоку спостерігаються біля бокових стінок теплообмінника, причому їх значення на третину перевищують величину швидкості в міжтрубних каналах. В окремих точках каналу швидкість повітря досягає поблизу стінок 41 м/с, а середня швидкість повітря у найвужчому поперечному перерізі каналу становить близько 31 м/с.

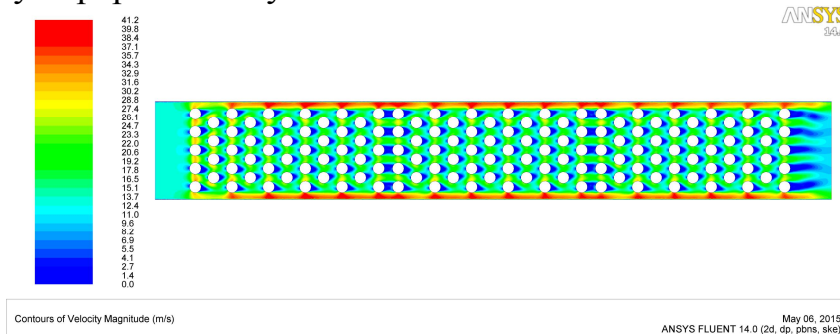


Рис. 1. Швидкість повітря в каналі, м/с.

На рис. 2 наведено розподіл температурного поля в каналах теплообмінника. Як видно з рисунка температура теплоносія падає при наближенні до виходу з теплообмінника. Якщо на вході в теплообмінник вона становила 40°C , то на виході її усереднене значення 19°C .

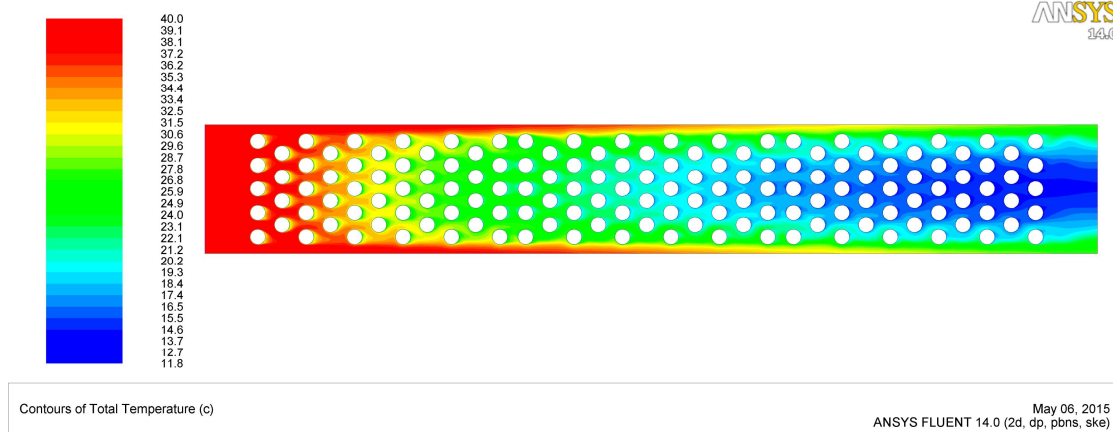


Рис. 2. Зміна температури в каналі, $^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3 наведено розподіл поля тиску в каналах досліджуваної конструкції теплообмінника. З отриманих розподілів тиску витікає, що загальне падіння тиску становить близько 3800 Па.

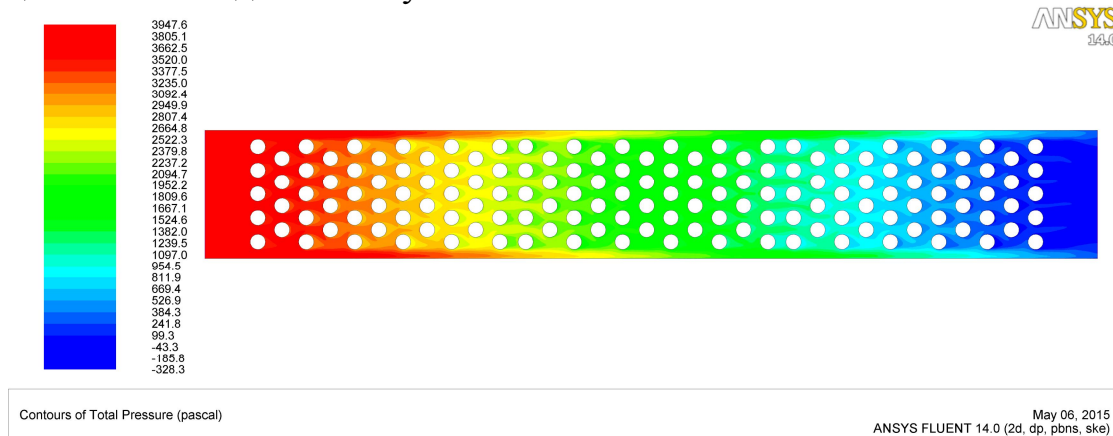


Рис. 3. Перепад тиску в каналі, Па.

Висновки. Комп'ютерне моделювання дає можливість проаналізувати умови гідродинамічної течії і теплопереносу в досліджуваних каналах. Як витікає з аналізу поля швидкостей і температур, необхідно зменшувати ширину каналу між стінкою і трубним рядом, що знаходиться поблизу стінки. Це дасть можливість зменшити швидкість потоку і температуру в пристінному каналі та підвищити швидкість потоку в основних каналах теплообмінника.

Запропонована методика розрахунку середнього коефіцієнта тепловіддачі на поверхні трубного пучка. Результати співставлення чисельних результатів з експериментальними даними показують, що максимальні відхилення не перевищують 5 %.

Для уточнення запропонованої методики розрахунку необхідно використовувати більш розширену базу даних, які взяті з різних джерел (дані різних авторів, використання різноманітних методик і т.д.).

Список використаних джерел:

1. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. – 472 с.
2. Zukauskas A.A. Heat transfer from tubes in cross-flow. - Adv. Heat transfer, 1972, vol. 8, p. 93–160.
3. Теплотехніка / [упор. Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А. та ін.] ; під ред. Б.Х. Драганова – [2-е вид.]. – Київ: в-во «Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.
4. ANSYS Fluent User's Guide. Release 14. ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, 2011. – 2428 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРУБНОГО ПУЧКА

В.И. Троханяк

Аннотация – проведено моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах кожухотрубного теплообменника с шахматным размещением пучков труб. Получены поля скоростей, температур и давлений в канале теплообменника. Проанализированы условия гидродинамического течения в каналах и процессов переноса теплоты в этих каналах. В статье предложена методика вывода коэффициента теплоотдачи на поверхностях трубного пучка используя пакет прикладных программ ANSYS Fluent.

DEFINITION OF COEFFICIENT OF HEAT TRANSFER NUMERICAL SIMULATION TUBE BUNDLE

V. Trokhanyak

Summary

The simulation of heat and mass transfer in channels and tube heat exchanger with staggered deployment bundles of pipes. An velocity field, temperature and pressure in the channel of the heat exchanger. Conditions of hydrodynamic flow in the channels and heat transfer processes in these channels. In the article the method of withdrawal coefficient of heat transfer on the surfaces of tube bundle using the application package ANSYS Fluent.

УДК 621.3: 631.53.027.33

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА

Усенко С.М., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Тел.: 044-527-87-35

Анотація – представлено спосіб та дослідну установку для знезаражуючої обробки зернових в електричних полях високої напруженості. Встановлено ефективність впливу запропонованого способу обробки на шкідливу мікрофлору зернової маси.

Ключові слова: електричне поле високої напруженості, іонізаційні процеси, озон, зернова маса, екологічно чиста обробка зернових.

Постановка проблеми. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави, що визначає обсяги пропозиції та вартість основних видів продовольства для населення країни, зокрема продуктів переробки зерна і продукції тваринництва, формує істотну частку доходів сільськогосподарських виробників, визначає стан і тенденції розвитку сільських територій, формує валютні доходи держави за рахунок експорту. Зернова галузь є базою та джерелом сталого розвитку більшості галузей агропромислового комплексу та основою аграрного експорту.

Збільшення виробництва й підвищення якості продукції рослинництва можливо шляхом зменшення втрат врожаю від фітопатогенної мікрофлори та максимальному використанні потенційних біологічних можливостей насінневого матеріалу.

Аналіз останніх досліджень. Мікрофлора зернової маси складається майже повністю з анаеробних мікроорганізмів. Близько 85% збудників найбільш небезпечних хвороб злакових культур представлено грибами, з них 80% - токсичні. Особливо швидко зростає зараженість зерна злакових культур грибами, що утворюють токсини *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicilium*, *Mucor*, *Cladosporium* та ін. Ураження цими грибами виводять товарне зерно з категорії продовольчого, а при наявності токсинів, утворених цими грибами більше 5 мг на 1кг воно стає непридатним навіть для кормових цілей.

Властивість даних патогенів змінювати біохімічний склад зерна, а також забруднювати його мікотоксинами, створює серйозну проблему для підприємств харчової промисловості. Ситуація ускладнюється тим, що на сьогоднішній день не існує біологічно прийнятних і економічно ефективних способів детоксикації зерна. Під час зберігання (від 3 до 6 міс.) в несприятливих умовах поверхнєве зараження зерна грибами може збільшитися в 35 - 40 разів, внутрішнє - в 3 - 4 рази. При цьому різко зростає зараженість комплексом *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*. Це викликає щорічно втрату 2-3 мільйонів тонн зерна і значне зниження біологічної повноцінності ще багатьох партій [1].

Зважаючи на ці обставини, у передових країнах світу затверджено державні програми створення екологічно чистого сільськогосподарського виробництва на основі зменшення використання пестицидів та розробки альтернативних методів обробки рослин. Насамперед, увага приділяється електрофізичним методам, які передбачають обробку насіння електромагнітним, іонізуючим, світловим, ультрафіолетовим, лазерним випромінюванням т. ін. [2, 3, 4] Але ці методи не набули промислового використання із за недостатньо чіткої відтворюваності отриманих результатів та низької ефективності у боротьбі зі збудниками хвороб насіння, а деякі є дуже енергоємними.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є встановлення впливу електричного поля високої напруженості на життєздатність шкідливої мікрофлори на поверхні зерна.

Основні матеріали дослідження. На кафедрі електроприводу та електротехнологій ім. С.П. Бондаренка Національного університету біоресурсів і природокористування України проводяться дослідження з використання електричних полів високої напруженості, які є одним із перспективних засобів впливу на зернову масу. Одними з пріоритетних напрямків застосування сильних електричних полів є знезаражуюча обробка зерна при зберіганні та переробці [5, 6].

На основі проведених досліджень було розроблено дослідно-виробничу установку. Зовнішній вигляд установки для обробки зерна в електричному полі високої напруженості наведено на рис. 1.

Запропонована обробка на відміну від існуючих способів має комплексну дію тому, що зернова маса підлягає одночасному впливу комплексу факторів: електричного поля високої напруженості, електричного струму, аероіонів, озону, температури.



Рис. 1. Зовнішній вигляд установки для обробки зерна сільськогосподарських культур в електричному полі високої напруженості.

Зернова маса являє собою гетерогенну систему (насіння – повітря). При розміщенні її між плоско-паралельними електродами, до яких підведена висока напруга. При відповідній напруженості електричного поля в повітряних включеннях продукції відбуваються часткові розряди. Із збільшенням прикладеної напруги іонізація відбувається у все більшій кількості повітряних включень, причому величина імпульсу часткового розряду у наступних повітряних включеннях буде більшою ніж у попередніх. Крім того буде підвищуватися інтенсивність іонізації у включеннях де вона почалася при меншій напрузі. При відповідному рівні напруженості електричного поля у всьому об'ємі продукції утворюється озон, концентрація якого регулюється напруженістю електричного поля.

Встановлення процесу утворення озону у всьому об'ємі зернової маси відкриває нові технологічні можливості для екологічно безпечної знезаражувальної обробки зерна. Відпадає потреба в окремому озонаторі.

Сучасні озонатори, в яких озон отримують за допомогою електричного розряду в повітрі, включають в собі, крім озонаторів, допоміжне устаткування: систему очищення та сушки повітря, систему охолодження, компресор, систему повітропроводів, вимірювальні пристрої. При подачі озону від генератора до камери обробки він частково розкладається, що призводить до значних втрат. Крім того такі способи обробки не забезпечують рівномірності контакту озону з продукцією, що зменшує ефективність обробки.

Запропонований спосіб є значно ефективнішим з точки зору рівномірності обробки та економічно вигідним, оскільки озон утворюється безпосередньо в зерновій масі, яка в цьому випадку відіграє роль біологічної електродної системи і є складовою електротехнічного комплексу.

Приклад результатів обробки насіння сорго сорту Одеський 302 та гречки сорту Оранта наведено на рис. 2.

В ході досліджень також було проведено мікроскопічний аналіз впливу запропонованого способу обробки на конідії пліснявих грибів. У контрольних зразках конідії мають чітку розвинену форму (рис. 3а) та вибудовану структуру ланцюжків (рис. 3б). При сприятливих умовах гриби з такими конідіями будуть швидко розвиватися і псувати зернову масу. В оброблених же зразках поодинокі конідії пригнічені або втратили свою життєздатність (рис. 3в), а ланцюжки, що вони утворювали зруйновані (рис. 3г). Таким чином ще раз підтверджується здатність озону взаємодіяти з елементами клітин впливаючи на них.

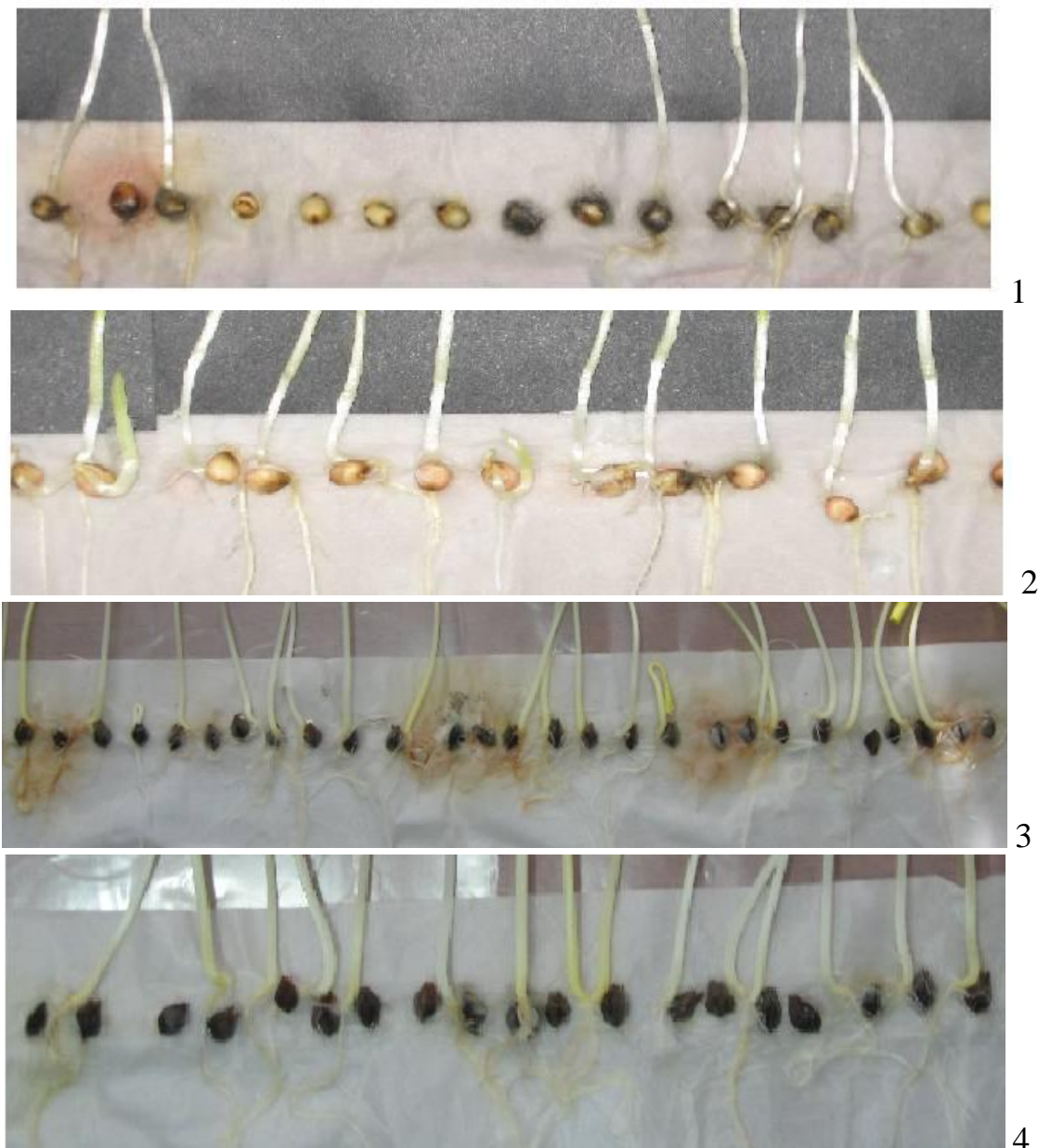


Рис. 2. Результати ураженості проростків насіння сорго сорту Одеський 302 (біологічний метод рулонів) та гречки сорту Оранта: 1 – насіння сорго контрольного варіанту; 2 – насіння сорго оброблене в сильному електричному полі; 3 – насіння гречки контрольного варіанту; 4 – насіння гречки оброблене в сильному електричному полі.

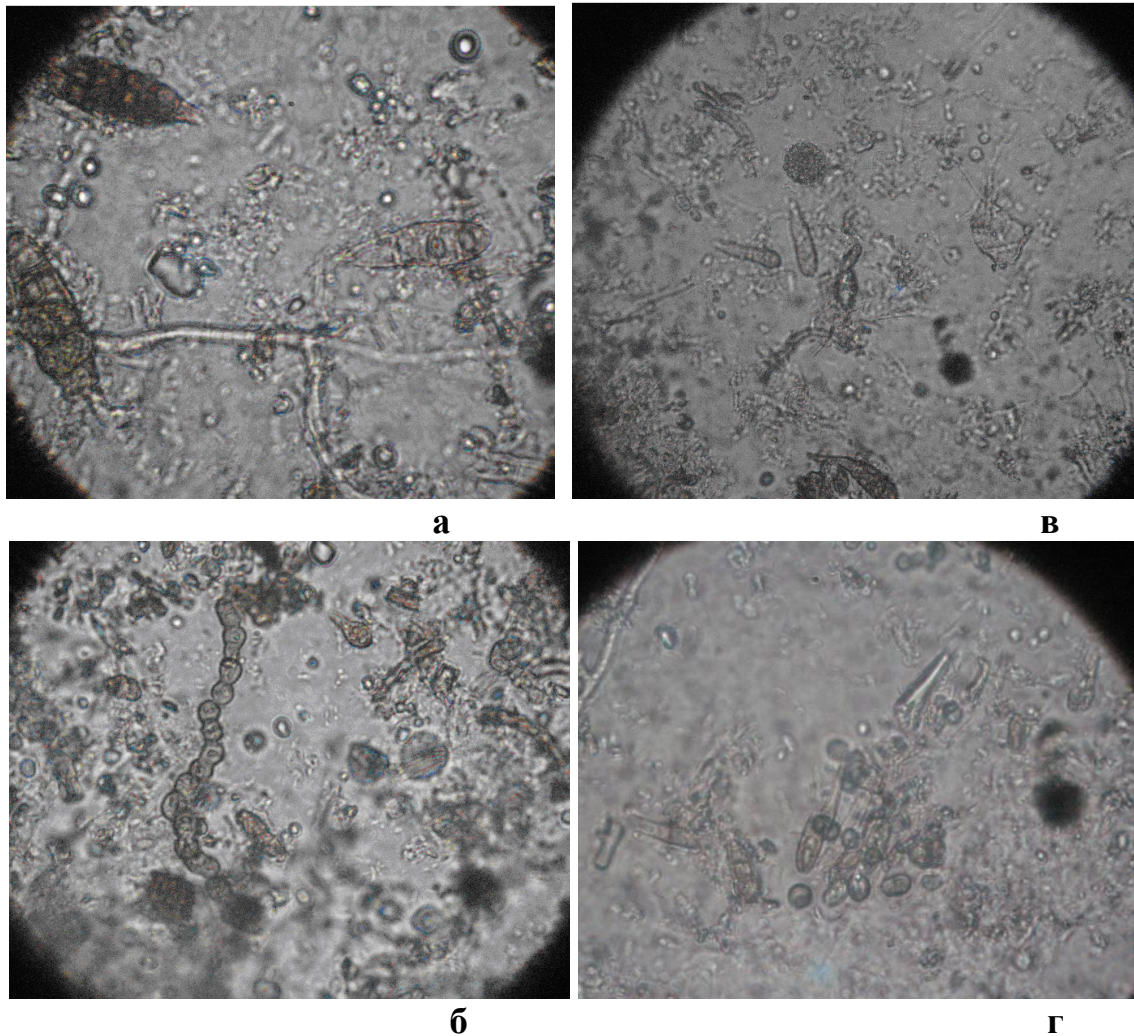


Рис. 3 Вплив озону на конідії пліснявих грибів: а, б) контроль, в, г) варіант оброблений в електричному полі високої напруженості змінного струму.

Таким чином запропонована електротехнологія вигідно відрізняється від існуючих. Вона має низьку енергоємність та дозволяє екологічно безпечно обробляти зернову продукцію.

Висновок. Запропонований спосіб дозволяє суттєво підвищити ефективність знезаражуючої обробки зернових культур озonom, так як, генерування його відбувається безпосередньо в об'ємі продукції. Встановлено, що запропонований спосіб дозволяє знешкодити близько 65–85% збудників хвороб різного роду *Fusarium* та на 90% спор твердої сажки.

Список використаних джерел.

1. Левитин М. М. Грибные болезни зерновых культур / М. М. Левитин, С. Л. Тетерев // Защита и карантин растений. – М., 2003. – № 11. – С. 55 – 86.
2. Филиппов Р. Л. Анализ существующих методов дезинсекции зерна и других сыпучих материалов / Р. Л. Филиппов // Электротехно-

логия процессов в сельскохозяйственном производстве. Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1975. – Вып. 99. – С. 108 – 113.

3. *Иноземцев Г. Б.* Технологічні аспекти зберігання продукції рослинництва із застосуванням аероіонізації / *Г. Б. Иноземцев, О. В. Окушко* // Праці Таврійської держ. агротехн. акад. – 2005. – Вип. 31. – С. 3 – 7.

4. *Ирха А. П.* Использование термической и магнитной обработки для обеззараживания и улучшения посевных качеств семян / *А. П. Ирха, Е. П. Шеховцова, Г. Ю. Пустовалова* // Применение энерго-сберегающих технологий в агропромышленном комплексе. Труды КГАУ. (359). – Краснодар, 1993. – Вып. 331. – С. 136 – 141.

5. *Берека О. М.* Обробка насіння сільськогосподарських культур в сильних електричних полях / *О. М. Берека* // Збірник наукових праць Уманського аграрн. ун-ту. – Умань, 2008. – Ч.1, вип. 69 – С. 34 – 40.

6. *Берека О. М.* Дія сильних електричних полів на насіння сільськогосподарських культур / *О.М. Берека* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково-виробничий журнал. – К., 2007. – № 1(20) – С. 23 – 29.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЗЕРНА

Усенко С.Н.

Аннотация - представлены способ и опытную установку для обеззараживающей обработки зерновых в электрических полях высокой напряженности. Установлена эффективность влияния предложенного способа обработки на вредную микрофлору зерновой массы.

OF ELECTRIC FIELDS HIGH TENSION FOR DISINFECTION GRAIN

S. Usenko

Summary

Presented research method and installation for disinfecting treatment of grain in the fields of electrical high tension. Established effectiveness of the impact of the proposed treatment method for damaging flora grain mass.

УДК 631.365.22+621.317

КОМПЕНСАЦІЯ ЗАПІЗНЕНЬ ЗЕРНОСУШАРКИ З КИПЛЯЧИМ ШАРОМ ПРИ НЕПОВНИХ ВИМІРЮВАННЯХ ЇЇ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ

Федотова М.О., аспірант*,

Осадчий С.І., д.т.н.,

Березюк І.А., к.т.н.,

Скриннік І.О., к.т.н.,

Кіровоградський національний технічний університет

Тел.: 066-672-60-83

Анотація – у роботі показано технологію застосування адаптованого алгоритму для компенсації запізнень зерносушарки з киплячим шаром каскадного типу при умові, коли її вихідні сигнали не можуть бути виміряні у повному обсязі.

Ключові слова: матриця передаточних функцій, спостерігач, киплячий шар, випереджувач Сміта.

Постановка проблеми. Зерносушарка з киплячим шаром (ЗКШ), розроблена при Кіровоградському національному технічному університеті [1] (рис. 1), являє собою багатовимірний об'єкт з розподіленими параметрами із запізненням [2], вектор вихідних сигналів якого виміряти у повній мірі не можливо [3]. Для синтезу САУ таким об'єктом нами застосовані новітні методи динамічного проектування, що передбачають виконання процесу факторизації [4], який унеможливується у випадку, коли хоч один з елементів структури має в своєму складі запізнення.

Формулювання цілей. З метою компенсації запізнень, що входять до складу матриці передаточних функцій (МПФ) зерносушарки, була виконана адаптація технології, викладеної в [5].

Основна частина. Так як один з вихідних сигналів об'єкта (висота киплячого шару h) в процесі сушіння виміряти прямим методом неможливо, то спочатку було синтезовано систему спостереження F , яка дає оцінку зміни висоти киплячого шару h за рахунок вимірювання кінцевої вологості w . Застосування випереджувача Сміта $R(s)$, який включається паралельно до послідовного з'єднання ЗКШ з МПФ

$W_{\text{ОБ}}(s)$, системи вимірювання $K(s)$ та спостерігача $F(s)$, показане на рис. 2.



Рис. 1. Зерносушарка з киплячим шаром каскадного типу.

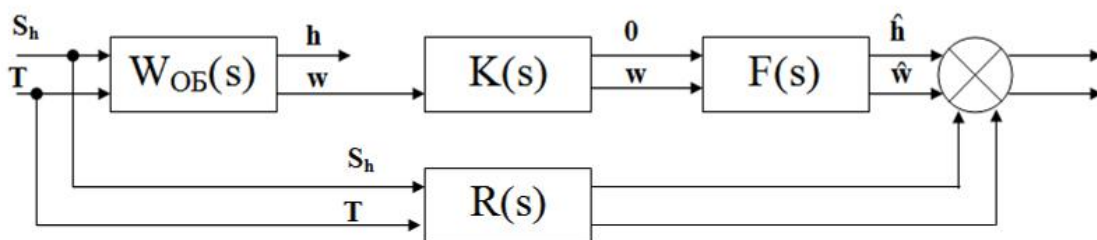


Рис. 2. Структурна схема фізичної реалізації компенсації випереджувачем Сміта.

Тоді технологія компенсації запізнень випереджувачем Сміта, адаптована до нашого випадку буде полягати у наступному:

1. Визначити МПФ послідовного з'єднання

$$W_{\text{СИСТ}}(s) = W_{\text{ОБ}}(s)K(s)F(s), \quad (1)$$

де s – оператор Лапласа.

2. Представити $W_{\text{СИСТ}}(s)$ у вигляді

$$W_{\text{СИСТ}}(s) = P^{-1}M, \quad (2)$$

де P^{-1} – матриця, що вміщує полюса МПФ $W_{СИСТ}(s)$;
 M – матриця, що вміщує нулі МПФ $W_{СИСТ}(s)$.

3. Розкласти МПФ $W_{СИСТ}(s)$ так, як це показано нижче

$$W_{СИСТ}(s) = P^{-1} \sum_{i=1}^n M_i, \quad (3)$$

де i – відповідає кількості запізень в МПФ $W_{СИСТ}(s)$.

4. Представити кожен складову $P^{-1}M_i$ у вигляді поліноміального дробу такого, що

$$P^{-1}M_i = \frac{b_0s^n + b_1s^{n-1} + \dots + b_{n-1}s + b_n}{s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n} = \frac{b(s)}{a(s)}. \quad (4)$$

Тоді для кожного з елементів матриці (1) його модель у просторі станів визначається так:

$$\dot{x} = A_i x + B_i u, \quad (5)$$

$$y = C_i x + D_i u, \quad (6)$$

де

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -a_n & -a_{n-1} & \dots & -a_1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$C_i = [b_n - b_0 a_n \quad b_{n-1} - b_0 a_{n-1} \quad \dots \quad b_1 - b_0 a_1], \quad (9)$$

$$D_i = b_0. \quad (10)$$

рівняння стану (РС) і визначити матриці A_i , B_i , C_i , D_i ;

5. Сформувати матриці A , B , C , D , що відповідають $W_{СИСТ}(s)$ за правилом:

$$A = \begin{bmatrix} A_i & O_n & O_n & O_n \\ O_n & A_i & O_n & O_n \\ O_n & O_n & \dots & O_n \\ O_n & O_n & O_n & A_n \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n B_i e^{-\tau_i s} = B_i e^{-\tau_i s}; B_{i+1} e^{-\tau_{i+1} s}; \dots; B_n e^{-\tau_n s}, \quad (12)$$

$$C = [C_i, C_{i+1}, \dots, C_n], \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n D_i e^{-\tau_i s} = D_i e^{-\tau_i s} + D_{i+1} e^{-\tau_{i+1} s} + \dots + D_n e^{-\tau_n s}. \quad (14)$$

6. Виконати підстановку знайдених матриць у формулу для розрахунку структури і параметрів компенсатора

$$R(s) = \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i s} (sE_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i s})^{-1} \cdot (\sum_{j=0}^r B_j - \sum_{j=0}^r B_j e^{-\tau_2 s}) + (\sum_{j=0}^r D_j - \sum_{j=0}^r D_j e^{-\tau_3 s}). \quad (15)$$

7. Виконати перевірку правильності переході від МПФ до РС у вигляді

$$W(s) = C(sE_n - A)^{-1} \sum_{i=1}^n B_i e^{-\tau_i s} + \sum_{i=1}^n D_i e^{-\tau_i s}, \quad (16)$$

де E_n – одинична матриця розмірами 2×2 .

8. Знайти МПФ еквівалентної системи, що вміщує випереджувач Сміта, який приєднаний паралельно до $W_{СИСТ}(s)$

$$W_e = W_{СИСТ}(s) + R(s). \quad (17)$$

Адаптація відомої методики розрахунку структури і параметрів МПФ випереджувача Сміта полягає у наступному: для повноти оцінювання вихідних сигналів був заздалегідь спеціально розрахований спостерігач $F(s)$, а послідовне з'єднання ЗКШ, датчика вологості і системи спостереження ($W_{СИСТ}(s)$) було перетворено з матричного опису у опис в рівняннях стану (РС).

Висновок. Впровадження адаптованої технології, викладеної вище, гарантує компенсацію запізнь в структурі системи автоматичного керування і дозволить в подальшому застосувати програмні алгоритми, розроблені для систем без запізнення.

Список використаних джерел:

1. Обґрунтування параметрів зерносушарки каскадного типу для обробки насіння у киплячому шарі/Скриннік І.О.//Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.– Кіровоград, 2010.– С. 17
2. Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах/ С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік // Збірник наукових праць КНТУ.– Кіровоград: КНТУ, 2008.– С. 345-349.
3. Оцінювання висоти дисперсного матеріалу при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром/ С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік // Збірник наукових праць КНТУ.– Кіровоград: КНТУ, 2010.– С. 209-212.
4. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Жи-

тецкий Л.С.– Киев: Книжное издательство Национального авиационного университета, 2006.– С. 438

5. Решение задачи синтеза системы автоматического управления многосвязным объектом с запаздываниями / А.З. Асанов, В.С. Каримов // Вестник УГАТУ, Управление, ВтиИ.– Уфа: УГАТУ, 2009.– т.13, №2(35).– С. 24-35.

КОМПЕНСАЦИЯ ЗАПАЗДЫВАНИЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ ПРИ НЕПОЛНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ЕЁ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ

Федотова М.А., Осадчий С.И., Березюк И.А., Скрынник И.А.

Аннотация - в данной работе показана технология использования адаптированного алгоритма для компенсации запаздываний зерносушиллки с кипящим слоем каскадного типа при условии, когда её выходные сигналы не могут быть измерены в полной мере.

THE COMPENSATION OF DELAYS OF GRAIN DRYER WITH BOILING LAYER WITH INCOMPLETE MEASURING OF ITS OUTPUT SIGNALS

Fedotova M., Osadchiy S., Berezyuk I., Skrynnik I.,

Summary

The adapted algorithm technology usage is shown in the article for compensation of delays of grain dryer with the boiling layer for cascade-tray under the condition of incomplete measurement of its output signals.

УДК 621.34.62

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ АПК НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ

Хандола Ю.М., к.т.н.,
Середин М.Ю., інженер,
Хандола О.Ю., аспірант*

*Харківський національний технічний університет
сільськогосподарства ім. П. Василенка
Тел. (057)712-50-56*

Анотація: Проаналізовані вимоги до систем автоматичного керування в регульованих електроприводах сільськогосподарських підприємств. Приведені експериментальні дослідження частотно-регульованого електроприводу при різних законах регулювання.

Ключові слова: регульований електропривод, система автоматичного регулювання, перетворювач частоти.

Постановка проблеми. Розробка нового обладнання та його модернізація на діючих підприємствах АПК вимагають вирішення завдань оптимізації роботи обладнання за такими основними критеріями, як точність підтримання технологічних параметрів, продуктивність, надійність, енергозбереження і можливість віддаленої діагностики та керування приводом по промисловій мережі.

Сучасні методи і засоби моделювання значно полегшують вирішення вказаних завдань на стадії проектування, коли вже визначені основні складові (регульовані електроприводи, датчики та інші пристрої) і концепція побудови системи автоматичного регулювання (САР) технологічними параметрами, без синтезу якої неможливо уявити ефективну роботу обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Ґрунтуючись на результатах аналізу існуючих електроприводів на базі перетворювачів частоти (ПЧ), можна виділити три основні групи механізмів, в яких застосування САР особливо ефективно [1-3].

Перша група включає допоміжні механізми, що здійснюють подачу матеріалів, виробів (зерно, сировину, заготовки) для їх подальшої обробки (дроблення, пресування, розпилювання) на основному

обладнанні.

Базисним критерієм оптимізації роботи такого обладнання є підтримання на необхідному максимальному рівні продуктивності устаткування при дотриманні норм струмового навантаження основного виконавчого електродвигуна. Для цього застосовується САР замкнута по струму основного двигуна, причому стрибкоподібні зміни збурення визначаються тут неоднорідністю оброблюваного матеріалу.

Керування в САР здійснюється по малопотужного каналу (регульований частотний привід малої потужності допоміжного механізму), завдяки чому вартість ПЧ і втрати в ньому невеликі. Електропривод тут реалізує тільки функцію регулювання швидкості в неглибокому діапазоні (1:10), від нього не потрібно високої точності формування швидкісних робочих характеристик і регулювання струму внаслідок стабільного навантаження, але потрібна висока швидкодія для відпрацювання збурюючих впливів в САР [4].

Друга група включає допоміжні механізми (насоси, живильники), які здійснюють дозування компонентів (подача води, розчинів, хімреагентів) для їх повної переробки в ході технологічного процесу (виробництва пари, створення сумішей).

Основним критерієм оптимізації роботи в такому виробничому процесі є точність підтримання технологічного параметра (тиску пари в котлі, концентрації реагенту в розчині), для чого застосовується САР замкнута за величиною параметра.

Виконання операцій технологічного процесу визначається тут великими постійними часу, необхідна величина технологічного параметра змінюється залежно від завантаження основного обладнання, тому в такій САР регульований частотний електропривод допоміжного механізму функціонує в більш глибокому діапазоні швидкостей (1:20) [5]. Від приводу не вимагаються великої швидкодії, точність швидкісних робочих характеристик і регулювання струму в обмотках двигуна. Але важлива висока надійність приводу, так як нерегламентована зупинка виконавчого двигуна допоміжного механізму в таких виробництвах може викликати повне порушення технологічного процесу (аж до аварійного відключення), а отже призвести до великих економічних втрат.

Супутніми корисними якостями застосування спеціалізованих частотних приводів в такому обладнанні є економічне витрачання дозованих компонентів, вартість яких може бути досить високою, як у випадку з хімреагентами, або зменшення витрат на енергоносії завдяки спалюванню горючих відходів, яке виключає їх дорогу утилізацію. Крім того, зниження динамічних навантажень в робочих вузлах і системах, збільшує надійність і термін служби всього устаткування.

Третя група включає механізми запірно-регулюючої апаратури

(засувки) в трубопроводах, що транспортують рідкі, газоподібні або сипучі матеріали з робочих ємностей, що знаходяться часом під високим тиском.

При оптимізації роботи цього обладнання основними критеріями служать надійність і точність підтримання технологічного параметра. На САР і регульований електропривод в цій системі накладаються досить жорсткі вимоги: високу швидкодію відпрацювання керуючих сигналів в режимі реверсування виконавчого двигуна, робочий діапазон частоти в межах одиниць Герц, можливість роботи "на упор" і форсування моменту двигуна.

Теоретичні та практичні дослідження показали [6, 7], що правильний вибір ПЧ та способу регулювання, при використанні спеціалізованих регульованих електроприводів, побудованих з урахуванням характерних властивостей навантаження, дозволяють забезпечити виконання необхідних показників якості роботи обладнання, вирішити проблеми енергозбереження та окупності витрат, вкладених в його розвиток і модернізацію.

Мета статті. На основі аналізу систем автоматичного управління привести експериментальні дослідження частотно-регульованого електроприводу АПК.

Основна частина. Для аналізу роботи частотно-керованого асинхронного електропривода ми використали лабораторний стенд, який дозволяє проводити дослідження енергетичних показників САР при різних законах регулювання під навантаженням.

Електрична схема складається із частини управління та вимірювання і силової частини. Основні елементи управління: автоматичний вимикач, магнітний пускач та перетворювач частоти; елементи вимірювання: амперметри, вольтметри, ватметри та тахометр; силова частина – це асинхронний двигун з електричними гальмами. Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в комплекті з електричними гальмами та тахогенератором розташований на підставці біля стенда.

Для досліджень був використаний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором: 4А80А4У3; $P = 1,5$ кВт; $\cos\varphi = 0,83$; $n_{\text{ном}} = 1415$ об/хв.; $\text{ККД}_{\text{ном}} = 77\%$, $I_{\text{ном}} = 3,57$ А; $J = 0,0033$ кг·м²; $\mu_{\text{п}} = 2$; $\mu_{\text{к}} = 2,4$; $m = 20,4$ кг. Керування здійснювалось ПЧ Altivar 312 NU 11M2: номінальна потужність $P_{\text{н}} = 1,1$ кВт; повна потужність $S = 2,4$ кВА; номінальний струм $I_{\text{н}} = 12,1$ А; вихідна частота $f = 0 \div 500$ Гц; вихідна напруга $U = 0 \div 400$ В; вхідна напруга $U = 200 \div 240$ В.

За допомогою пульта керування проводиться налаштування параметрів ПЧ, візуально контролюється функціонування ПЧ по основним параметрам: частота на виході ПЧ, напруга в ланці постійного струму, напруга, струм та потужність на виході ПЧ.

Команда на запуск електродвигуна надходить від пульта керування або від комп'ютера. Після появи команди на запуск, із системи керування надходить сигнал і на двигун подається струм із заданими параметрами напруги та частоти. За допомогою вольтметра, амперметра та ватметра знімаємо показники напруги, струму та спожитої потужності при частотах 50, 40, 30, 20 Гц і записуємо в таблиці. На електромагнітні гальма подаємо постійний струм і навантажуюмо двигун до розрахованих значень. Частоту обертання отримуємо за допомогою тахогенератора. Перший дослід проводимо на холостому ході, другий – при навантаженні 50 % від номінального моменту, третій 80 % від номінального моменту, четвертий при номінальному моменті і п'ятий при 120 % від номінального моменту.

Перетворювач частоти Altivar 312 може здійснювати керування за чотирма різними законами [8]: лінійним, квадратичним та векторним, а також в енергозберігаючому режимі. Спочатку налаштовуємо ПЧ на лінійний закон керування, навантажуюмо двигун, та проводимо експеримент. Аналогічно проводимо експеримент при квадратичному та векторному законах керування. Перетворювач частоти також може працювати в енергозберігаючому режимі, коли регулювання відбувається в зоні близької до холостого ходу по квадратичному закону, а в зоні близької до номінальної по векторному.

За результатами експериментальних даних та розрахунків будуюмо характеристики електроприводу при різних способах керування. На рисунку 1 показані графіки залежності вихідної напруги від частоти на затискачах двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний.

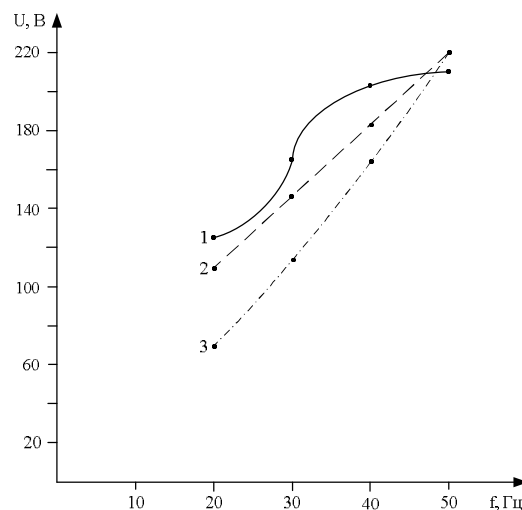


Рис. 1. Графіки залежності вихідної напруги від частоти на затискачах двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний.

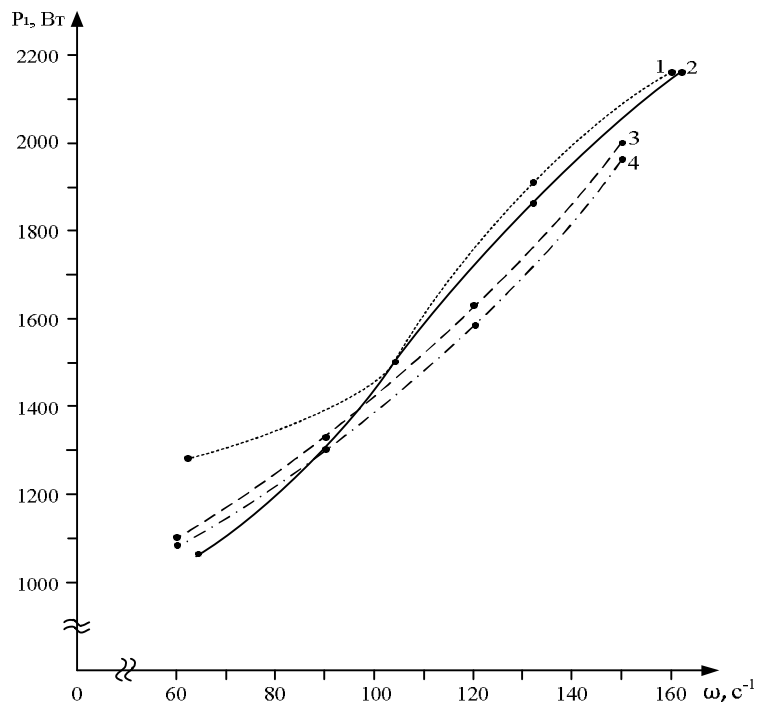


Рис. 2. Графіки залежності спожитої потужності від частоти обертання при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – векторний, 2 – енергозберігаючий, 3 – лінійний, 4 – квадратичний.

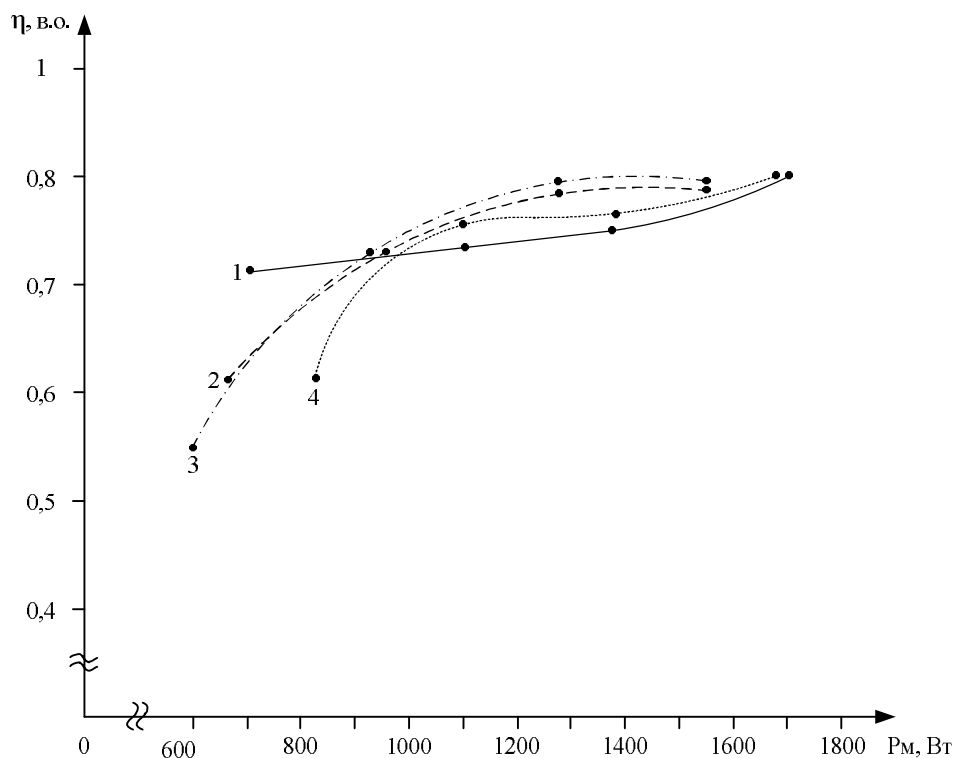


Рис. 3. Графіки залежності ККД електропривода від механічної потужності на валу двигуна при номінальному навантаженні та різних способах керування: 1 – енергозберігаючий, 2 – лінійний, 3 – квадратичний, 4 – векторний.

З рис. 2 видно, що при векторному керуванні частотою обертання, та номінальному навантаженні потужність, яка споживається з мережі, вища, але при цьому і момент, який розвиває двигун більший. В енергозберігаючому режимі ПЧ автоматично пристосовується до навантаження та зміни частоти обертання, і від холостого ходу до 105 c^{-1} ближчий до векторного, а від 105 c^{-1} до 65 c^{-1} ближчий до лінійного та квадратичного керування. Такі налаштування ПЧ, передбачені заводом виробником, дозволяють застосовувати пристрій для керування різноманітними електроприводами з регулюванням частоти обертання в широких межах при суттєвій економії електроенергії, та значним моментом на валу двигуна.

З рис. 3 видно, що при лінійному та квадратичному керуванні частотою обертання та номінальному навантаженні, ККД вище ніж при векторному, але при цьому і момент, який розвиває двигун менший. При роботі в енергозберігаючому режимі ККД практично не змінюється протягом всього періоду навантаження.

Висновки. Аналіз експериментальних та розрахункових даних показав: - лінійний закон керування доцільно застосовувати для електроприводів з постійним моментом навантаження, наприклад для кранових механізмів, стрічкових, шнекових або скребкових транспортерів; - квадратичний закон керування для електроприводів зі змінним моментом навантаження, наприклад для насосів або вентиляторів; - векторний закон керування потоком без датчика необхідно застосовувати також для електроприводів з постійним моментом навантаження. Енергозберігаючий режим застосовують для електроприводів зі змінним моментом навантаження, коли немає потреби в якісних динамічних характеристиках, регулювання відбувається в зоні близькій до холостого ходу по квадратичному закону і в зоні близькій до номінальної по векторному.

Список використаних джерел

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник - М.: ACADEMIA, 2006. - 265 с.
2. Гаврилюк І. А. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та поточних ліній. Підручник / І. А. Гаврилюк, Ю. М. Хандола – Харків: факт, 2008. – 578 с.
3. Савченко П. І. Електропривод у питаннях і відповідях / П. І. Савченко, М. Л. Лисиченко, О. К. Тищенко, В. В. Гузенко – Харків: факт, 2012. – 270 с.
4. Середин М. Ю. Моделювання регульованого електропривода змішувальної установки лінії приготування багатокomпонентної кормосуміші // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2014. – №. 1. – С. 39-41.

5. *Акинин К.П.* Опыт разработки и внедрения частотно-регулируемых электроприводов. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика Сборник науч.трудов *К. П. Акинин , В.П. Стяжкин, А.П. Плугатарь .* – Харьков: ХДПУ, 1999. Выпуск. 61. - С. 247-248.
6. *Хандола Ю. М.* Зниження витрат електричної енергії при дозуванні кормових сумішей. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України ” / *Ю. М. Хандола , А. І. Середа, М. Ю. Середин* – Харків: ХНТУСГ , 2014. – Вип. 153. – с. 72-73.
7. Schneider Electric Техническая коллекция. Вып. № 19. «Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости» TECHCOL19RU.
8. *Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W.* Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996. – p. 265.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ АПК НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Хандола Ю.Н., Середин М.Ю., Хандола О.Ю.

***Аннотация.* Проанализированы требования к системам автоматического управления в регулируемых электроприводах сельскохозяйственных предприятий. Приведены экспериментальные исследования частотно-регулируемого электропривода при различных законах регулирования.**

STUDY REGULATED ELECTRIC DRIVE AIC AT THE LABORATORY STAND

Y. Handola, M. Seredin, O. Handola

Summary .

Analyzed the requirements for automatic control systems in regulated electric drive farms. Experimental studies variable frequency drive for different types of regulation.

УДК 628.511.633.85

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРИ СЕПАРАЦІЇ РУШАНКИ РИЦИНИ

Чебанов А.Б., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Назаренко М.О., інженер

ВСП «Мелітопольський коледж Таврійського державного агротехнологічного університету»

Тел. (0619) 42-31-59

Анотація – робота присвячена дослідженню запиленості повітря в робочій зоні. Наведено методику визначення концентрації пилу при розділенні рушанки рицини ваговим методом.

Ключові слова: рицина, ядро, лушпиння, пил, сепаратор, пиловловлюючий пристрій, концентрація пилу, вертикальний канал, повітряний потік.

Постановка проблеми. Технологічні схеми переробки насіння рицини, що існують, можна розглядати у двох варіантах: з попереднім відділенням лушпиння або без нього. Касторова олія більш високої якості одержується при переробці насіння рицини з попереднім відділенням лушпиння (низька лушпинність підвищує кормову цінність жмиху, знижує кислотне число олії, лушпиння рицини є висококалорійним паливом, впливає й на ряд показників роботи технологічного обладнання тощо) [1]. Розділення рушанки рицини, як правило, виконується повітряним потоком. Але при її розділенні виділяється пил. В повітрі робочої зони, окрім частинок пилу присутній алерген, до складу якого входить білковий азот. Гранично допустима концентрація (ГДК) останнього не повинна перевищувати 0,08-0,12 мг/см³ [2]. ГДК алергену в атмосферному повітрі населених місць не повинна перевищувати 0,001 мг/м³ [3]. Також, згідно ГОСТ 12.1.007-76, алерген, який знаходиться в рициновому пилу відноситься за ступенем впливу на організм людини до I класу (речовини особливо небезпечні). Все це робить його небезпечним, отруйним і шкідливим для організму людини. Тому розробка заходів по забезпеченню безпечних умов праці та мінімального впливу на навколишнє середовище є важливою проблемою, а без досконалих методів вимірювання критеріїв запиленості вирішення цієї проблеми не можливо.

Аналіз останніх досліджень. Методи вимірювання концентрації пилу поділяються на дві групи:

1. Методи вимірювання концентрації пилу без попереднього його осадження: контактний електричний, емнісний, акустичний та оптичний.

2. Методи, засновані на попередньому осадженні частинок пилу та дослідженні осадку, такі як: радіоізотопний, сенситометричний, п'єзоелектричний, механічних вібрацій, вимірювання перепаду тиску на фільтрі та ваговий. Останній метод заснований на прокачуванні визначеного об'єму забрудненого повітря через фільтр і наступного визначення концентрації пилу. До переваг вагового методу слід віднести те, що він вимірює масову концентрацію пилу та на його показники не впливають змінення хімічного та дисперсного складу пилу, форми частинок, їх оптичних, електричних та інших властивостей. Цей метод в теперішній час є загальноприйнятим методом вимірювання концентрації пилу [5], що є вирішальним в подальших дослідженнях.

Формування цілей статті (постановка завдання). Завданням (ціллю) статті є висвітлення методики по визначенню концентрації пилу в робочій зоні ваговим методом. Реалізація задачі, поставленої в статті, здійснюється за допомогою розробленої авторами установки (пневмосепаратора, який використовується для розділення рушанки та пиловловлюючого пристрою – для забезпечення нормованої запиленості повітря)

Основна частина. Технологічну схему пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм, наведено на рис. 1.

Пневмосепаратор складається з завантажувального бункера з регулятором подачі вихідної суміші 3, горизонтального каналу 4, бокова ділянка якого виконана у вигляді вікна і виготовлена з оргстекла. Повітряний потік створюється за допомогою вентилятора 7 і регулюється регулятором подачі повітря 1. В каналі передбачена система жалюзів (горизонтальні та вертикальні) 2 для змінення параметрів повітряного потоку. Під корпусом горизонтального каналу встановлені приймачі I (для чистої ядриці та січки) і II (для лушпиння). На визначеній висоті між приймачами знаходяться перегородки 5. Після вентилятора встановлений пиловловлюючий пристрій. Він складається з пилоосаджувальної камери 8, яка додатково оснащена відвідними рукавами 11 з регулюючим додатковим клапаном 10 та поперечною щілиною 9. Під камерою зроблений відвід під встановлений поруч вертикальний канал 13 для додаткового очищення повітряного потоку, всередині якого зроблені верхні та нижні жалюзі 14. Після вертикального каналу встановлений інерційний пиловловлювач 16, підвід до якого повернутий відносно вертикального каналу на 180° , де відбувається кінцеве очищення повітряного потоку. Чисте повітря відводиться через встановлені під кутом жалюзі у інерційному пиловловлювачі 16. Під пилоосаджувальною

камерою 8, відвідними рукавами 11, вертикальним каналом 13 та після інерційного пиловловлювача 16 встановлені для дрібного лушпиння приймачі III, IV та V. Зазначена концентрація пилу буде визначатися за допомогою фільтра з пластикової тканини 18, який закриває повністю всі жалюзі інерційного пиловловлювача 16.

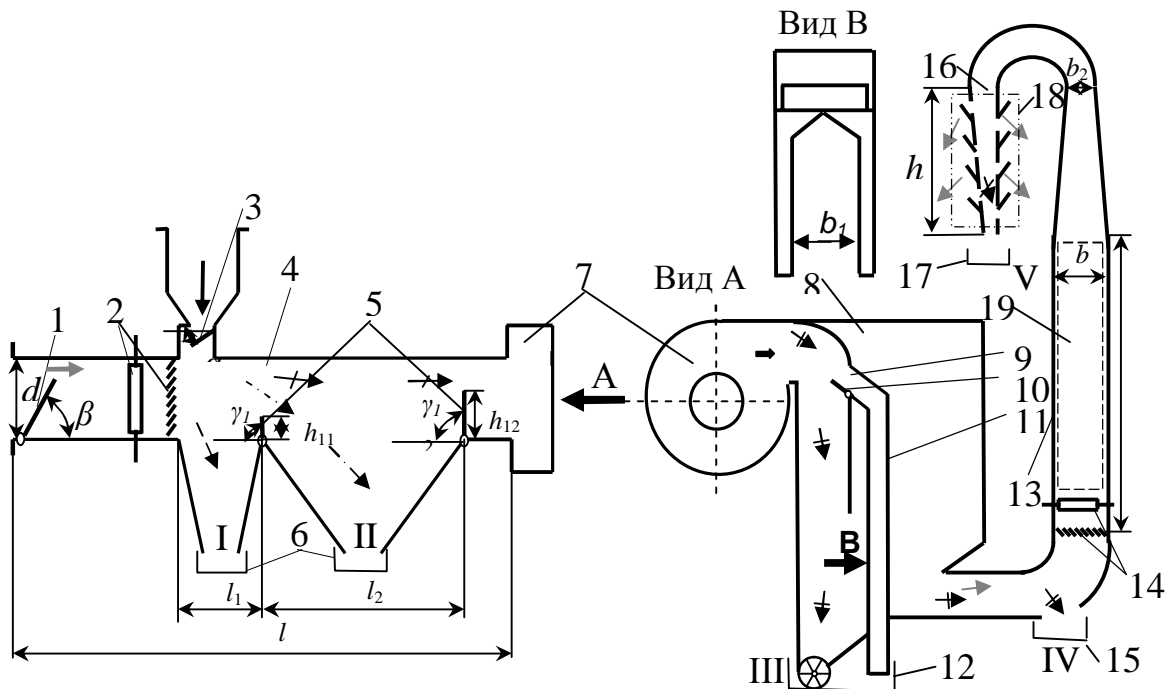


Рис. 1. Технологічна схема експериментальної установки: 1 – регулятор подачі повітря; 2 – жалюзі у горизонтальному каналі; 3 – регулятор подачі суміші; 4 – горизонтальний канал; 5 – перегородки з заслінками; 6 – приймачі I та II фракції; 7 – вентилятор; 8 – пилоосаджувальна камера; 9 – щілина поперечна; 10 – клапан додатковий; 11 – рукава відвідні; 12 – приймач III фракції; 13 – вертикальний канал пиловловлювача; 14 – жалюзі вертикального каналу; 15 – приймач IV фракції; 16 – інерційний пиловловлювач; 17 – фільтр-приймач V фракції; 18 – фільтр; 19 – вікно оглядове —> – рух рушанки рицини; - - -> – рух ядриці та її січки; - · -> – рух лушпиння; +> – рух частинок дрібного лушпиння та пилу; —> – рух повітряного потоку.

Перед проведенням експерименту необхідно зважити чистий фільтр на аналітичних вагах, потім закріпити на жалюзі інерційного пиловловлювача 16. Далі необхідно увімкнути двигун вентилятора 7 та відкрити регулятор подачі повітря 1. При відкритті регулятора подачі вихідної суміші 3, рушанка встановленої маси, яка складається з ядра, січки ядра, лушпиння та пилу, з завантажувального бункера, утворюючи з повітряним потоком запилений потік, направляєється по горизонтальному каналу 4 до вентилятора 7 (відбувається всмоктування повітряного потоку).

В приймач I поступають чисті ядриця та січка, які не тягнуться повітряним потоком, внаслідок недостатньої для них швидкості повітряного потоку у горизонтальному каналі. В приймач II поступає велике лушпиння. Завдяки шарнірному закріпленню перегородок 5 є можливість змінювати кут їх нахилу. Дрібне лушпиння та пил направляється вздовж горизонтального каналу 4 до вентилятора 6.

З виходу вентилятора 7 відбувається надимання повітря. Дрібне лушпиння та пил направляється до пиловловлюючого пристрою, де відбувається остаточне очищення і в приймач III, IV та V. Частинки пилу, які не вловилися у пиловловлюючому пристрої потрапляють до фільтру 18.

Швидкість просмоктування повітря визначають за допомогою ручного індукційного анемометру, який встановлюється перед інерційним пиловловлювачем 16. Діапазон вимірювання анемометра від 2 м/с до 30 м/с. За секундоміром виконують забір проби повітря. Після проведення експерименту вимикають двигун вентилятора, знімають фільтр з жалюзі інерційного пиловловлювача 18 та повторно зважують на аналітичних вагах.

При проведенні дослідів необхідно контролювати температуру повітря та атмосферний тиск в місці відбору проби.

Концентрація пилу в повітрі робочої зони визначається за формулою [6]

$$G = \frac{101325}{P} \cdot \frac{273+t}{293} \cdot \frac{m_2 - m_1}{Q \cdot T}, \text{ мг/м}^3 \quad (1)$$

де P – атмосферний тиск, кПа;

t – температура повітря в місці відбору проби, °С;

m_1, m_2 – маса фільтру до відбору та після відбору проби повітря, мг;

Q – подача повітря через фільтр, л/хв.;

T – час просмоктування, хв.

$$Q = \omega s_k, \quad (2)$$

де ω – швидкість повітря в каналі, м/с;

s_k – поперечна площа каналу, м².

За допомогою фільтра, який був встановлений на жалюзі інерційного пиловловлювача, зібрані частинки пилу.

Приклад розрахунку по засвоєнню методики приведений нижче:

$P = 745$ мм.рт.ст.овпа = 99,32 кПа; $t = 21$ °С; $m_1 - m_2 = 5630$ мг;

$Q = 12,8 \cdot 0,21^2 = 0,56448$ м³/с = 33868,8 л/с; $T = 10$ хв.

$$G = \frac{101325}{99,32} \cdot \frac{273+21}{293} \cdot \frac{5630}{33868 \cdot 10} = 17,02 \text{ мг/м}^3.$$

Згідно ГОСТ 12.1.005 - 88 запиленість повітря обслуговуючої робочої зони не повинна перевищувати ГДК. Обслуговуючою зоною вважають простір висотою до 2м над рівнем підлоги або площадки, на якій знаходяться місця постійного або тимчасового перебування пра-

цюючого персоналу.

Висновки. Провівши детальний аналіз методики по визначенню концентрації пилу в повітрі робочої зони з'явиться можливість забезпечити ГДК запиленості повітря. Якщо ж концентрація пилу в повітрі робочої зони перевищує ГДК, то необхідно приймати заходи по удосконаленню установки для пиловловлювання.

Список використаних джерел.

1. Подготовительные процессы переработки масличных семян / под ред. В. В. Белобородова. - М.: Пищевая промышленность, 1974. - 337 с.

2. МУК 4.1.193-96. Методические указания по измерению концентраций аллергена клещевины в воздухе рабочей зоны. – М: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. – 7 с.

3. ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. – М: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1998. – 6 с.

4. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 10

5. Клименко А.П. и др. Непрерывный контроль концентрации пыли / А.П. Клименко, В.И. Королев, В.И. Шевцов. – К.: Техніка, 1980. – 181 с.

6. Беляков Г.И. Практикум по охране труда / Г.И. Беляков. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ ПРИ СЕПАРАЦИИ РУШАНКИ КЛЕЩЕВИНЫ

Чебанов А.Б., Назаренко М.А

Аннотация – работа посвящена исследованию запылённости воздуха в рабочей зоне. Приведено методику определения концентрации пыли рушанки клещевины весовым методом.

METHOD OF DETERMINATION OF CONCENTRATION OF DUST OF BLEND OF CASTOR OIL IN MID AIR WORKING AREA

A. Chebanov, M. Nazarenko

Summary

The work is dedicated to research of dust content in the air in a working area. The methodics of dust concentration determination of castor oil blend by the gravimetric method is suggested.

УДК 631.53.027.34

АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.,

Лисенко О.В., інженер

Сумський національний аграрний університет

Телефон: (066) 145-58-62; (066) 575-49-11

Анотація – на підставі проведеного аналізу обґрунтовано можливість застосування методу акустичного зондування при контролі якості і обробці продукту, запропоновано узагальнені фізичні моделі продуктів різного агрегатного стану та структура акустичної системи.

Ключові слова: акустичне зондування, простір параметрів акустичного поля, інформаційний сигнал, простір якісних ознак продукту, швидкість звуку, коефіцієнт поглинання, частота, коефіцієнт Пуасона.

Постановка проблеми. Ефективність виробництва сільськогосподарської продукції у більшості визначається якістю продукції, як на стадії вихідної сировини, так і на різних стадіях технологічної переробки, що можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і засобів виміру параметрів сільськогосподарської продукції.

Наукові дослідження, які направлені на створення ефективних енерго- та ресурсозберігаючих технічних систем, що забезпечують експресний контроль якісних показників в ході технологічного процесу є актуальними.

Такі технічні засоби можна створювати використовуючи метод акустичного зондування, який засновано на відображенні якісних ознак продукту в просторі параметрів акустичного поля [1–9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції, більшість з них не має глибоких теоретичних досліджень, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уні-

фікувати систему технічних засобів експрес-контролю. Налічувані в літературних джерелах свідчення по дослідженням фізико-математичних моделей, теоретичних передумов описання процесів збудження продукту і зняття інформативного сигналу щодо якісних ознак роздрібно, а інколи протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації [1–9].

Вище викладене визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити процеси в системі з продуктом та сформулювати основні принципи побудови електроакустичних систем зондування якісних ознак та систем обробки продуктів.

Формулювання мети статті. Робота направлена на обґрунтування основних функціональних складових електроакустичного технічного засобу вимірювання якісних ознак продукту або дії акустичного поля на продукт при його обробці.

Основні матеріали досліджень. Необхідність розробки технічних засобів контролю якісних ознак та систем обробки продуктів, а саме акустичних систем, їх об'єм та область застосування диктується вимогами технології виробництва того чи іншого виду продукції (рис.1).

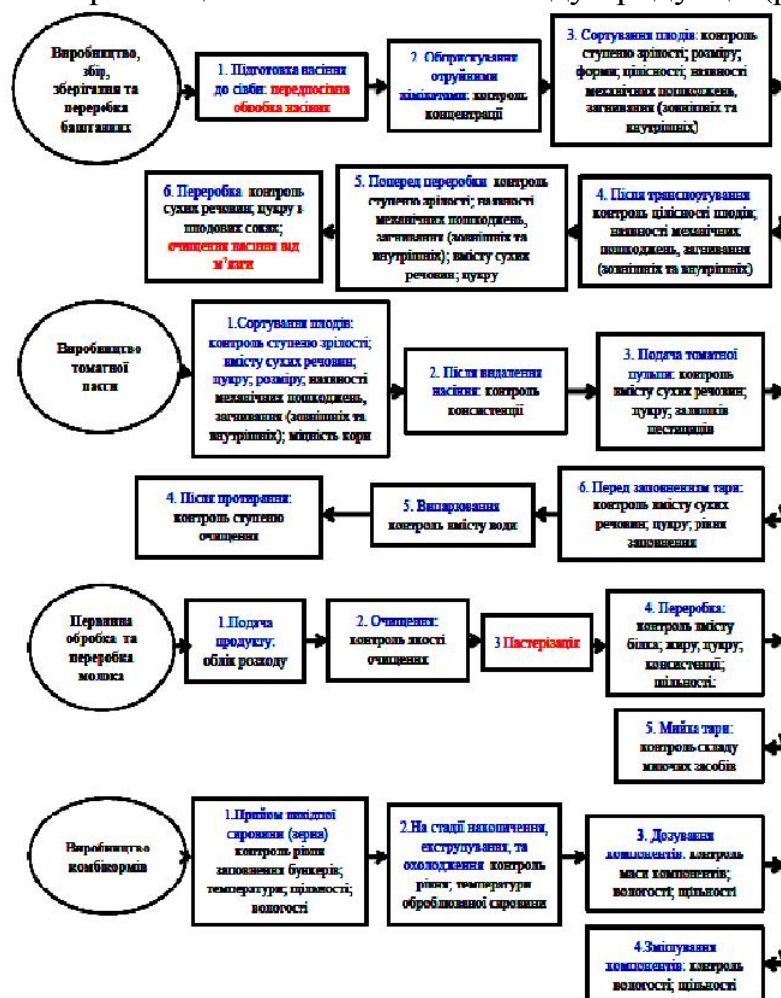


Рис.1. Приклади застосування акустичних методів в деяких технологіях сільськогосподарського виробництва.

Сільгосппродукти характеризуються множиною якісних ознак: розміром, формою, ступеню зрілості, вмістом сухих речовин, цукру, пектинових речовин, клітковини, різних вітамінів та ряду хімічних елементів і речовин, які визначають фізико-біохімічні властивості продукту.

Аналіз технологічних операцій показує, що в ряді операцій необхідно здійснювати контроль якісних ознак продуктів, які знаходяться в різному агрегатному стані (зруйнований та незруйнований) у іншому випадку – необхідно здійснювати деяку дію на продукт з метою отримання нової якості (передпосівна обробка, очищення та ін.).

При визначенні якісних ознак продуктів або його обробки на різних етапах технологічного процесу акустичними методами виникає необхідність перетворення простору якісних ознак продукту (вміст сухих речовин, цукру та інше) в простір акустичних величин, які мають розміри: частоти ω , швидкості c переміщення u , коефіцієнта поглинання δ , які в свою чергу, визначаються акустичними параметрами системи: продукт – первинний перетворювач (масою m , пружністю C , акустичним опором Z).

Сукупність вище зазначених просторів являє собою модель, яка дозволяє еквівалентно представити якісні параметри продуктів або процесу через акустичні параметри системи. Ефективність теорії та математичних моделей в практичному застосуванні, у своїй більшості, визначається коректністю запропонованої фізичної моделі, отже, фізична модель процесу повинна відображати основну суть методу контролю або обробки продукту. З метою розробки фізичної моделі необхідні знання фізико-біохімічних характеристик продукції, що контролюється.

Усі сільськогосподарські продукти можна розподілити, умовно, на три основні групи по їх агрегатному стану: продукти, які мають фіксовану геометричну форму (баштанні плоди, томати, баклажани, яйця та інше); продукти, що знаходяться у рідинному стані (томатний, яблуневі та інші соки, молоко, мінеральні мастила); сипучі продукти і матеріали (насіння різних культур, зерно, комбікорм та інше).

Із аналізу морфології та анатомічної структури продуктів першої групи (фіксованої геометричної форми), в загальному виді, можна виділити наступні характерні складові: оболонка, яка забезпечує міцність продукту і мають визначені фізико-біохімічні властивості; різні компоненти, що входять до внутрішнього складу продукту і також мають свої, як фізико-біохімічні властивості так і визначені форми, розміри та агрегатний стан. При цьому зроблені наступні раціональні допущення: плід розглядається, як система з розподіленими параметрами; плід має форму кулі (індекс форми $i = 0,94 - 1,06$); плід складається із: оболонки (кора, товщина h_k якої приймається постійною і ма-

теріал приймається однорідним та ізотропним, який характеризується щільністю ρ_k , модулем пружності E_k , коефіцієнтом Пуассона μ_k) та наповнювачів (м'якоть, в якості якої прийняте рідинно-газове середовище з твердими включеннями (плацента з насінням) з щільністю ρ_m і об'ємним модулем пружності K_m) (рис. 2, а) [7, 8, 10].

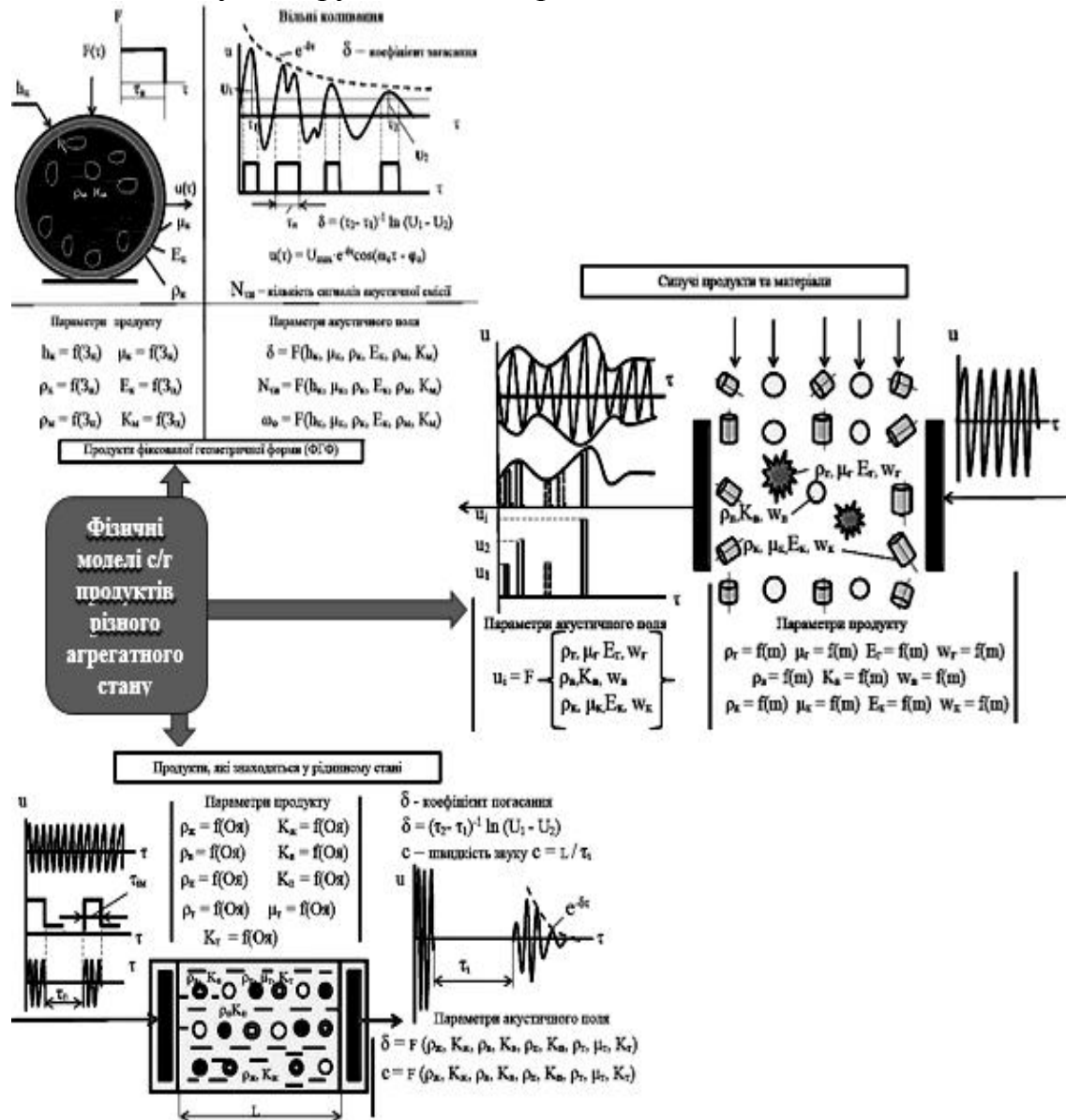


Рис.2. Узагальнені фізичні моделі продуктів різного агрегатного стану.

Враховуючі вище наведене, можна зробити висновок, що для проведення теоретичних досліджень якісних ознак продуктів фіксованої геометричної форми по параметрам акустичного поля при зондуванні, ці продукти можна розглядати, як об'єкти, що складаються із внутрішньої сфери та внутрішніх сферичних шарів з різними фізичними характеристиками. Така постановка є найбільш загальною і рішення для кожного із процесів може бути представлено, як частковий

випадок загального рішення задачі взаємодії акустичної хвилі з багатошаровим середовищем.

До другої групи продукції (які знаходяться в рідинному стані) можна віднести: молоко, яблуневий, виноградний, томатний та інші соки, мінеральні масла та інше [1, 2, 5, 9]. Аналіз наведених фізичних моделей сільгосппродуктів рідинних фракцій свідчить проте, що вони мають однакову структуру, яка складається із трьох основних компонентів: рідинної, в'язкої основи, газоподібних порожнин та відносно твердих включень.

Різниця складається у фізико-механічних характеристиках компонентів. Це дозволяє скласти загальну, характерну для даного виду продукції фізичну модель. При цьому зроблені наступні раціональні допущення: каплі води, жирові кульки, абразивні включення, бульбашки повітря та інше рівномірно розподілені і замкнені у визначеному об'ємі; кожний із видів часток має однаковий розмір зі своїми значеннями щільності ρ_i , модулем пружності E_i , коефіцієнтом Пуассона μ_i або модулем об'ємної пружності K_i (рис. 2, в).

До третього виду продуктів відносяться насіння зернових, баштанних, овочевих культур, комбікорми і їх компоненти, білково-вітамінні добавки, кісткове борошно та ряд інших. Кожний із видів сипучих матеріалів характеризується рядом фізико-механічних параметрів: гранулометричним складом, формою, щільністю часток, вологістю, температурою [1, 3, 4]. Як правило, потік сипучих матеріалів при дозуванні переміщується у визначеному повітряному потоці, обмеженим розмірами випускного вікна, тобто розподілений по перерізу повітряного потоку. При переміщенні частки сипучих матеріалів можуть бути орієнтовані самим різноманітним образом відносно своєї вісі симетрії у стані покою (до процесу початку дозування), а також у процесі переміщення можуть здійснювати обертові рухи. Врахувати орієнтацію часток в кожний момент часу практично неможливо (рис. 2, б).

З урахуванням вище викладеного, в дозованому потоці можна виділити наступні структурні компоненти фізичної моделі потоку: газове (повітряне) середовище, потік самих часток (насіння, зерно) та тверді включення, які представляють собою грудки дозованої сировини. Для складання фізичної моделі потоку сипучих матеріалів (рис. 2, б) прийняті наступні допущення: розміри часток конкретного виду сипучого матеріалу вважаються однаковими; частки рівномірно розподілені по перерізу потоку; орієнтація часток в потоці однакова; повітряний потік враховується безперервним та рівномірним; «грудки» вважаються однаковими в перерізі робочого вікна незалежно від їх дійсного розміру; частки одного і того ж виду сипучого матеріалу мають однакові значення фізико-механічних характеристик.

Зняття інформації з досліджуваного продукту потребує застосування визначених технічних засобів. Технічні засоби вимірювання якісних ознак сільгосппродуктів або технічні засоби дії акустичного поля на продукт при його обробці представляють собою акустичні системи з первинним перетворювачем, який заповнено продуктом, що досліджується. Хвильові процеси, що відбуваються в акустичній системі залежать від властивостей цього продукту. Схема акустичної системи для обробки або контролю якісних ознак продуктів по одному із його фізико-біологічних параметрів наведено на рис. 3.

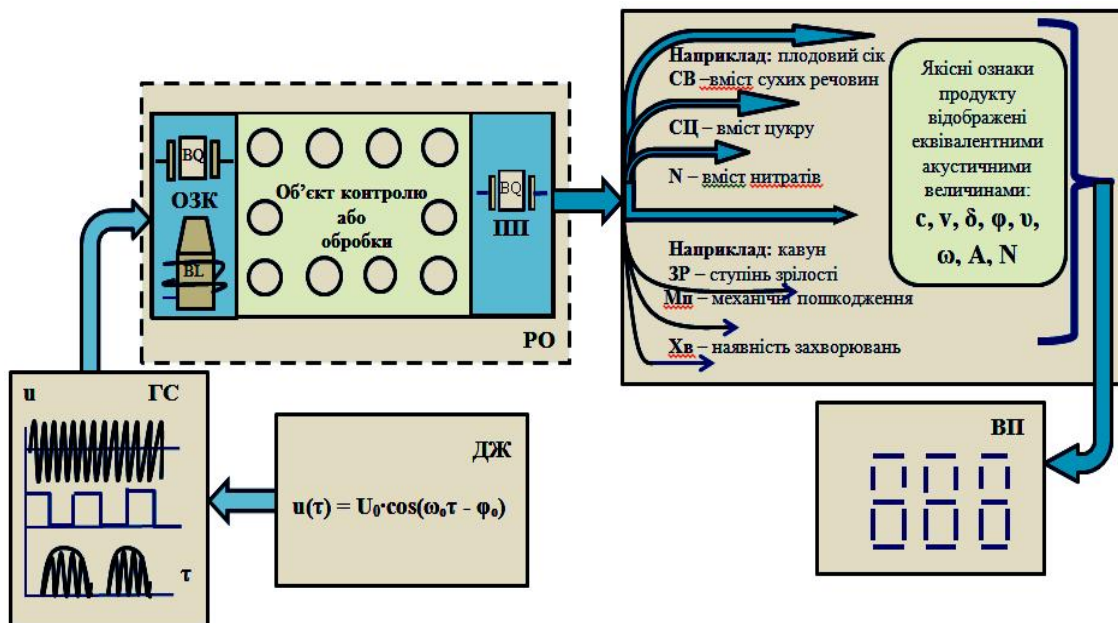


Рис. 3. Структура акустичної системи контролю якісних ознак і обробки продукту та схема проходження сигналу через систему: ДЖ – джерело живлення; ГС – генератор сигналів; ОЗК – орган збудження коливань; ПП – первинний перетворювач; РО – робочий орган; ВП – вимірювальний пристрій.

Акустична система складається із наступних основних блоків: джерела живлення ДЖ; генератора сигналів ГС; робочого органа, який включає у собі: орган збудження коливань ОЗК; об'єкт контролю або обробки (досліджуваний продукт); первинний перетворювач ПП; вимірювальний пристрій ВП. В робочому органі РО під дією акустичного поля може здійснюватися не тільки вимір якісних ознак, але і технологічна обробка продукту акустичним полем по заданій його властивості. Зміна властивості продукту під дією акустичного поля можна фіксувати за допомогою індикаторного пристрою ІП.

Вимірювальні та акустичні коливальні системи, які розглядаються, схожі по фізичним процесам, що відбуваються в них. Ці процеси відображаються однаковими диференційними рівняннями. Електротече-

хнологічні акустичні системи споживають більше енергії, що відрізняє їх від засобів вимірювання.

Сільгосппродукти, що характеризуються відомими параметрами і які знаходяться в акустичному полі, будуть підвладні дії цього поля. При цьому буде спостерігатися взаємна дія між полем і продуктом (сільгосппродукт буде впливати на акустичне поле, а воно, в свою чергу, буде впливати на сільгосппродукт). Це взаємний вплив можна визначити кількісно за допомогою визначеної еквівалентної величини, яку можливо буде оцінювати.

Взаємодія продукту та акустичного поля оцінюється в акустичній коливальній системі, складовим елементом якого є досліджуваний продукт. Розглядувані процеси в акустичній вимірювальній системі, можна з деякою похибкою по реалізації акустичних параметрів визначити властивості продуктів, які виражені нескінченною множиною їх елементарних параметрів. Ці елементарні не акустичні параметри досліджуваного продукту, які виражають його суть, визначаються деякими фізико-механічними та біологічними характеристиками цього продукту (рис. 3).

Фізико-механічні характеристики продукту, які впливають на параметри акустичного поля і зв'язані з якісними ознаками самого продукту, виражаються щільністю компонентів продукту ρ , пружними постійними E - модулем пружності першого роду (модуль Юнга), μ - модулем пружності другого роду (коефіцієнт Пуассона), K – модулем об'ємної пружності. Любий параметр продукту може бути виражено через названі характеристики або їх сукупність.

Акустичні сигнали $u(t)$ є матеріальними носіями інформації про складні фізичні процеси, що протікають у функціонуючій акустичній системі з продуктом. Властивості системи визначаються властивостями елементів з відомими параметрами і властивостями сільгосппродуктів, які підлягають вимірюванню. Елементи (пьезоперетворювачі, магнітострикційні перетворювачі, елементи електричних кіл) з відомими параметрами, з яких створена система, самі не несуть інформації і використовуються тільки для формування каналу системи, що призначений для визначення невідомих акустичних і фізико-механічних та біохімічних параметрів досліджуваного або оброблюваного продукту.

Висновки. Продукти різних фракцій мають дуже складні біофізичні структури, їх якість визначає багато факторів, які можуть змінюватися в незначній мірі. Це, в свою чергу, пред'являє високі вимоги до точності виміру параметрів оброблюваних продуктів та надійності систем вимірювання. В цьому сенсі, одним із перспективних напрямків експресного аналізу якісних ознак продуктів є використання енергії пружних хвиль, особливо при не руйнуючому контролі наявності

внутрішніх пошкоджень, оцінки ступеню зрілості, цілісності плодів та інше.

Сукупність простору біофізичних параметрів продукту і простору параметрів акустичного поля складають біофізико–акустичний простір, який представляє собою модель, що з визначеною похибкою може відображати якісні ознаки реального продукту і служити базою для розрахунку акустичних засобів оцінки якості або систем обробки сільськогосподарської продукції по їх визначеним якісним ознакам, апріорі, визначити функціональну структуру і параметри цих систем.

Список використаних джерел

1. *Иноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві :Навчальний посібник – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. *Кушлик Р.В., Микитенко О.В., Яковлев В.Ф., Кушлик Р.Р.* Ультразвуковий експрес-метод контролю води і палива в моторному маслі // Тематичний випуск "Проблеми сучасної елек-тродинамики" / Технічна електродинаміка, Ч. 4 К.: Ін-ститут електродинаміки НАН України, 2008 - с. 81-83

3. *Квітка С. А., Яковлев В.Ф.* Пристрій для вимірювання витрати компонентів кормосумішей в потоці Патент №49906 Україна МКІ 7G01F1/66 Опубл. 15.10.2002, Бюл. №10

4. *Квітка С.А., Яковлев В.Ф.* Сравнительный анализ конструкций акустических измерительных камер технологического процесса дозирования компонентов кормосмесей // Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки"/ Технічна електродинаміка. №25-К.:Інститут електродинаміки. НАН України, 2000 - с.92-96.

5. *Мартиненко І. І. , Яковлев В.Ф., Адоньев Е.А., Гончарова Д.Н.* Ультразвуковий пристрій для вимірювання концентрації компонентів рідинних середовищ Патент №24450А Україна МКІ 6G01N29/02 Опубл. 17.07.98, Бюл. №3

6. *Яковлев В.Ф. , Терехов А.Н., Яковлева М.В.* Конструктивно-технологические схемы акустических зондирующих систем // Техника в сельскохозяйственном производстве / Тр. ТГАТА, Вып. 1,Т.3 Мелитополь, 1997 г. - с.89-94

7. The acoustic control of fruit damage Sistemy mikropro-cesorowe w rolnictwie . 2nd conference on mickoprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. c.113-117. *I.P. Nazarenko M.V. Yakovleva A.N. Terekhov*

8. *Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov* (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111

Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 c.231-235.

9. Кушлык Р.В., Юдин Ю.М., Максимочкин Г.И., Яковлев В.Ф. Акустический метод определения воды в моторных маслах //Химия и технология топлив и масел – 1993-№10 - с.27-31

10. Яковлев В.Ф., Максимочкин Г.И. Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур // Применение ультразвуки к исследованию вещества /Сб. научн. тр. Всесоюзный заочный машиностроительный институт. - М.,1986 - с. 54...59

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Яковлев В.Ф., Лысенко А.В.

Аннотация - на основе проведенного анализа обоснована возможность применения метода акустического зондирования при контроле качества и обработке продуктов, предложены обобщенные физические модели продуктов разного агрегатного состояния и структура акустической системы.

ACOUSTIC SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCE QUALITY CONTROL

V. Yakovlev, O. Lysenko

Summary

On the basis of the carried out research, the possibility of using the method of acoustic sounding in the quality control and produce processing is grounded. The generalized physical models of the produce of different aggregate condition and structure of the acoustic system are suggested.

УДК 631.53.027.34

ОСНОВНІ РІВНЯННЯ ЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ З ПАРАМЕТРАМИ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.,

Литвин А.В., інженер

Сумський національний аграрний університет

Тел: (066) 145-58-62; (099) 936-39-98

Анотація - на підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано основні рівняння зв'язку параметрів сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля при зондуванні якісних ознак продукту.

Ключові слова: параметри акустичного поля, векторний потенціал, скалярний потенціал, градієнт, дивергенція, постійні Ляме, модуль першого та другого роду, зміщення, вектор швидкості.

Постановка проблеми. Необхідно відзначити, що на основі тільки експериментальних досліджень досить рідко вдається створити задовільні технічні засоби для вимірювання того чи іншого параметра продукту. Тому, на наш погляд, необхідно розглянути питання про застосування методів математичного моделювання для побудови електронно-акустичних вимірювальних пристроїв оцінки параметрів сільгосппродуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Література, яка присвячена дослідженням властивостей сільгосппродуктів, налічує велику кількість. Представлені в цих джерелах свідчення по дослідженням математичних моделей, які описують процеси, що пов'язують параметри сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля при зондуванні якісних ознак продукту роздрібно, а порою протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації, не мають глибоких теоретичних проробок, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування акустичних вимірювальних систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю [4, 5]. Тому, наукові дослідження, які направлені на теоретичне обґрунтування зв'язку параметрів сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля, з метою створення ефек-

тивних технічних систем контролю якісних показників продуктів, є актуальними.

Вище викладене визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити процеси в системі з продуктом та сформулювати основні принципи її побудови.

Формулювання мети статті. Робота направлена на обґрунтування основних рівнянь зв'язку параметрів сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля при акустичному зондуванні якісних ознак продуктів.

Основні матеріали досліджень. В акустичній коливальній системі, яка заповнена продуктом, акустичне поле взаємодіє з цим продуктом. Під впливом властивостей продукту, поле змінює свої властивості. Оцінка цих змін служить непрямою інформативною ознакою, яка використовується для вивчення фізико-механічних і біофізичних параметрів продуктів [3, 4, 5].

Хвильові процеси в акустичній системі з продуктом описуються за допомогою основних рівнянь теорії коливань і хвиль [1, 2]:

1. Рівнянням руху Ейлера

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} + \text{grad } p = \rho \vec{F}, \quad (1)$$

де ρ - щільність продукту, кг / м³;

p - тиск, Па;

\vec{F} - щільність масової сили Н;

\vec{v} - вектор швидкості руху частинок, м/с;

t - час, с.

2. Рівнянням нерозривності суцільного середовища

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{div } \vec{v} = 0, \quad (2)$$

3. Рівнянням стану середовища

$$p = \psi(\rho), \quad (3)$$

де $\psi(\rho)$ - функція щільності середовища.

Рівняння (1-3) складають повну систему рівнянь руху пружного середовища (при умовах малих деформацій), які з виключенням відомих легко приводяться до одного рівняння відносно одного параметра, зокрема, до рівняння Ляме

$$(\lambda + \mu) \text{grad div } \vec{u} + \mu \Delta \vec{u} + \rho \vec{F} = \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \quad (4)$$

де: λ, μ - пружні постійні Ляме, тобто пружні характеристики продукту;

\vec{u} - вектор переміщень пружного середовища, м;

$\rho \vec{F}$ - вектор об'ємної сили, Н;

$grad, div, \Delta$ - відповідно, градієнт, дивергенція і оператор Лапласа;

ρ - щільність середовища, кг/м³;

t - час, с;

$$\lambda = E\nu / [(1 + \nu)(1 - \nu)]; \quad \mu = E/2(1 + \nu)$$

де E - модуль першого роду (модуль Юнга);

ν - модуль другого роду (коефіцієнт Пуассона).

Згідно [1, 2] рівняння (4) можна представити у вигляді суперпозиції двох типів хвиль: хвиль розтягування - стиснення (поздовжніх хвиль) і хвиль зсуву (поперечних хвиль), тобто:

$$\vec{u} = grad \varphi + rot \psi, \quad (5)$$

де $rot \psi$ - ротор функції ψ , тобто ротор векторного потенціалу зміщення;

$grad \varphi$ - градієнт скалярного потенціалу зміщення.

Коваріанти компонентів вектора переміщень \vec{u} пов'язані з компонентами тензора малих деформацій ε_{ij} :

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (6)$$

де x - координата дії деформації.

В свою чергу для ізотропного середовища тензор деформації ε_{ij} пов'язаний з тензором напружень σ_{ij} за допомогою закону Гука:

$$\sigma_{ij} = \lambda I_1 \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad (7)$$

$$(i, j = 1, 2, 3); \quad I_1 = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33},$$

де λ, μ - параметри Ляме, які характеризують фізичні властивості середовища;

I_1 - інваріант деформованого стану середовища;

δ_{ij} - символ Кронекера;

ε_{ij} - компонент тензора деформацій.

Рівняння (4), (5) загальні. У конкретних випадках створення вимірювальних засобів вони допускають різні спрощення. Наприклад, для деяких рідких сільськогосподарських продуктів, що розглядають-

ся як баротропні середовища, не враховується опір зсуву $\mu = 0$. У цьому випадку, приймаючи масові сили $\vec{F} = 0$ отримуємо:

$$\sigma_{ij} = \lambda I_1 \delta_{ij}; (i, j = 1, 2, 3);$$

$$I_1 = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = \text{div} \vec{u}, \quad (8)$$

$$\text{rot} \psi = 0$$

і рівняння (5) і (4) набувають більш простий вигляд, тобто переходять в хвильове рівняння:

$$u = \text{grad} \varphi,$$

$$\text{grad} \text{div} \vec{u} - \frac{1}{v_1^2} \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = 0, \quad (9)$$

або

$$\nabla^2 \vec{u} - \frac{1}{v_1^2} \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = 0,$$

де v_1 - швидкість поширення поздовжньої хвилі в середовищі, м/с;

$$v_1^2 = \frac{\lambda}{\rho}, \quad (10)$$

При зондуванні деяких сільськогосподарських продуктів переваляючим є одномірні коливання ($y = Z = 0$). Наприклад, при вирішенні осісиметричних задач. Рівняння руху в цьому випадку приймає ще більш простий вигляд:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v_1^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (11)$$

Для визначення невідомих трьох складових вектора переміщень цілком достатньо рівнянь (1...4). Рівняння (1...3) і, як наслідок рівняння (4) об'єднують фізико-механічні характеристики продукту і хвильові властивості системи в одне ціле явище - акустичне поле. Одним з елементів системи є первинний перетворювач, заповнений продуктом, властивості якого виражаються еквівалентними акустичними величинами.

Рівняння (4) формально відображає вплив продукту на акустичне поле, тому визначення пружних постійних, щільності, швидкості звуку, акустичного опору, які повністю характеризують безліч якісних ознак різних сільгосппродуктів, є основною метою при створенні електронно-акустичних систем вимірювання параметрів продуктів.

У більшості випадків сільськогосподарські продукти являють собою неоднорідне середовище, тобто властивості продукту регулярним або випадковим чином залежать від координат.

Рівняння, що описує хвильовий процес може бути приведено до виду аналогічного (4). Проте, пружні константи і щільність, що входять в це рівняння не є постійними, а є функціями узагальнених криволінійних координат α, β, γ [1, 2]

$$C_{ij} = C_{ij}(\alpha, \beta, \gamma); \quad \rho_{ij} = (\alpha, \beta, \gamma); \quad (12)$$

У цьому випадку, вплив компонентів продукту на параметри акустичного поля у векторній формі виражається:

$$\begin{aligned} \vec{\sigma} &= C_{ij}(\alpha, \beta, \gamma) \vec{F}_s; & \vec{\varepsilon} &= C_{ij}(\alpha, \beta, \gamma) \vec{\sigma} \\ \vec{u} &= \frac{C_{ij}(\alpha, \beta, \gamma)}{\rho} \vec{\sigma}, \end{aligned} \quad (13)$$

де: \vec{F}_s - миттєве значення вектора поверхневої сили, Н;

$\vec{\varepsilon}$ - миттєве значення вектора деформації;

\vec{u} - миттєве значення вектора переміщення, м;

C_{ij} - тензор пружності досліджуваного продукту;

ρ - щільність компонентів продукту, кг/м³;

$\vec{\sigma}$ - миттєве значення вектора напруження, Н/м².

Разом з тим акустичне поле впливає на характеристики (μ, λ, ρ) продукту. Взаємодія монохроматичного акустичного поля і однорідного ізотропного продукту, в якому пружні постійні і щільність залежать від акустичного поля можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} C_{ij} &= C_{ij}(\vec{F}_s); & \vec{\sigma} &= C_{ij}(\vec{F}_s) \vec{F}_s; \\ C_{ij} &= C_{ij}(\vec{\sigma}); & \vec{\varepsilon} &= C_{ij}(\vec{\sigma}); \\ \frac{C_{ij}}{\rho} &= \frac{C_{ij}}{\rho}(\vec{\sigma}); & \vec{u} &= \frac{C_{ij}}{\rho}(\vec{\sigma}) \vec{\sigma} \end{aligned} \quad (14)$$

Вплив акустичного поля на деякі сільгосппродукти (наприклад, дозріле зерно, насіння, плодовий сік), які за певних умов можна вважати лінійним анізотропним середовищем, можна описати таким чином:

$$\begin{aligned} \vec{\sigma}_\alpha &= C_{11} \vec{\varepsilon}_\alpha + C_{12} \vec{\varepsilon}_\beta + C_{13} \vec{\varepsilon}_\gamma \\ \vec{\sigma}_\beta &= C_{21} \vec{\varepsilon}_\alpha + C_{22} \vec{\varepsilon}_\beta + C_{23} \vec{\varepsilon}_\gamma \\ \vec{\sigma}_\gamma &= C_{31} \vec{\varepsilon}_\alpha + C_{32} \vec{\varepsilon}_\beta + C_{33} \vec{\varepsilon}_\gamma \end{aligned} \quad (15)$$

або в стислій тензорній формі [1]

$$\vec{\sigma} = C_{ij} \vec{\varepsilon}$$

де $\vec{\sigma}$ - миттєве значення вектора напруження, Н / м²;

C_{ij} - тензор пружності досліджуваного продукту;

або використовуючи постійні Ляме тензор пружності можна записати

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & \lambda \\ \lambda & \lambda + 2\mu & \lambda \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2\mu \end{bmatrix} \quad (17)$$

За аналогією можна записати тензор щільності і тензор швидкості v_{ij} акустичної хвилі

$$v_{ij} = \sqrt{\frac{C_{ij}}{\rho_{ij}}} \quad (18)$$

Вище наведені вирази (12...17) відносяться до анізотропних неоднорідних продуктів. При дії на ізотропний однорідний продукт немонохроматичним акустичним полем, що має дискретний або безперервний спектр частот, продукт не буде диспергувати з цим полем. У цьому випадку рівняння (16) прийме вигляд

$$\vec{\sigma} = C_{ij} \vec{\varepsilon} \quad (19)$$

Можливі випадки, коли при безперервному впливі акустичного поля на досліджуваний продукт, параметри цього продукту залежать від часу і частоти

$$C_{ij} = C_{ij}(t, \omega) \quad (20)$$

де t - час, с;

ω - частота акустичного зонduючого сигналу, с⁻¹.

У цьому випадку хвилі, які описуються відповідними функціями, зручно розглядати як суперпозицію гармонічних хвиль, використовуючи перетворення Фур'є [1,2]. Для продуктів з лінійними характеристиками отримаємо:

$$\vec{\sigma}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega=-\infty}^{\omega=\infty} \vec{\varepsilon}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

де
$$\vec{\varepsilon}(j\omega) = C_{ij}(t, \omega) \frac{1}{2\pi} \int_{t=-\infty}^{t=\infty} \vec{\sigma}(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$\vec{u}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega=-\infty}^{\omega=\infty} \frac{C_{ij}}{\rho} (t, \omega) \vec{\sigma}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

де
$$\vec{\sigma}(j\omega) = \int_{t=-\infty}^{t=\infty} \vec{u}(t) e^{-j\omega t} dt \quad (21)$$

На підставі рівнянь (21) може бути отримано інформацію о якості продуктів, що виражені в акустичних величинах.

Висновки. Сільськогосподарські продукти, в своїй більшості складні і неоднорідні. Їх фізико-механічні характеристики нелінійні і

залежать від частоти і сили прикладеної дії. Необхідно враховувати і той фактор, що з часом фізико-механічні властивості та біохімічні параметри продуктів змінюються. Тому продукт, який розміщено в зоні дії акустичного поля, може бути представлений як «чорний ящик» з невідомими акусто-фізичними характеристиками. Ці характеристики можуть бути об'єктивно визначені, якщо систему, як реальну фізичну модель відобразити математичною моделлю.

Список використаних джерел

1. *Виноградова М.Г., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн – М.: Наука Гл.ред. физ-мат. лит., 1990 – 442с.
2. *Лепендин Л.Ф.* Акустика. – М.: Высш. Школа, 1978 -448с.
3. *Кайно Г.* Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов: Пер. с англ. – М.:Мир, 1990 – 656с.
4. Электрофизические, оптические, акустические свойства пищевых продуктов: Справочник / Под ред. *Рогова И.А.* – М.: 1982 – 286 с
5. *Иноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві :Навчальний посібник – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ С ПАРАМЕТРАМИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Яковлев В.Ф., Литвин А.В.

Аннотация - на основе проведенного теоретического анализа обоснованы основные уравнения связи между параметрами сельскохозяйственных продуктов и параметрами акустического поля при зондировании качественных признаков продукта.

BASIC EQUATIONS OF CONECTION OF AGRICULTURAL PRODUCTS PARAMETERS WITH THE PARAMETERS OF ACOUSTIC FIELD

V. Yakovlev, A. Lytvyn

Summary

On the basis of the conducted theoretical analysis, basic equations of connection between the parameters of agricultural products and the parameters of the acoustic field at sounding of the products quality are grounded.

ЗМІСТ***ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ*****АВТОМАТИЗАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....3**

Лисенко В. П.

ELECTRONHYDRODYNAMIC DRYING: ENERGY AND QUALITY ASPECTS13

Martynenko A. I.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ33

Диордиев В. Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЙ СТАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЫХОДНЫМИ СИЛОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ.....37

Зиновкин В. В., Бондаренко В. И., Соломаха А. В.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10 кВ.....46

Козирський В. В., Гай О. В., Заводовський О. О.

ВЛИЯНИЕ ОЗОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ВЛАГОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОРМА.....53

Ксенз Н. В., Толстоухова Т. Н., Вороной Н. С., Леонтьев Н. Г., Финенко В. Ю.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОРМОВ62

Ксенз Н. В., Толстоухова Т. Н.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОПОННОГО ВИРОЩУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ОВОЧІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОПТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ.....76

Кунденко М. П., Бархатов О. М., Автухов А. К., Ковальчук І. М., Румянцев О. О., Шинкаренко І. М.

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ПЛОДІВ ТОМАТІВ	81
Куценко Ю. М., Лукашенко М. І.	
МЕТОД РАСЧЕТА КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ.....	89
Куценко Ю. Н., Орел А. Н., Орел И. А.	
МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЁВА И ЕГО СХЕМНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ.....	95
Тиховод С. М., Корнус Т. М., Токмаков И. В.	
ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ДЛЯ ВПЛИВУ НА РЕПРОДУКТИВНУ ЗДАТНІСТЬ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА	104
Федюшко Ю. М., Сілі І. І.	
РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ КОМІРНИХ ДОВГОНОСИКІВ У СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ	110
Чміль А. І., Усенко С. М., Науменко О. В.	
СТРУКТУРНО-СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛИГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ.....	117
Шведчикова И. А., Романченко Ю. А.	
COMMON APPROACHES OF SMALL WIND TURBINE APPLICATION	126
Lysenko O. V., Adamova S. V.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ АККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА	131
Антипов Е. А.	

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ
НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ СТРУКТУР ПРИ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОМУ УПРАВЛІННІ
ТЕПЛИЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ136**

Болбот І. М.

**ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСНОГО
УСТАТКУВАННЯ НА ЕКОНОМІЧНУ
ЕФЕКТИВНОСТЬ ЗРОШУВАНОВОГО
ЗЕМЛЕРОБСТВА144**

Бохон І. М.

**КОНТРОЛЬ ВИТРАТИ РЕСУРСУ ІЗОЛЯЦІЇ
АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ
ВІДХИЛЕННІ НАПРУГИ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ.....154**

Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С.

**СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С
НЕЛИНЕЙНОЙ ЛИНИЕЙ РАВНОВЕСИЯ160**

Волянский Р. С.

**ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ИЗ
БИОМАССЫ169**

Вороновский И. Б.

**ВИЗНАЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО ВИРАЗУ
ІМОВІРНОСТІ НАДХОДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ
СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ175**

Голик О. П., Жесан Р. В., Зубенко В. О.

ОБРОБКА БЮДИЗЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОМ.....181

Журавель Д. П.

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ185**

Заболотный А. П., Дьяченко В. В., Даус Ю. В.

**ОРГАНІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ
КОНТРОЛЕРА ТИПУ РМС ПРИ КЕРУВАННІ
КРОКОВИМ ДВИГУНОМ192**

Голодний І. М., Лавріненко Ю. М., Торопов А. В.

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕМОДУЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ.....202

Загуменная Е. В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ЧП «МОЛОКОЗАВОД – ОЛКОМ»206

Катюха И. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАДАЧАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА212

Кашкарёв А. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПІД ВПЛИВОМ НЕПОВНОФАЗНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ.....218

Квітка С. О., Вовк О. Ю., Стьопін Ю. О., Квітка О. С.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10 ТА 35 КВ223

Коваленко Л. Р., Коваленко О. І.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ГРИБНОЇ ТЕПЛИЦІ230

Кошкін Д. Л.

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....237

Курашкин С. Ф.

АНАЛІЗ ВИДІВ БІОПАЛИВ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....242

Кушлик Р. Р.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ИХ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ248

Лисиченко Р. Н., аспирант, Черемисин Н. М.

- ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ОДНОФАЗНОГО АВТОНОМНОГО
АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА.....257**
Макаревич С. С.
- УСЛОВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕПОДВИЖНОГО
ЭЛИПСОИДА ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ.....266**
Миленин Д. Н., Лисиченко Н. Л.
- АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ
НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АСИНХРОННИХ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ
РОТОРОМ.....274**
Нестерчук Д. М., Рижков А. О.
- ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ НА
ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОАЕРОЗОЛЕЙ.....281**
Новиков Г. В.
- ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ТЕЛЕКОНТРОЛЮ ТА
ЗАХИСТУ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....290**
Попова І. О., Курашкін С. Ф.
- ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ
ТРАНСПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЗЕРНОПУНКТАХ295**
Постнікова М. В.
- ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ
КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА
ЗНОШЕНІ ДЕТАЛІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....301**
Радько І. П. Мархонь М. В.
- ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕНЕРГІЮ
ПРОРОСТАННЯ ТА ЗДАТНІСТЬ ПРОРОСТАННЯ
НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....310**
Савченко В. В. Синявський О. Ю.
- АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
МЕТАНТЕНКА316**
Скляр О. Г., Скляр Р. В.

ОЦІНКА ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ.....	323
Стьопін Ю. О. Борохов І. В., Перова Н. П.	
ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ДСТУ EN 50160:2014.....	328
Трунова І. М., Мороз О. М.	
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДАЧІ ПРИ ЧИСЕЛЬНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТРУБНОГО ПУЧКА.....	332
Троханяк В.І.	
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА	338
Усенко С. М.	
КОМПЕНСАЦІЯ ЗАПІЗНЕНЬ ЗЕРНОСУШАРКИ З КИПЛЯЧИМ ШАРОМ ПРИ НЕПОВНИХ ВИМІРЮВАННЯХ ЇЇ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ.....	344
Федотова М. О., Осадчий С. І., Березюк І. А., Скриннік І. О.	
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ АПК НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ.....	349
Хандола Ю. М., Середин М. Ю., Хандола О. Ю.	
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРИ СЕПАРАЦІЇ РУШАНКИ РИЦІНИ	356
Чебанов А. Б., Назаренко М. О.	
АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	361
Яковлєв В. Ф., Лисенко О. В.	
ОСНОВНІ РІВНЯННЯ ЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ З ПАРАМЕТРАМИ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ	370
Яковлєв В. Ф., Литвин А. В.	
ЗМІСТ	377

Наукове фахове видання

Праці

Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 15, том 2

Свідоцтво про державну реєстрацію – Міністерство юстиції
13503-2387 ПР від 03.12.2007 р.

Відповідальний за випуск – Куценко Ю.М.

Надруковано з готових оригінал-макетів

Підписано до друку 25.05.2015 р.

Друк RISO. Папір офсетний. 44,3 умов. друк. арк.

Наклад 100 примірників. Замовлення №175

Видавець і виготовлювач ПП Верескун В.М.

Видавничо-поліграфічний центр «Люкс»

м. Мелітополь, вул. К. Маркса, 10, тел.: (0619) 44-45-11

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виробників
і розповсюджувачів видавничої продукції
від 11.06.2002р. серія ДК № 1125