

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ
ДУГОСТАТОРНОГО ІНДУКТОРНОГО ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО
ГЕНЕРАТОРА З КІЛЬЦЕВИМ РОТОРОМ**

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

E-mail: epafort1@ukr.net

М. І. ТРЕГУБ, кандидат технічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет

E-mail: tregyb.m.i@gmail.com

А. В. ПЕТРЕНКО, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

E-mail: petrenko@nubip.edu.ua

О. С. ВАСИЛЕНКО, асистент
Білоцерківський національний аграрний університет

E-mail: oleksandrvasulenko@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано методи визначення геометричних параметрів магнітної системи дугостаторного індукторного вітроелектричного генератора з кільцевим ротором за допомогою аналітичних розрахунків, програмного моделювання та експериментальних досліджень фізичних моделей. Методи розрахунку традиційних типів індукторних електричних машин адаптовані до розрахунку нових дугостаторних індукторних генераторів з кільцевим ротором. Методика теоретичних досліджень полягала у побудові ескізної моделі елементарної функціональної ланки електромагнітної системи і теоретичного аналізу магнітних провідностей у статичних положеннях максимумів і мінімумів значень магнітної провідності.

Побудовано ескізу схему елементарного магнітного кола електромеханічної системи та просторову розрахункову модель для програмного моделювання процесів зміни магнітної провідності магнітної системи в процесі руху феромагнітних елементів кільцевого ротора. Максимальне відносне відхилення, отримане в результаті моделювання та експерименту, не перевищує 5 %, що підтверджує достовірність та адекватність розробленої математичної і комп'ютерної моделі фізичному діючому зразку. Таким чином, розроблена математична і комп'ютерна модель може використовуватися в інженерній практиці для проектування конструкцій дугостаторних індукторних генераторів з кільцевим ротором, які знаходять застосування на безтрансмійсійних вітроелектричних установках та інших електромеханічних системах.

Ключові слова: індукторний дугостаторний вітроелектричний генератор, кільцевий ротор, оптимальні геометричні параметри, магнітна провідність

Актуальність. Для вітроелектричних генераторів індукторні електричні машини (ІЕМ) вважаються [1] одними з найбільш простих та надійних типів за рахунок відсутності на роторі будь-яких функціональних деталей окрім зубчастого магнітопроводу. Однак досі мало уваги приділено методам розрахунку магнітних систем [2] дугостаторних індукторних генераторів з кільцевим ротором, у яких роторна ланка магнітного кола не має спинки, але значно відрізняється просторовою конфігурацією від традиційних. Саме тому, обґрунтування методів визначення оптимальних геометричних параметрів таких магнітних систем є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням дослідження впливу геометричних розмірів зубців та пазів типових індукторних генераторів на зміну магнітної індукції раніше приділяли значну увагу, наприклад, [1]. Також останнім часом проводяться дослідження магнітних систем індукторних генераторів аксіального типу [3]. До цього слід додати сучасні публікації про коло-польові методи досліджень магнітних систем подібних реактивних машин [4]. Однак відомі методи досліджень необхідно адаптувати для суттєво відмінних магнітних систем дугостаторних генераторів з кільцевим ротором.

Мета дослідження – обґрунтування методів визначення оптимальних геометричних параметрів магнітних систем безконтактних дугостаторних ІЕМ з кільцевим ротором, які знаходять широке застосування у різних сферах, зокрема у безтрансмійних вітроустановках.

Об'єктом досліджень були електромагнітні процеси в електромеханічній системі дугостаторної ІЕМ з кільцевим ротором.

Предметом досліджень були закономірності впливу геометричних параметрів феромагнітного полюсного елемента кільцевого ротора на періодичну зміну магнітної провідності (відтак пропорційну зміну потокозчеплення) електромагнітної системи при обертovому русі з урахуванням конструктивних обмежень.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили теоретичним і експериментальним методами. Методика теоретичних досліджень полягала у побудові ескізної моделі елементарної функціональної ланки електромагнітної системи і теоретичного аналізу магнітних провідностей у статичних положеннях максимумів і мінімумів значень магнітної провідності. Конструктивна схема запропонованої [2] елементарної ланки електромеханічної системи із кільцевим ротором дугостаторного індукторного генератора вітроустановки зображена на рис.1.

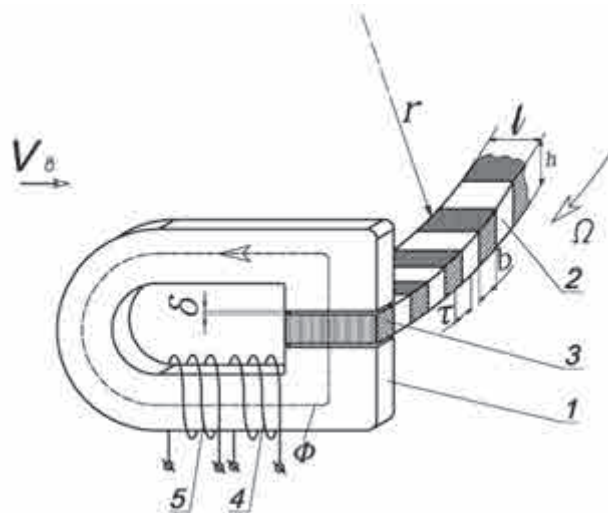


Рис. 1. Ескізна схема електромагнітної системи дугостаторної ІЕМ з кільцевим ротором:

1 – магнітопровід секції статора, 2 – немагнітна корпусна ділянка полюсного поділу ротора, 3 – феромагнітний полюсний елемент ротора, 4 – якірна обмотка, 5 – обмотка збудження, Φ – осьова лінія діючого магнітного потоку, r – радіус доцентрової поверхні кільцевого ротора, l – аксіальна довжина феромагнітного елемента ротора, h – радіальна висота кільцевого ротора, b – середня ширина феромагнітного елемента ротора, Ω – напрям кутової швидкості обертання ротора, τ – полюсний поділ, δ – середня відстань робочого повітряного проміжку, V_δ – орієнтовний напрям вітру

Принцип дії зображеної електромеханічної системи в режимі генератора полягає у зміні потокозчеплення з частотою f за рахунок гармонійної зміни магнітної провідності при обертанні ротора. Частота визначається залежністю, характерною для індукторних генераторів:(1)

$$f = z_\phi n, \quad \Gamma_{\text{ц}}, \quad (1)$$

де z_ϕ – кількість феромагнітних полюсних елементів кільцевого ротора, яку можна визначити за його радіусом та розміром полюсного поділу:

$$z_\phi = \pi r / \tau, \quad (2)$$

де n – частота обертів кільцевого ротора, с^{-1} ,

Тоді вираз для діючого значення ЕРС за певної частоти обертів матиме характерний для індукторних генераторів вигляд:

$$E_d = 0,5 k_\phi \cdot E_{cp} = 0,5 \sqrt{2} \cdot \pi^2 \cdot z_\phi n w \cdot F_M \cdot \Lambda, \quad (3)$$

де k_ϕ – коефіцієнт форми;

E_{cp} – середнє значення наведеної ЕРС.

Наведена форма запису залежності відображує особливості індукування ЕРС дугостаторним індукторним генератором із нерухомою системою збудження за рахунок періодичної зміни величини магнітної

провідності Λ рухом феромагнітного елемента ротора через робочий повітряний проміжок.

Вплив геометричних параметрів рухомої ланки магнітного кола електромеханічної системи на зміну магнітної провідності можна проаналізувати за допомогою розгляду схеми розгортки функціональної ділянки відомими методами магнітостатики. Для двох граничних положень ділянок полюсного поділу розгортки кільцевого ротора побудована графічна картина силових ліній плоскопаралельного магнітного поля (рис. 2).

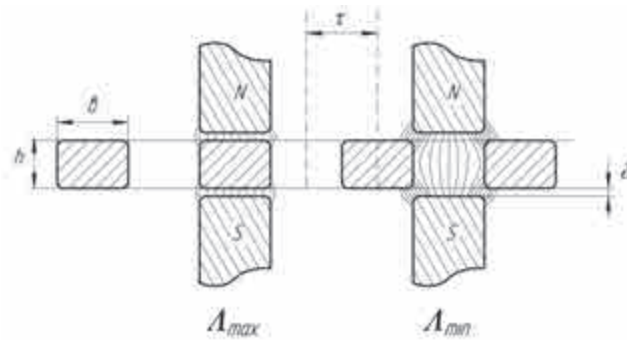


Рис. 2. Схематична картина графічного зображення силових ліній магнітного поля через феромагнітні елементи ротора

Графічний аналіз (рис. 2) дозволяє вважати, що за умови відсутності насичення магнітопроводу в положенні повного розташування феромагнітного елемента ротора у повітряному проміжку магнітопроводу статора і значно меншим розміром робочого проміжку від полюсного поділу ($\delta \ll \tau$) явище випинання магнітного поля буде впливати лише на незначне збільшення площі перетину немагнітної ділянки, а потоки розсіювання практично будуть відсутні. Оскільки $\mu_0 \ll \mu_\phi$, то $\Lambda_{\max}$ залежатиме лише від розмірів робочого повітряного проміжку δ , а розмір h феромагнітного елемента ротора на цей показник практично не впливає. Це можна показати аналітичним розрахунковим виразом максимального значення магнітної провідності:

$$\Lambda_{\max} = (R_\delta + R_\phi)^{-1} = (2\delta / \mu_0 b \ell + h / \mu_\phi b \ell)^{-1}, \quad (4)$$

де R_δ – магнітний опір робочого повітряного проміжку,

R_ϕ – магнітний опір магнітопровідної ділянки кола;

μ_ϕ – магнітна проникність феромагнітного матеріалу магнітопроводу. Аналізуючи порядкові значення чисел магнітної проникності повітря μ_0 та електротехнічної сталі μ_ϕ можна показати, що складова магнітного опору магнітопроводу не перевищуватиме 0,01%. Складніше завдання визначення мінімальної величини провідності у положенні (рис. 2а), оскільки неможливо розрахувати опір потокам через бічні поверхні сусідніх феромагнітних елементів ротора. Тому була необхідність дослідження просторової моделі розподілу магнітного поля у програмі COMSOL.

Для підтвердження теоретичних залежностей проводили експериментальні дослідження за допомогою фізичних лабораторних моделей. Методика експериментальних досліджень базувалася на визначенні індуктивного опору електромагнітної системи при зміні координатного положення феромагнітного елемента ротора відносно магнітопроводу статора. Принципова схема лабораторної моделі зображена на рис. 3.

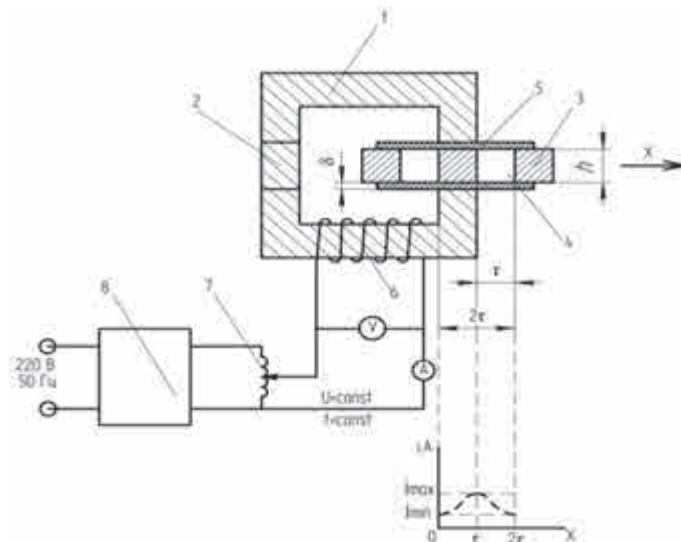


Рис. 3. Схема лабораторного станду експериментальних досліджень магнітного кола кільцевого ротора

Лабораторний стенд (рис. 3) складався зі шихтованого магнітопроводу 1, у якому встановлена змінна калібрувальна вставка 2 для дослідження впливу різних розмірів h феромагнітного елемента ротора на зміну індуктивності за певних розмірів полюсного поділу. Феромагнітні елементи ротора 3 виконані шихтованим пакетом із пластинок електротехнічної сталі, встановлених монолітно у немагнітному корпусі 4, виконаному зі склотекстоліту, магнітна провідність якого близька до магнітної провідності повітря. Із такого самого матеріалу виконані склотекстолітові пластинки для моделювання незмінного розміру робочого повітряного проміжку з обох боків. Паралельно до площини корпусу феромагнітних елементів ротора закріплювалася лінійка з ціною поділки 0,5 мм, виготовлена з немагнітного матеріалу, за допомогою якої вимірювали зміни положення феромагнітних елементів відносно магнітопроводу.

Досліди виконували шляхом переміщення й фіксації феромагнітних елементів ротора відносно магнітопроводу статора через 5 мм, що забезпечувало точність координатного положення за міліметровою шкалою в межах $\pm 5\%$.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами програмного моделювання просторової моделі отримана картина розподілу магнітної індукції в положенні мінімальної провідності (рис. 4)

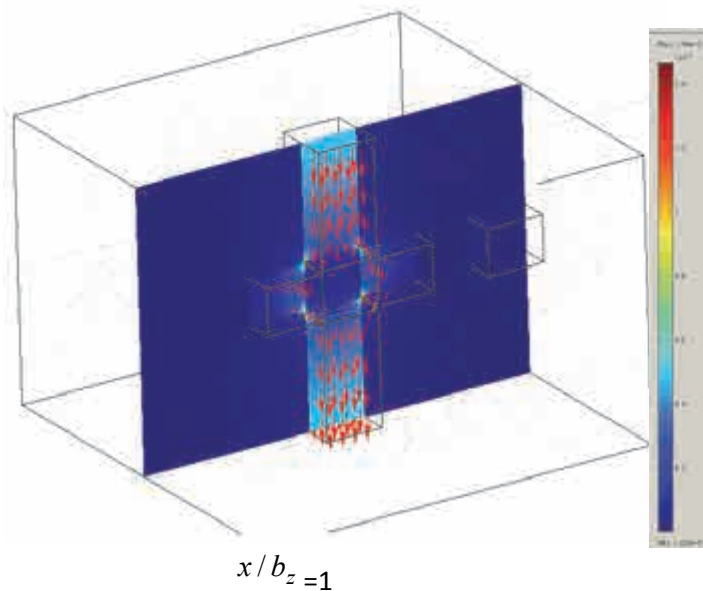


Рис. 4. Просторова модель розподілу магнітної індукції в положенні мінімальної магнітної провідності

Моделювання підтверджує характер проходження магнітного потоку через немагнітопровідну ділянку та з обох сторін розташовані феромагнітні елементи кільцевого ротора, як це графічно зображено на рис. 2а.

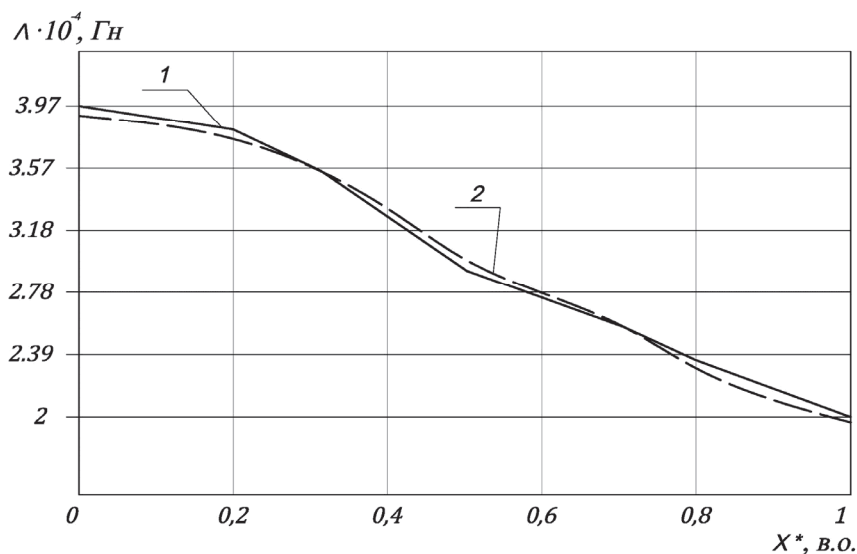


Рис. 5. Зміни магнітної провідності системи в координатах руху феромагнітного пакета ротора:

1 – розрахунок програмного моделювання, 2 – експеримент

Одночасно програмне моделювання просторової моделі дає змогу отримати залежність магнітної провідності за різних координатних положень феромагнітного елемента кільцевого ротора і порівняти її з

експериментальною залежністю, отриманою за описаною методикою на лабораторному стенді, що показано на рис. 5.

Висновки і перспективи. Для процесу проектування безтрансмісійних дугостаторних індукторних вітроелектричних генераторів обґрунтовано методи визначення геометричних параметрів функціональних деталей кільцевого ротора на підставі розробки ескізної просторової моделі та дослідження її програмним моделюванням і порівнянням результатів із експериментальними значеннями.

Максимальне відносне відхилення отриманих значень максимальної магнітної провідності в результаті моделювання та експерименту не перевищує 5 %, що підтверджує їх достовірність та адекватність розробленої математичної і комп'ютерної моделі фізичному діючому зразку.

Список літератури

1. Альпер Н. Я. Индукторные генераторы / Н. Я. Альпер, А. А. Терзян. – М. : Энергия, 1970. – 192 с.
2. Козирський В. В. Методологія вибору типу і геометричної конфігурації кільцеворотного дугостаторного генератора безредукторної вітроелектричної установки / В. В. Козирський, М. І. Трегуб // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК», Київ, 5–6 листопада 2013 р., с. 57–58.
3. Пат. №101118 UA, МПК H02K19/20, H02K21/38 Індукторний аксіальний генератор / Трегуб М. І., Козирський В. В. – № а 2012 00837 ; заявл. 27.01.2012 ; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.
4. Рисованный С. В. Проектирование вентильных реактивных двигателей : монография / С. В. Рисованный, В. Б. Финкельштейн ; Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Х. : ХНУГХ, 2014. – 245 с.

References

1. Al'per, N. YA. (1970). Induktornyie generator [Inductor generators]. Moscow, Russia: Energiya, 192.
2. Kozyrskiy, V. V., Trehub, M. I. (2013). Methodology of a vibor of type and geometrical configuration of arc-stator generator with rin rotor four wind turbine. International scientific practical conference «Problems and the prospects of development of power, electrotechnologies and automatic equipment in an agrarian industrial complex». Kiev, 57–58.
3. Trehub, M. I., Kozyrskiy, V. V. (2013). Inductor axial generator. H02K19/20, H02K21/38. №101118 UA; declared 27.01.2012; published 25.02.2013, № 4.
4. Risovanyy, S. V., Finkel'shteyn, V. B. (2014). Proyektirovaniye ventil'nykh reaktivnykh dvigateley [Design of valve jet engines]. Kharkiv: KNUME of O.M. Beketov, 245.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДУГОСТАТОРНОГО ИНДУКТОРНОГО ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С КОЛЬЦЕОБРАЗНЫМ РОТОРОМ

**В. В. Козырский,
Н. И. Трегуб,
А. В. Петренко,
А. С. Василенко**

Аннотация. Обоснованы методы определения геометрических параметров магнитной системы дугостаторного индукторного ветроэлектрического генератора с кольцевым ротором с помощью аналитических расчетов, программного моделирования и экспериментальных исследований физических моделей. Методы расчета традиционных типов индукторных электрических машин адаптированы для расчета новых дугостаторных индукторных генераторов с кольцевым ротором. Методика теоретических исследований заключалась в построении эскизной модели элементарного функционального звена электромагнитной системы и теоретического анализа магнитных проводимостей в статических положениях максимумов и минимумов значений магнитной проводимости.

Построена эскизная схема элементарной магнитной цепи электромеханической системы и пространственная расчетная модель для программного моделирования процессов изменения магнитной проводимости магнитной системы в процессе движения ферромагнитных элементов кольцевого ротора. Максимальное относительное отклонение полученных результатов моделирования и эксперимента не превышает 5%, что подтверждает достоверность и адекватность разработанной математической и компьютерной модели физическому действующему образцу. Таким образом, разработанная математическая и компьютерная модель может использоваться в инженерной практике для проектирования конструкций дугостаторных индукторных генераторов с кольцевым ротором, которые находят применение на бестрансмиссионных ветроэлектрических установках и других электромеханических системах.

Ключевые слова: индукторный дугостаторный ветроэлектрический генератор, кольцеобразный ротор, оптимальные геометрические параметры, магнитная проводимость

SUBSTANTIATION OF MAGNET SYSTEM PARAMETERS OF ARC-STATOR GENERATOR WITH RING ROTOR FOUR WIND TURBINE

**V. V. Kozirsky,
M. I. Tregub,
A. V. Petrenko,
O. S. Vasilenko**

Abstract. Methods of calculation of traditional types of induction electric machines are adapted for the calculation of new arc-stator inductor generators

with a circular rotor, which are used in trans-free-energy wind turbine generators. A sketch diagram of the elementary magnetic circuit of the electromechanical system and a spatial calculation model for software simulation of the processes of magnetic conductivity change in the process of motion of the ferromagnetic elements of the ring rotor are constructed. The method of analytical calculation with sufficient accuracy determines only the value of the maximum conductivity in the position of the complete arrangement of the ferromagnetic element of the annular rotor in the slot of the stator magnet, when there are practically no phenomena of protrusion and scattering in the absence of magnetic saturation.

In all other intermediate coordinate positions of the ferromagnetic elements of the rotor and in the position of the complete exit from the slot of the magnetic conduction, the change in magnetic conductivity must be determined by the field-by-field method with the help of software modeling of the spatial model of the magnetic system. Experimental investigations were carried out according to the well-known technique on the developed laboratory stand of the physical model of the magnetic circle. The results of software modeling and experimental results showed a high level of coincidence, which allows us to apply these methods in the design process of constructions arc-stator inductor generators with a circular rotor, which are found to be applied on transmittingless wind turbines and other electromechanical systems.

Keywords: arc-stator generator, wind turbine, ring rotor, geometric parameters, magnetic conductivity

УДК 621.313.8: 631.53.027

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ НАСІННЯ ЯЧМЕНЮ

В. В. САВЧЕНКО, кандидат технічних наук, доцент

О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. Визначено вплив магнітного поля на водопоглинання насіння ячменю. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що водопоглинання насіння за передпосівної обробки в магнітному полі залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі.

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл, водопоглинання насіння зростає, а при подальшому її збільшенні починає зменшуватися.

with a circular rotor, which are used in trans-free-energy wind turbine generators. A sketch diagram of the elementary magnetic circuit of the electromechanical system and a spatial calculation model for software simulation of the processes of magnetic conductivity change in the process of motion of the ferromagnetic elements of the ring rotor are constructed. The method of analytical calculation with sufficient accuracy determines only the value of the maximum conductivity in the position of the complete arrangement of the ferromagnetic element of the annular rotor in the slot of the stator magnet, when there are practically no phenomena of protrusion and scattering in the absence of magnetic saturation.

In all other intermediate coordinate positions of the ferromagnetic elements of the rotor and in the position of the complete exit from the slot of the magnetic conduction, the change in magnetic conductivity must be determined by the field-by-field method with the help of software modeling of the spatial model of the magnetic system. Experimental investigations were carried out according to the well-known technique on the developed laboratory stand of the physical model of the magnetic circle. The results of software modeling and experimental results showed a high level of coincidence, which allows us to apply these methods in the design process of constructions arc-stator inductor generators with a circular rotor, which are found to be applied on transmittingless wind turbines and other electromechanical systems.

Keywords: arc-stator generator, wind turbine, ring rotor, geometric parameters, magnetic conductivity

УДК 621.313.8: 631.53.027

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ НАСІННЯ ЯЧМЕНЮ

В. В. САВЧЕНКО, кандидат технічних наук, доцент

О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. Визначено вплив магнітного поля на водопоглинання насіння ячменю. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що водопоглинання насіння за передпосівної обробки в магнітному полі залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі.

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл, водопоглинання насіння зростає, а при подальшому її збільшенні починає зменшуватися.

Якщо магнітна індукція перевищує 0,130 Тл, водопоглинання змінюється несуттєво порівняно з контролем.

Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4/с. За такого режиму обробки відносне водопоглинання насіння ячменю збільшилося на 11,1 % порівняно з контролем.

Ключові слова: *магнітна індукція, швидкість руху зерна, дифузія молекул, клітинна мембрана, водопоглинання, ячмінь*

Актуальність. Підвищення урожайності зернових культур без застосування хімічних засобів є актуальним завданням. Одним зі шляхів його вирішення є застосування електротехнологій.

Передпосівна обробка насіння зернових культур у магнітному полі має переваги перед іншими електрофізичними методами. Це високопродуктивна, енергоефективна, екологічна та ресурсозберігаюча технологія, яка дає можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур та якість продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині встановлено, що під дією магнітного поля зростає швидкість хімічних і біохімічних реакцій, які протікають в клітинах, підвищується розчинність солей і кислот, а також проникність мембран, що прискорює дифузію через мембрану молекул та іонів [1–3]. Це сприяє стимуляції насіння, росту та розвитку рослин.

Застосування технології передпосівної обробки насіння в магнітному полі зумовлює необхідність встановлення механізму його впливу на насіння й визначення найефективнішого режиму обробки.

Мета дослідження – встановлення впливу магнітного поля на водопоглинання насіння ячменю.

Матеріали і методи дослідження. Якщо два розчини різної концентрації розділені мембраною, яка є непроникною для розчиненої речовини, то вирівнювання концентрації досягається за рахунок дифузії молекул води в розчин з більшою концентрацією речовини [5].

Під дією магнітного поля посилюється дифузія молекул води, унаслідок чого, зростає водопоглинання насіння.

Експериментальні дослідження проводилися з ячменем сорту «Солнцедар». Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, що створювалося чотирма парами постійних магнітів із інтерметалічного композиту NdFeB, встановлених паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю.

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

Контрольне та оброблене у магнітному полі насіння зважували до замочування та після його замочування в дистильованій воді протягом 30 хв. Питоме водопоглинання розраховували за формулою [1]:

$$Y = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m_2 – маса насіння (контрольного та обробленого) після замочування;
 m_1 – маса насіння після замочування.

Дослідження впливу магнітної індукції і швидкості руху на водопоглинання насіння пшениці при магнітній обробці проводилися з використанням теорії планування експерименту [6]. Як фактори приймалися магнітна індукція (X_1) і швидкість руху насіння (X_2), а за вихідну величину – водопоглинання насіння пшениці.

На основі проведених однофакторних експериментів були визначені значення верхнього, нижнього та основного рівнів фактора, які становили для магнітної індукції, відповідно, 0; 0,65 і 0,130 Тл, для швидкості руху насіння – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

Результати дослідження та їх обговорення. У початковий момент часу кількість речовини в розчинах, розділених мембраною, становить, відповідно, C_1V та C_2V . В усталеному режимі після дифузії молекул води з розчину з меншою концентрацією в розчин з більшою концентрацією речовини концентрації розчинів вирівнюються і становлять

$$\frac{C_1V}{V + \Delta V} = \frac{C_2V}{V - \Delta V}, \quad (2)$$

де ΔV – об'єм води, який пройшов через мембрану, м^3 .

Із рівняння (2) отримаємо

$$\Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (3)$$

Процес дифузії води через мембрану описується законом Фіка:

$$\frac{(C_1 + C_2)d\Delta V}{dt} = -\frac{D}{\Delta L^2} (C_2(V + \Delta V) - C_1(V - \Delta V)), \quad (4)$$

де D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

ΔL – товщина мембрани, м.

Звідси маємо:

$$\frac{(C_1 + C_2)d\Delta V}{dt} = -\frac{D}{\Delta L^2} ((C_2 - C_1)V + (C_1 + C_2)\Delta V), \quad (5)$$

або

$$\frac{\Delta L^2}{D} \frac{d\Delta V}{dt} + \Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (6)$$

При початкових умовах ($t=0$, $\Delta V_{\text{поч}}=0$) це диференціальне рівняння має розв'язок:

$$\Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V \left(1 - e^{-\frac{D}{\Delta L^2} t} \right), \quad (7)$$

Звідси водопоглинання клітини:

$$\Delta m = \rho \Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V \left(1 - e^{-\frac{D}{\Delta L^2} t} \right), \quad (8)$$

де ρ – густина води, кг/м^3 .

Коефіцієнт дифузії через клітинну мембрану можна визначити за формулою [1]:

$$D = k_D a^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (9)$$

де k_D – коефіцієнт, с^{-1} ;

a – міжатомна відстань, м;

E_a – енергія активації дифузії, Дж;

k – стала Больцмана, Дж/К;

T – абсолютна температура, К.

При дії магнітного поля розмір пори в мембрані зростає і буде

становити $a + K_M \frac{\Delta B}{\Delta L}$, де B – магнітна індукція, КМ – коефіцієнт.

Це означає, що під дією магнітного поля на клітинну мембрану підвищується її проникність, тому зростає водопоглинання:

$$\Delta m = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \rho V \left(1 - e^{-\frac{k_d (a + K_m \frac{\Delta B}{\Delta L})^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}}{\Delta L^2} t} \right) \quad (10)$$

Експериментально встановлено, що при зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл, водопоглинання насіння ячменю зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися (рис. 1). Встановлено, що при магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, водопоглинання змінюється неістотно і становить для насіння ячменю 17 % (у контролі – 9,8 %).

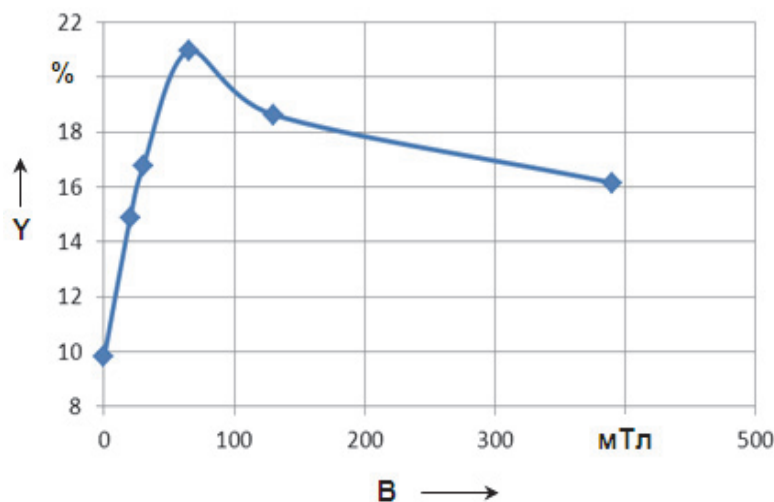


Рис. 1. Залежність питомого водопоглинання насіння ячменю від магнітної індукції

За результатами проведеного багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке у фізичних величинах має вигляд (рис. 2):

$$Y = 9,836 + 298,33B - 0,486v - 75Bv - 1562B^2. \quad (11)$$

Встановлено, що водопоглинання насіння ячменю максимальне при магнітній індукції 0,065 Тл. Ефект магнітної обробки залежить від швидкості руху насіння, але в діапазоні швидкостей 0,4–0,8 м/с вона є менш істотним фактором, ніж магнітна індукція. Найкращі результати було отримано при швидкості 0,4 м/с.

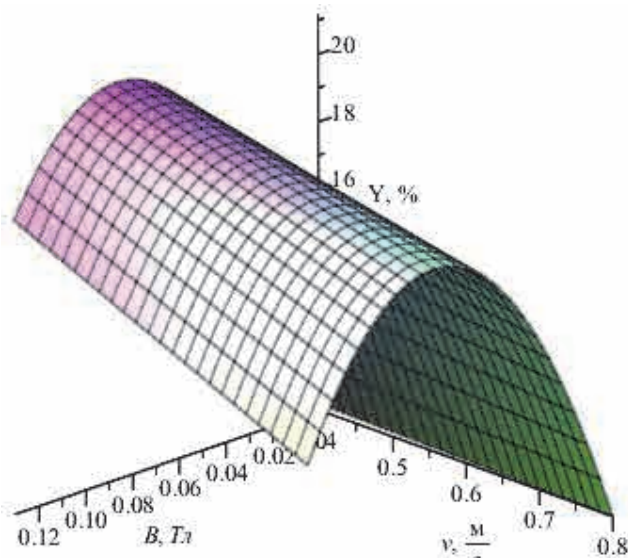


Рис. 2. Зміна питомого водопоглинання при обробці насіння ячменю в магнітному полі

Висновки і перспективи. На основі проведених досліджень встановлено, що водопоглинання насіння ячменю при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі. Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4 м/с.

Список літератури

1. Сидорцов И. Г. Повышение эффективности воздействия постоянного магнитного поля на семена зерновых культур при их предпосевной обработке : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» / И. Г. Сидорцов. – Зерноград, 2008. – 18 с.
2. Агрохимия / [Ягодин Б. А., Смирнов П. М., Петербургский А. В. и др.] ; под ред. Б. А. Ягодина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1989. – 639 с.
3. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки / Д. Кларксон. – М. : Мир, 1978. – 368 с.
4. 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.
5. 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.
6. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М. : Наука, 1976. – 278 с.

References

1. Sidortsov, I. G. (2008). Povysheniye effektivnosti vozdeystviya postoyannogo magnitnogo polya na semena zernovykh kul'tur pri ikh predposevnoy obrabotke [Improving the efficiency of the impact of a constant magnetic field on crops seed at their pre-treatment]. Zernograd, 18.
2. Yagodin, B. A., Smirnov, P. M., Peterburgskiy, A. V. i dr. (1989). Agrokimiya [Agrochemicals] ; pod red. B. A. Yagodina. Moscow: Agropromizdat, 639.
3. Klarkson, D. (1978). Transport ionov i struktura rastitel'noy kletki [Transport of ions and the structure of the plant cell]. Moscow: Mir, 368.
4. Kozyrskiy, V. V., Savchenko, V. V., Sinyavskiy, A. Y. (2014). Vliyaniye magnitnogo polya na diffuziyu molekul cherez kletochnuyu membranu semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The influence of magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of seed crops]. Vestnik VIESKH, 2 (15), 16–19.
5. Kozyrskiy, V. V., Savchenko, V. V., Sinyavskiy, O. Y. (2014). Vplyv mahnitnoho polya na vodopohlynannia nasinnia [The influence of magnetic field on water absorption of seeds]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 194 (1), 16–20.
6. Adler, Y. P., Markova, E. V., Granovskiy, Y. V. (1976). Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [The planning of experiment in the search for optimal conditions]. Moscow: Nauka, 278.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ

**В. В. Савченко,
А. Ю. Синявский**

Аннотация. Установлено влияние магнитного поля на водопоглощение семян ячменя.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что водопоглощение семян при предпосевной обработке в магнитном поле зависит от квадрата магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. При изменении магнитной индукции от 0 до 0,065 Тл водопоглощение семян возрастает, а при дальнейшем ее увеличении начинает уменьшаться. Если магнитная индукция превышает 0,130 Тл, водопоглощение изменяется незначительно по сравнению с контролем.

Наиболее эффективный режим обработки имеет место при магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4/с. При таком режиме обработки относительное водопоглощение семян ячменя увеличилось на 11,1 % по сравнению с контролем.

Ключевые слова: магнитная индукция, скорость движения зерна, диффузия молекул, клеточная мембрана, водопоглощение, ячмень

EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON WATER ABSORPTION OF BARLEY SEEDS

**V. V. Savchenko,
A. Yu. Sinyavsky**

Abstract. *The aim of the research was to establish the influence of magnetic field on the water absorption of barley seeds.*

On the basis of theoretical and experimental studies have established that water absorption of seeds at presowing treatment in a magnetic field depends on the square of the magnetic induction and speed of seed motion in the magnetic field. When the magnetic induction changes from 0 to 0,065 T water absorption of seeds increases, and with a further increase of magnetic induction begins to decrease. It is found that when the magnetic induction greater than 0.130 T, the water absorption does not change significantly compared to the control.

The most effective treatment regimen occurs at 0.065 T magnetic induction and speed of the seeds of 0.4 m/s. The relative water absorption of barley seeds increased by 11.1 % compared with control.

Keywords: *magnetic induction, the speed of grain, diffusion of molecules, cell membrane, water absorption, barley*

УДК 620.97; 621.5; 662.611

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВИКИДІВ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ЗЕРНОВОЇ СУШКИ

В. С. ФЕДОРЕЙКО, доктор технічних наук, професор

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник

Тернопільський національний педагогічний університет

ім. В. Гнатюка

І. С. ІСКЕРСЬКИЙ, кандидат технічних наук, докторант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: zagoroman@ukr.net

Анотація. *Метою дослідження було визначення оптимальних режимів роботи теплогенератора задля зменшення шкідливих викидів з димовими газами.*

У статті описано розрахунок концентрацій забруднювальних речовин і поточних витрат димових газів, які надходять в атмосферне повітря від твердопаливного біотеплогенератора. Визначено шляхи зменшення шкідливих викидів у атмосферу. Наведено результати експериментальних досліджень.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. В. Козирський

© В. С. Федорейко, Р. І. Загородній, І. С. Іскерський, 2017

**V. V. Savchenko,
A. Yu. Sinyavsky**

Abstract. *The aim of the research was to establish the influence of magnetic field on the water absorption of barley seeds.*

On the basis of theoretical and experimental studies have established that water absorption of seeds at presowing treatment in a magnetic field depends on the square of the magnetic induction and speed of seed motion in the magnetic field. When the magnetic induction changes from 0 to 0,065 T water absorption of seeds increases, and with a further increase of magnetic induction begins to decrease. It is found that when the magnetic induction greater than 0.130 T, the water absorption does not change significantly compared to the control.

The most effective treatment regimen occurs at 0.065 T magnetic induction and speed of the seeds of 0.4 m/s. The relative water absorption of barley seeds increased by 11.1 % compared with control.

Keywords: *magnetic induction, the speed of grain, diffusion of molecules, cell membrane, water absorption, barley*

УДК 620.97; 621.5; 662.611

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВИКИДІВ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ЗЕРНОВОЇ СУШКИ

В. С. ФЕДОРЕЙКО, доктор технічних наук, професор

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник

Тернопільський національний педагогічний університет

ім. В. Гнатюка

І. С. ІСКЕРСЬКИЙ, кандидат технічних наук, докторант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: zagoroman@ukr.net

Анотація. *Метою дослідження було визначення оптимальних режимів роботи теплогенератора задля зменшення шкідливих викидів з димовими газами.*

У статті описано розрахунок концентрацій забруднювальних речовин і поточних витрат димових газів, які надходять в атмосферне повітря від твердопаливного біотеплогенератора. Визначено шляхи зменшення шкідливих викидів у атмосферу. Наведено результати експериментальних досліджень.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. В. Козирський

© В. С. Федорейко, Р. І. Загородній, І. С. Іскерський, 2017

Встановлено, що ефективне спалювання твердого біопалива у теплогенераторі забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та зменшує шкідливі викиди в атмосферу на 30 %.

Ключові слова: біотеплогенератор, допустимі викиди, суспендовані тверді частинки

Актуальність. Енергоощадність технології спалювання в котлах значною мірою залежить від виду палива, яке використовується. Оскільки на сьогодні перспективним в усьому світі є використання біопалива, актуальними є дослідження процесу спалювання з метою визначення шляхів забезпечення його ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зазначити, що біомаса має певні особливості, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів. Крім того, деякі з характеристик твердого біопалива, такі як щільність, розміри часток, вологість, за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. Тому в процесі експлуатації теплогенераторів, з метою підвищення енергоефективності горіння твердого біопалива, потрібно враховувати зазначені характеристики [2].

Під час спалювання органічного палива в енергетичних установках в атмосферне повітря разом з димовими газами надходять забруднювальні речовини та парникові гази. За цією методикою обліковуються такі забруднювальні речовини та парникові гази:

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок;
- оксиди сірки SO_x у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид SO_2 ;
- оксиди азоту NO_x у перерахунку на діоксид азоту NO_2 ;
- оксид вуглецю CO ;
- важкі метали та їх сполуки;
- діоксид вуглецю CO_2 ;
- метан CH_4 ;
- азоту (I) оксид або оксид діазоту N_2O .

Валові викиди забруднювальних речовин та парникових газів визначаються на основі:

- постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин у димових газах енергетичних установок;
- розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристики енергетичних та газоочисних установок [3].

Тому, перш ніж вводити в експлуатацію твердопаливні теплогенератори, потрібно провести екологічні дослідження їх викидів у атмосферу.

Мета дослідження – визначення оптимальних режимів роботи теплогенератора з метою зменшення шкідливих викидів з димовими газами.

Матеріали і методи дослідження. В основу процесу дослідження покладено математичні моделі спалювання біопалива в

теплогенераторах [2]. Дослідження та заміри шкідливих викидів у димових газах біотеплогенератора дають змогу оцінити ефективність роботи котла.

Результати досліджень та їх обговорення. Процес горіння палива – це сукупність хімічних реакцій окислення його горючих елементів, що супроводжується значним виділенням тепла і світла. Для підтримки процесу горіння потрібен окислювач – кисень. Швидкість хімічної реакції зростає зі збільшенням температури. Тому в топках теплогенераторів забезпечують безперервну подачу повітря у достатній кількості для спалювання біомаси і підтримки високої температури. При повному окисленні продукти, що утворилися, не можуть більше з'єднуватися з окислювачем і виділяють теплоту. Продуктами повного окислення горючих елементів є оксиди вуглеводню (CO_2), водню (H_2O) і сірки (SO_2 і меншою мірою SO_3) [4].

Причинами неповного згорання палива можуть бути такі: не всі горючі елементи окислюються, при окисленні горючих елементів утворюються продукти, які б могли брати участь в процесі горіння. При неповному окисленні горючих елементів виникають надлишкові викиди у димових газів [2].

Слід зазначити, що біомаса має певні особливості, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, а саме:

- безпосереднє спалювання рослинної біомаси ускладнюється внаслідок її низької щільності та високої вологості;
- без спеціальної обробки біомаса багатьох рослин схильна до гниття, що знижує її енергетичну і технологічну цінність;
- деякі з характеристик твердого біопалива, такі як, наприклад, щільність, розміри часток, вологість, за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені.

Тому в процесі експлуатації теплогенераторів, з метою підвищення енергоефективності горіння твердого біопалива, потрібно враховувати зазначені характеристики.

Також для ефективного горіння твердого палива необхідно забезпечити узгоджене керування окремими модулями електротехнологічного комплексу біотеплогенератора, зокрема вирішення задачі регулювання частотою обертання електроприводів вентилятора та шнека, що визначають об'єми дозування компонентів горіння.

Тому актуальним завданням є забезпечення енергоефективності теплогенератора шляхом визначення регульованих режимів дозування біопалива, на основі аналізу відсоткового складу кисню в димових газах. Вимірювання коефіцієнта надлишку кисню у димових газах виконується газоаналізатором, яким також можна вимірювати вміст шкідливих викидів у димових газів.

Під час проведення постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин і поточних витрат димових газів, які надходять в атмосферне повітря від енергетичної установки, валовий викид E_j , т, j -ї

забруднювальної речовини за проміжок часу P визначається за формулою

$$E_j = 10^{-9} \sum_t^P c_j(t) V(t) \Delta t, \quad (1)$$

де P – проміжок часу звітності;

$c_j(t)$ – масова концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, яка вимірюється в момент часу t , мг/м³;

$V(t)$ – витрата сухих димових газів, яка вимірюється в момент часу t , м³/с;

Δt – дискретність вимірювань, с.

Масова концентрація c_j , мг/м³, j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, розраховується через об'ємну концентрацію за співвідношенням

$$c_j = c_{vj} \rho_j, \quad (2)$$

де c_{vj} – об'ємна концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, см³/м³;

ρ_j – густина j -ї забруднювальної речовини в умовах вимірювання її концентрації, кг/м³.

Густина забруднювальної речовини ρ_j , кг/м³, в умовах вимірювання концентрації розраховується за формулою

$$\rho_j = \rho_{j0} \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}, \quad (3)$$

де ρ_{j0} – густина j -ї забруднювальної речовини за нормальних умов (тиску p_0 та температури T_0), кг/м³;

p – тиск в умовах вимірювання концентрації, МПа;

T – температура в умовах вимірювання концентрації, К [1].

У процесі виробничих досліджень було проведено заміри викидів у твердопаливному теплогенераторі на зерновому елеваторі (див. рисунок) при спалюванні різних видів палива спеціалізованою лабораторією за допомогою газоаналізатора Sigma. На даному теплогенераторі ми застосували розроблений нами спосіб ефективного згорання твердого біопалива [5]. У таблиці наведено результати замірів порівняно з нормативами [3]. Проведений аналіз нормативних документів свідчить, що є затверджені нормативи викидів при спалюванні лише лушпиння соняшника. Ми ж використовували інші види палива, а саме: деревні пилети, деревну тирсу, відходи елеватора.



Досліджуваний теплогенератор зернової сушки

Результати замірів викидів у твердопаливному теплогенераторі

		Технологічний норматив допустимого викиду, мг / м ³				
		N ₂ O	SO ₂	N O ₂	C O	Технологічний норматив допустимого викиду суспендованих твердих частинок
Лушпиння соняшни- ка	згідно з норма- тивами [2]	30 0	250	30 0	22 50	600
Деревні пілети	дані вимірів	15	56	95	95 0	238
Деревна тирса	дані вимірів	27	83	10 1	11 00	375
Відходи елеватора	дані вимірів	46	99	13 7	17 50	420

Наведені в таблиці дані свідчать, що отримані нами показники шкідливих викидів нижчі на 30 %, ніж затверджені у нормативних документах. Отже, розроблена нами система керування теплогенератором забезпечує високі екологічні показники.

Висновки і перспективи. 1. Доведено, що вирішення завдання підвищення енергоефективності твердопаливних теплогенераторів можливе шляхом реалізації раціонального дозування компонентів горіння з використанням регульованих режимів роботи шнека подачі палива та вентилятора на основі аналізу складу димових газів.

2. Ефективне спалювання твердого біопалива у теплогенераторі забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та зменшує шкідливі викиди в атмосферу на 30 %.

Список літератури

1. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – К. : КВІЦ, 2002. – 40 с.
2. Загородній Р. І. Дослідження процесу горіння твердого біопалива засобами моделювання / Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2013. – Вип. 184, ч. 2. – С. 261–265.
3. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Наказ 13.10.2009 N 540 Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря із котелень, що працюють на лушпинні соняшнику. – 5 с.
4. Підвищення енергоефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / В. С. Федорейко, Р. І. Загородній, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 4. – С. 27–32.
5. Федорейко В. С. Біоресурсна диверсифікація джерел енергії в Україні / В. С. Федорейко, І. С. Іскерський, В. М. Шульга // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2016. – Вип. 256. – С. 7–13.

References

1. Vykydy zabrudniuvalnykh rechovyn u atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennia (2002). [1. Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Method of determination]. Kyiv: KVITs, 40.
2. Zahorodnii, R. I. (2013). Doslidzhennia protsesu horinnia tverdoho biopalyva zasobamy modeliuвання [Investigation of the burning process of solid biofuels by means of simulation]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii «Tekhnika ta enerhetyka APK», 184 (2), 261–265.
3. Ministerstvo okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Ukrainy. Nakaz 13.10.2009 N 540 Pro zatverdzhennia Tekhnolohichnykh normatyviv dopustymykh vykydiv zabrudniuiuchykh rechovyn u atmosferne povitria iz kotelen, shcho pratsiuiut na lushpynni soniashnyku (2009). [Ministry of Environmental Protection of Ukraine. Order 13.10.2009 N 540 On Approval of Technological Norms for Permitted Emissions of Polluting Substances to the Atmospheric Air from Boiler-houses, Operating on Sunflower Husk], 5.
4. Fedoreiko, V. S., Zahorodnii, R. I., Lutsyk, I. B., Iskerskyi, I. S. (2014). Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti bioteploheneratora shliakhom ratsionalnoho dozuvannia komponentiv horinnia [Increase of energy efficiency of a biotep-generator by rational dosage of components of combustion]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, 4, 27–32.
5. Fedoreiko, V. S., Iskerskyi, I. S., Shulha, V. M. (2016). Bioresursna dyversyfikatsiia dzherel enerhii v Ukraini [Bio-resource diversification of energy sources in Ukraine]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii «Tekhnika ta enerhetyka APK», 256, 7–13.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ БИОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ЗЕРНОВОЙ СУШКИ

**В. С. Федорейко,
Р. И. Загородний,
И. С. Искерский**

Аннотация. Целью исследования было определение оптимальных режимов работы теплогенератора с целью уменьшения вредных выбросов с дымовыми газами.

В статье описан расчет концентраций загрязняющих веществ и текущих расходов дымовых газов, поступающих в атмосферный воздух от твердотопливного биотеплогенератора. Определены пути уменьшения вредных выбросов в атмосферу. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Установлено, что эффективное сжигание твердого биотоплива в теплогенераторе обеспечивает высокий коэффициент полезного действия и уменьшает вредные выбросы в атмосферу на 30 %.

Ключевые слова: биотеплогенератор, допустимые выбросы, взвешенные твердые частицы

STUDY OF THERMAL EMISSIONS OF BIOTEPLOGENERATOR OF GRAIN DRYER

**V. S. Fedoreyko,
R. I. Zagorodniy,
I. S. Iskersky**

Abstract. The purpose of the study was to determine the optimal operating conditions of the heat generator in order to reduce harmful emissions from flue gases.

The article describes the calculation of concentrations of pollutants and the current flow of flue gases entering the atmosphere from a solid biotep-generator. The ways of reducing harmful emissions into the atmosphere are determined. The results of experimental research are presented.

It has been established that efficient combustion of solid biofuels in the heat generator provides a high efficiency and reduces harmful emissions to the atmosphere by 30 %.

Keywords: bioteplogenerator, allowable emissions, suspended solid particles

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

А. І. ЧМІЛЬ, доктор технічних наук, професор

К. О. ЛАЗАРЮК, аспірант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: kostiantynlazariuk@gmail.com

Анотація. Відомо, що під час передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур електромагнітними випромінюваннями (ЕМВ) різної потужності та інтенсивності можна одержати позитивні результати. Позитивний ефект впливу спостерігається у достатньо широкому діапазоні частот електромагнітного поля від статичного (квазістатичного) електричного поля до електромагнітного випромінювання оптичного і більш високочастотного діапазону.

З діапазону електромагнітних випромінювань позитивний вплив на схожість і ріст рослини має електромагнітне поле в діапазоні високої частоти 3–30 МГц, що дозволяє зменшити час вегетації і збільшити врожайність культур. У статті наведено дані теоретичних і експериментальних досліджень та показано позитивний ефект від передпосівної обробки насіння кукурудзи електромагнітним полем високої частоти (ЕМП ВЧ).

Дослідження проводили на базі генератора ГЗ-41 та спеціально розробленої камери з плоскими конденсаторами із частотою коливань в діапазоні 5–30 МГц. Як оброблюваний об'єкт було вибрано насіння кукурудзи сорту «ЕМІЛІО», яке оброблялося енергією ЕМП ВЧ. Досліджувалося кілька варіантів впливу на енергію проростання та лабораторну схожість насіння. Аналіз результатів досліджень свідчить, що для передпосівної обробки насіння кукурудзи електромагнітним полем високої частоти найбільш доцільним є використання частоти 15 МГц і 30 МГц при експозиції в 900 с., що дозволило підвищити енергію проростання та лабораторну схожість оброблюваного матеріалу.

Ключові слова: електромагнітне поле високої частоти, насіння кукурудзи, ВЧ-установка, передпосівний обробіток

Актуальність. Одним із пріоритетних напрямів розвитку сільського господарства є підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Досягнення цієї мети можливе при підвищенні врожайності, якості зерна та зменшенні втрат при зберіганні. Для цього застосовують

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор А. І. Чміль

© А. І. Чміль, К. О. Лазарюк, 2017

різноманітні, зазвичай, екологічно небезпечні засоби. Створення універсальних, екологічно чистих, дешевих та простих методів підготовки посівного матеріалу, з більшим терміном та якістю зберігання насіння, є важливим науково-практичним завданням.

Відомо, що при передпосівній обробці насіння сільськогосподарських культур електромагнітними випромінюваннями (ЕМВ) різної потужності та інтенсивності можна одержати позитивні результати [2, 4]. Позитивний ефект впливу спостерігається у доволі широкому діапазоні частот електромагнітного поля від статичного (квазістатичного) електричного поля до електромагнітного випромінювання оптичного і більш високочастотного діапазону [1, 2, 5, 6, 8,]. Одним з серед електромагнітних випромінювань позитивний вплив на схожість і ріст рослини має електромагнітне поле в діапазоні високої частоти 3–30 МГц, що дозволяє зменшити час вегетації та збільшити врожайність культур.

Мета досліджень – визначити вплив різних режимів обробки електромагнітним полем високої частоти на енергію проростання та лабораторну схожість насіння кукурудзи.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися на базі генератора ГЗ-41 та спеціально розробленої камери з плоскими конденсаторами із частотою коливань в діапазоні 5-30 МГц.

Як оброблюваний об'єкт було вибрано насіння кукурудзи сорту «ЕМІЛІО», яке обробляли енергією ЕМП ВЧ. Досліджувалося кілька варіантів впливу на енергію проростання та лабораторну схожість насіння, дані яких подано в табл. 1. При цьому контрольна проба не піддавалася впливу ЕМП ВЧ.

1. Режими обробітку насіння кукурудзи ЕМП ВЧ

Експозиція, с	Частота ЕМП ВЧ, МГц					
300						
600	5	10	15	20	25	30
900						

$$q = \frac{E^2}{P}, \quad (1)$$

де q – кількість теплоти, Дж/с·м³;

E – напруженість електричного поля, В/м;

P – питомий опір середовища, Ом·м.

Також ця величина пов'язана з потужністю

$$q = \frac{P}{S \cdot d}, \quad (2)$$

де P – потужність, Вт;

S – площа конденсаторних пластин, м²;

d – відстань між пластинами, м.

Прирівнявши два рівняння (1) та (2), отримуємо співвідношення (3), яке пов'язує напруженість електричного поля з потужністю опромінення

$$E = \sqrt{\frac{P \cdot P}{S \cdot d}} \quad (3)$$

Інтенсивність випромінювання (густина потоку енергії) визначається як енергія, що переносить в одиницю часу через одиницю площі поверхні

$$J = \frac{W}{S \cdot t} \quad (4)$$

де J – інтенсивність випромінювання, Вт/м²;

W – енергія, Дж;

t – час, с.

Густина енергії електромагнітного поля

$$W = \epsilon \epsilon_0 E^2, \quad (5)$$

де W – густина енергії ЕМП, Дж/м²;

ϵ – діелектрична проникність;

ϵ_0 – електрична стала, с;

E – напруженість електричного поля, В

А швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі вираховується за формулою

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}, \quad (6)$$

де V – швидкість хвилі, м/с;

c – швидкість хвилі у вакуумі, м/с;

μ – магнітна проникність середовища.

Отримуємо, що інтенсивність випромінювання

$$J = W \cdot V = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2 \cdot c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (7)$$

Для пара- і діамagnetиків

$$J = \epsilon_0 E^2 \cdot c \cdot \sqrt{\epsilon} \quad (8)$$

Для повітря

$$J = \epsilon_0 E^2 \cdot c \quad (9)$$

За допомогою формул (3) та (9) можна обчислити величини, що характеризують електромагнітне поле, якщо відома хоча б одна з характеристик: інтенсивність, потужність чи напруженість поля.

При цьому треба мати на увазі, що у випадку, коли насіння знаходиться між конденсаторними пластинами, то воно перебуває в індукційній зоні (зона випромінювання), а не у хвильовій зоні. Тому зміст інтенсивності в цьому випадку означає те, що умови опромінення відповідають умовам опромінення з відповідною інтенсивністю у хвильовій зоні.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами дослідів було визначено енергію проростання насіння у відсотках за формулою:

$$E = \frac{50-n}{50} \cdot 100\% \quad (10)$$

де n – кількість насінин, що проросли на 4-ту добу після висівання, шт.;
50 – кількість насінин, що піддавались обробці.

Лабораторну схожість у відсотках розраховували за формулою:

$$L = \frac{50-n_1}{50} \cdot 100\% \quad (11)$$

де n_1 – кількість насінин, що проросли на 4-ту добу після висівання, шт.;
50 – кількість насінин, що піддавались обробці.

Отримані середні значення даних занесено до табл. 2 та побудовано графіки залежності (рис. 1–2) впливу частоти ЕМП ВЧ (МГц) і тривалості обробки (с.) на енергію проростання та схожість насіння кукурудзи.

2. Середні значення проведених експериментів

Частота, МГц	Експозиція, с.	Енергія проростання, %	Схожість, %
5	300	90	88
	600	94	94
	900	96	95
10	300	88	85
	600	93	90
	900	93	91
15	300	94	91
	600	90	90
	900	98	95
20	300	89	84
	600	88	83
	900	85	84
25	300	95	91
	600	82	80
	900	80	76
30	300	82	79
	600	84	83
	900	98	97
Контроль	-	85	84

Як свідчать наведені в таблиці дані, контрольні проби досліджуваного матеріалу показали досить невисокі результати енергії проростання та лабораторної схожості, а саме: лише 85% та 84% відповідно.

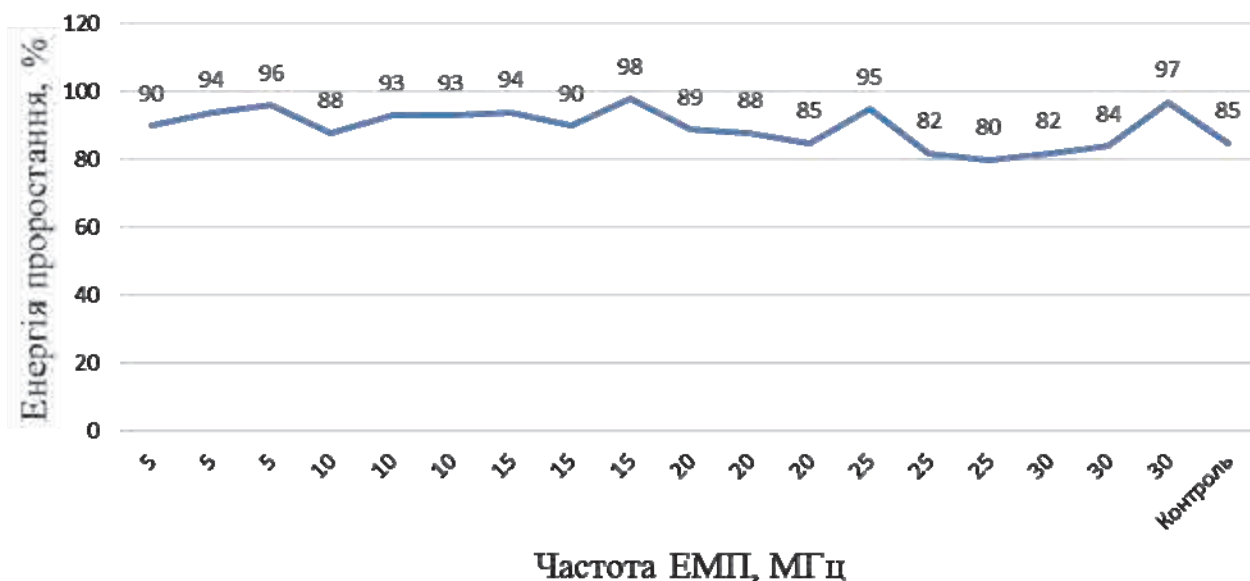


Рис. 1. Енергія проростання оброблюваного насіннєвого матеріалу кукурудзи ЕМП ВЧ

Найбільш сприятливий вплив енергії ЕМП ВЧ на насіння кукурудзи виявився при частоті обробки в 15 МГц та 30 МГц і часі обробки в 900 с в обох випадках. При даних параметрах впливу енергія проростання становила приріст у 13% і 12% відносно контролю, а лабораторна схожість насіння дала приріст у 11% і 13% порівняно з контролем.

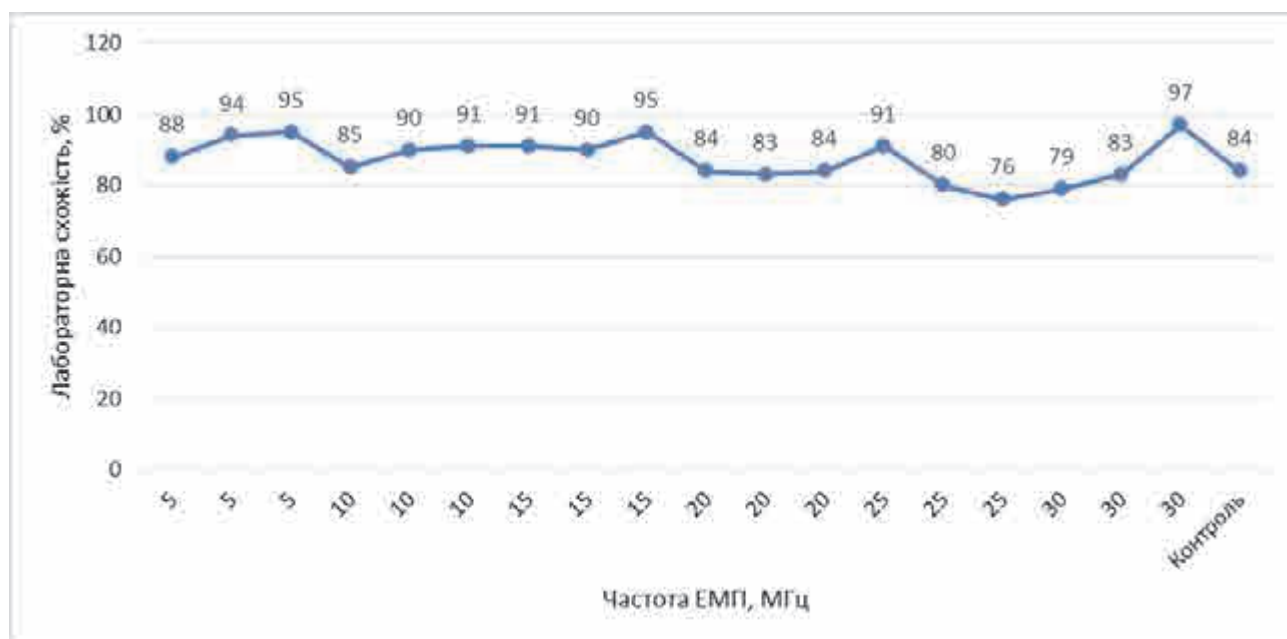


Рис. 2. Лабораторна схожість оброблюваного насіннєвого матеріалу кукурудзи ЕМП ВЧ

Також слід відзначити, що передпосівна обробка насіння електромагнітним полем високої частоти має як позитивний, так і негативний вплив. А саме: при частоті ЕМП в 25 МГц і 30 МГц з експозицією 900 с і 300 с відповідно, спостерігається значне погіршення енергії проростання на 5% і 3% відносно контролю, а лабораторна схожість насіння знизилася на 8% і 5% порівняно з контрольною партією.

Решта режимів обробки не дали значних змін значень енергії проростання та лабораторної схожості посівного матеріалу порівняно з контролем.

Висновки і перспективи. Аналіз проведених досліджень свідчить про те, що для передпосівної обробки насіння кукурудзи електромагнітним полем високої частоти найбільш доцільним є використання частоти 15 МГц і 30 МГц при експозиції в 900 с, що дозволило підвищити енергію проростання та лабораторну схожість оброблюваного матеріалу. Решта режимів або негативно впливали на розвиток насіння, або несуттєво.

Список літератури

1. Илларионов В. Е. Основы лазерной терапии / В. Е. Илларионов. – М. : РЕСПЕКТ, 1992. – 122 с.
2. Интенсификация тепловых процессов подготовки семян к посеву энергией ВЧ и СВЧ (рекомендации). – М. : Агропромиздат, 1989. – 40 с.
3. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб.для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – 5-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2004. – 560 с.
4. Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы // (Сб. науч. ст. (науч. ред. акад. информ. МАИ Каменец Л. Г.) Международная акад. информ. Украинский научно-технологический центр. – К. : ТЕС, 2002. – Вып. 4. – 220 с.
5. Мараквелидзе М. А. Результаты производственных испытаний предпосевной обработки семян в поле коронного разряда / М. А. Мараквелидзе, М. И. Гольдбаум, З. Р. Одикадзе. // Сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск : ЧИМЭСХ, 1977. – №121. – С. 104–106.
6. Никифорова Л. Є. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті / Л. Є. Никифорова // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. «Проблеми енергозбереження в АПК України». – Х. : ХДТУСГ, 2004. – Вип. 27, т. 2. – С. 85–89.
7. Сакало С. М. Надвисокі частоти в медицині (терапія і діагностика) : навч. посіб / С. М. Сакало, В. В. Семенець, О. Ю. Азархов. – Х. : ХНУРЕ; Колегіум, 2005. – 264 с.
8. Черенков А. Д. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. – Х. : ХНАМГ, 2005. – № 5. – С. 77–80.

References

1. Illarionov, V. E. (1992). Basics of laser therapy. RESPEKT, 122.

2. Intensification of thermal processes of seed preparation for sowing with HF and microwave energy (recommendations) (1989). – Moscow: Agropromizdat, 40.
3. Medical and Biological Physics: Textbook for universities (2004) / A. N. Remizov, A. G. Maxina, A.Ya. Potapenko. – 5th ed., The stereotype. – Moscow: Drofa, 560.
4. Microwave technologies in the national economy. Implementation. Problems. Prospects (2002) // (Collection of scientific articles (Academic Editor of the MAI, Kamenets LG) International Academic Information Center of the Ukrainian Scientific and Technological Center. – K.: TES, 4, 220.
5. Marakvelidze, M. A. (1977). Results of production trials of presowing seed treatment in the field of corona discharge / M. A. Marakvelidze, M. I. Goldbaum, Z. R. Odikadze // Sat. sci. tr. CHIMESH. Chelyabinsk: CHIMESH, 121, 104–106.
6. Nikiforova, L. E. (2004). An overview of existing ways to increase the yield of vegetable products in a sheltered soil / L. E. Nikiforova // News of the Kharkov state technical university of the Silesian state. "Problems of energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine". – X.: ХДТУСГ, 27, 2, 85–89.
7. Sakalo, S. M., Semenets, V. V., Azarkhov, O. Y. (2005). High frequencies in medicine (therapy and diagnostics): Teaching. Manual. X.: KNURE; Collegium, 264.
8. Cherenkov, A. D. (2005). Application of information electromagnetic fields in technological processes of agriculture. Cherenkov, N. G. Kosulina // Svitlotekhnika ta elektroenergetika. International scientific and technical journal. – X.: ХНАМГ, 5, 77–80.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**А. И. Чмиль,
К. А. Лазарюк**

Аннотация. Известно, что при предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур электромагнитными излучениями (ЭМИ) различной мощности и интенсивности можно получить положительные результаты. Положительный эффект воздействия наблюдается в достаточно широком диапазоне частот электромагнитного поля от статического (квазистатического) электрического поля к электромагнитному излучению оптического и более высокочастотного диапазона.

Из диапазона электромагнитных излучений положительное влияние на всхожесть и рост растения имеет электромагнитное поле в диапазоне высокой частоты 3–30 МГц, что позволяет уменьшить время вегетации и увеличить урожайность культур. В работе приведены данные теоретических и экспериментальных исследований и показан положительный эффект от предпосевной обработки семян кукурузы электромагнитным полем высокой частоты (ЭМП ВЧ).

Исследования проводились на базе генератора ГЗ-41 и специально разработанной камеры с плоскими конденсаторами с частотой колебаний в диапазоне 5–30 МГц. В качестве

обрабатываемого объекта были выбраны семена кукурузы сорта «Эмилия», которые обрабатывались энергией ЭМП ВЧ. Исследовалось несколько вариантов воздействия на энергию прорастания, и лабораторную всхожесть семян. Анализ результатов исследований показал, что для предпосевной обработки семян кукурузы электромагнитным полем высокой частоты наиболее целесообразным является использование частоты 15 МГц и 30 МГц при экспозиции в 900 с, что позволило повысить энергию прорастания и лабораторную всхожесть обрабатываемого материала.

Ключевые слова: электромагнитное поле высокой частоты, семена кукурузы, ВЧ-установка, предпосевная обработка

APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC TECHNOLOGIES OF BINDING IN THE AGRICULTURE

**A. I. Chmil,
K. O. Lazariuk**

Abstract. It is known that when presowing processing of seeds of agricultural crops with electromagnetic radiation (EMP) of varying power and intensity, one can get positive results. A positive effect of the effect is observed in a fairly wide frequency range of the electromagnetic field from a static (quasistatic) electric field to electromagnetic radiation of the optical and higher frequency range.

One of the range of electromagnetic radiation has a positive influence on germination and plant growth in the electromagnetic field in the high frequency range of 3–30 MHz, which allows to reduce the vegetation period and increase crop yields. The paper presents the data of theoretical and experimental studies and shows the positive effect of presowing treatment of maize seeds with an electromagnetic field of high frequency (EMF HF).

The investigations were carried out on the basis of the G3-41 generator and a specially designed chamber with flat capacitors with a frequency of oscillations in the range of 5–30 MHz. As the processing object, the maize seed of the “Emilia” variety was selected, which was processed by the EMF HF energy. Several variants of the effect on germination energy and laboratory germination were investigated. Analyzing the results of the research it was established that for the presowing treatment of maize seeds by an electromagnetic field of high frequency, the use of frequency 15 MHz and 30 MHz at an exposure of 900 seconds is most appropriate. That allowed to increase the germination energy and laboratory germination of the processing material.

Keywords: high frequency electromagnetic field, corn seeds, HF installation, presowing treatment

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ОПРЫСКИВАТЕЛЬ ДЛЯ ПЛОДОВЫХ ПИТОМНИКОВ

Р. А. ФИЛИПPOB, кандидат сельскохозяйственных наук

Д. О. ХОРТ, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва)

E-mail: vim_sad@mail.ru

Аннотация. На основе результатов исследований в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ создан отечественный многофункциональный опрыскиватель на базе самоходного универсального высокок্লренсного энергетического средства с электронным управлением (СУВЭС), способный осуществлять эффективную защиту плодового питомника от вредителей, болезней и сорной растительности с высокой производительностью и соответствующий действующим требованиям экологической безопасности.

Ключевые слова: *опрыскиватель, распыливатель, система, пестициды, гербициды, растения, машины, экология, питомник*

Актуальность. Механизированные процессы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, являясь неотъемлемой частью технологий возделывания сельскохозяйственных культур и садовых насаждений, требуют одновременно строгого соблюдения регламентов применения пестицидов, в большей степени используемых при опрыскивании растений в питомнике. Усилия научных работников, конструкторов, инженеров, испытателей и рационализаторов направлены на разработку таких опрыскивателей, которые обеспечивали бы максимально возможную эффективность от использования дорогостоящих пестицидов по прямому назначению с учётом сохранения экосистемы.

Анализ последних исследований и публикаций. История защиты урожая культурных растений от вредителей и болезней насчитывает тысячелетия. Однако активное создание технических средств для этой цели практически началось относительно недавно, когда в 1885 г. для защиты виноградников от милдью француз А. Мильярде создал первый фунгицид – бордоскую жидкость, которая успешно используется в садоводстве и в настоящее время.

С 80-х годов прошлого века при создании технических средств для химической защиты растений значимой становится проблема влияния пестицидов на окружающую среду, а в настоящее время она уже является приоритетной. Во всех развитых странах западной Европы действуют строгие принципы применения средств защиты растений, среди которых безопасность окружающей среды, выращиваемой продукции, обслуживающего персонала и существенное уменьшение

количества применяемых пестицидов, гарантирующих устойчивое ведение сельского хозяйства [1, 2, 3].

Цель исследования – обосновать и разработать конструкцию высококлиренсного опрыскивателя для защиты растений от вредителей, болезней и сорной растительности в плодовом питомнике, обеспечивающие, по сравнению с базовыми машинами, рост производительности в 1,5–2 раза, сокращение трудоёмкости использования на 12–18%, повышение надёжности, качества и универсальности.

Материалы и методы исследования. При разработке универсального высококлиренсного опрыскивателя использовались методы теоретической механики, принципы земледельческой механики. Основным методом обоснования конструктивных параметров универсального высококлиренсного опрыскивателя в междурядьях садовых насаждений и питомников является компьютерное проектирование. При обосновании практического применения универсального опрыскивателя в машинных агротехнологиях использованы нормативные требования на процессы химизации в промышленном питомниководстве. Исследования проведены в соответствии со следующими методиками: «Методика оценки новой сельскохозяйственной техники в составе зональных агротехнологий» (ФГНУ «РосНИИТиМ», Новокубанск 2007); «Методика проектирования технологических процессов в растениеводстве» (ФГОУВПО «МГАУ им. В. П. Горячкина», А. Н. Скороходов).

Проведение предварительных испытаний соответствовало требованиям ГОСТ 20915-2011, ГОСТ 53053-2008, ГОСТ Р 54784-2011; ГОСТ 26025-83, ГОСТ 27388-87, ГОСТ 12.2.002-91, ГОСТ Р 53489-2009.

Территориально испытания проводились в п. Михнево, Московской области 09.06.14–31.10.14 г., в саду-питомнике ФГБНУ ВСТИСП, Московская обл., Ленинский р-н и плодовом саду ФГБНУ ВСТИСП, Московская обл., п. Измайлово с 15.07.15 по 20.10.15 г. Почвенно-климатические условия являлись типичными для Московской обл.

Результаты исследования и их обсуждение. Первая модель опрыскивателя, которая проходила хозяйственные испытания в 2014 г., в полной мере соответствовала указанным выше требованиям, а последующее совершенствование конструкции позволило создать универсальную высокопроизводительную машину с расширенными функциональными возможностями. В частности, опрыскиватель может, помимо плодового питомника и высокоинтенсивного плодового сада, защищать растения на плантациях чёрной смородины, крыжовника, жимолости съедобной и других культур, а также осуществлять внекорневые подкормки.

Опрыскиватель-гербицидник агрегируется с высококлиренсным энергетическим средством с электронным управлением СУВЭС и представляет собой смонтированную на платформе конструкцию, которая крепится с помощью быстро соединяющихся устройств (БСУ) на раме энергосредства (рис.1, табл.,). Опрыскиватель конструктивно состоит из

рамы, на которой крепятся все узлы и детали, бака, всасывающего фильтра, насоса, регулятора-распределителя с манометром и трубопроводной системы, штанги на параллелограммной центрально-маятниковой подвеске с автоматизированным дистанционным управлением её высоты и наклона [4, 5].



Рис. 1. Высококлиренсный опрыскиватель в работе

Техническая характеристика дифференцированного опрыскивателя

Показатели	Значение
Тип	Монтируемый
Агрегатирование	СУВЭС
Производительность, га/ч	4,5–7,2
Рабочая скорость, км/ч	5,0–8,0
Рабочая ширина захвата, м	9
Высота установки штанги, м	1,5
Объём ёмкости, л:	
-для пестицидов, удобрений (гербицидов)	2000
-для промывочной воды	240
-для мытья рук	35
Тип насоса	Мембранно-поршневой
Привод насоса	От гидромотора
Число обрабатываемых рядов, шт.	5
Управление рабочим органом (штанга с форсунками)	Гидравлическое

Этим, вместе со сложенными вертикально боковыми арками, обеспечивается рабочее положение для обработки взрослого кустарника ягодных культур и садовых насаждений интенсивного типа. Рабочее положение с опущенными передней и боковыми стойками предназначено для обработки саженцев различного возраста в питомниках. Одновременно опрыскиватель-гербицидник может обрабатывать до 5

междурядий размером 130 см в питомниках. Угол распыла по горизонтали ограничивается резиновыми пластинами и может ими регулироваться от 45 до 70 градусов.



Рис. 2. Бортовой компьютер ARAG BRAVO-400

Модуль опрыскивателя может легко адаптироваться для дифференцированного внесения пестицидов и жидких минеральных удобрений, посредством применения бортового компьютера со встроенной системой GPS, например ARAG BRAVO 400S, (рис. 2) подруливающих устройств Smart Steer и карты заданий для внесения средств защиты растений (СЗР), блока электромагнитных компенсационных клапанов с расходомером, управляемыми от микропроцессора и модульной системой дозирования и распределения рабочих растворов пестицидов и жидких минеральных удобрений [6]. Интегрированный GPS навигатор

обеспечивает движение как по кривым, так и по параллельным трассам, может помочь в создании точных карт обрабатываемых плантаций, что в дальнейшем позволит использовать их для более правильного (точного по количеству и месту) внесения подкормки и т. п.

В дополнение к этому, применение на опрыскивателе компьютера Bravo 400S позволяет:

- автоматически контролировать и регулировать нормы вылива и степень расхода рабочего раствора;
- обеспечить автоматическое закрывание необходимых секций (форсунок) при попадании их на уже обработанные зоны;
- автоматически блокировать форсунки при больших давлениях;
- контролировать степень износа распылителей в форсунках;
- обеспечивать заранее заложенные в программу нормы расхода растворов, как при самых малых, так и при больших скоростях движения агрегата.

Внесение дифференцированных доз растворов минеральных удобрений и пестицидов на каждом участке обрабатываемого плодового питомника или участка доращивания саженцев может осуществляться, как в двухэтапном технологическом режиме offline на основе предварительного картирования и оценки почвенного плодородия и фитосанитарного состояния питомника, так и в режиме on-line, когда посредством специальных датчиков, установленных на машине, производится мониторинг засоренности или питания растений [6, 7].

При рабочей скорости 5–8 км/ч и давлении в гидросистеме 0,45 МПа (максимальное – 1,5 МПа, подача – до 110 л/мин) он обрабатывает в плодовом питомнике за один проход пять рядов растений расходом рабочей жидкости до 1000 л/га (гербицидная система – до 100 л/га) и производительностью до 5,1 га/ч основного времени (сменная и

эксплуатационная производительность – 4,84 га/ч). Машина надёжно выполняет все технологические операции, а за время приёмочных испытаний технических отказов не наблюдалось. Качественные и эксплуатационно-технологические показатели работы опрыскивателя соответствуют требованиям технического задания и даже несколько превышали заявленные в части покрытия листовой поверхности мелкодисперсными фракциями капельного распыла – 47,0 % (по ТЗ – 11,0 %).

Залитых или необработанных карточек в результате лабораторно-полевых испытаний не обнаружено. Распределение капель по густоте покрытия свыше 150 шт/см составляет 87,1 % (по ТЗ – не менее 60 %), со средней густотой покрытия – 14,8 % (по ТЗ – менее 25 %) и малой густотой (менее 24 шт/см²) – отсутствуют (по ТЗ – менее 6,0 %). Медианно-массовый диаметр капель находится в пределах требований ТЗ и составляет по фракциям соответственно: крупной – 738,4; средней – 208,1 и мелкой – 74,3 мкм. Себестоимость механизированных работ при использовании этой модели опрыскивателя составляет 757 руб/га при удельном расходе топлива 5,3–11,4 л/га в зависимости от рабочей скорости. Примерный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 2,8 года. Соотношение распределения карточек по густоте покрытия в сторону увеличения карточек с меньшей густотой. При этом значительно возросло относительное количество объёма листовой поверхности, покрытой мелкими каплями — 72,3 % .

Выводы и перспективы. Применение дифференцированного опрыскивателя обеспечивает высокую точность дифференциации доз рабочих растворов минеральных удобрений и пестицидов, как по ходу движения машины, так и на рабочей ширине захвата, что дает дополнительно при дифференцированном внесении экономию химикатов до 14%, и позволяет значительно увеличивать выход продукции садоводства с единицы площади.

Список литературы

1. Утков Ю. А. Технологическая политика устойчивого применения пестицидов в странах ЕС / Ю. А. Утков, В. В. Бычков, В. М. Дринча // Садоводство и виноградарство. – 2012. – № 5. – С. 43–48.
2. Машины для химической защиты растений в плодовом питомнике / Р. Е. Глушанков, Ю. А. Утков, В. А. Шевкун, Г. И. Кадыкало // Плодоводство и ягодоводство России. – 2011. – Т. 27. – С. 283–292.
3. Филиппов Р. А. Опрыскиватель для дифференцированного внесения средств химической защиты в садоводстве / Р. А. Филиппов, Д. О. Хорт // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 5. – С. 70–72.
4. Смирнов И. Г. Самоходное гидрофицированное высококлиренсное энергосредство нового поколения с интеллектуальной системой управления / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. работ. – Т. XXXVIII. Ч. 2. – М. : ВСТИСП, 2014. – С. 118–124.
5. Патент 147224 РФ. Самоходное высококлиренсное шасси / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Д. О. Хорт, И. Г. Смирнов, Р. А. Филиппов. Бюл. 2014. № 30.

6. Смирнов И. Г. Нормативно-техническая база данных машин для современных технологий промышленного садоводства / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России : сб. докл. Междунар. науч.- техн. конф. Ч.1. – М. : ВИМ. 2013. – С. 202–205.

7. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. – М. : ВИМ, 2016. – 100 с.

References

1. Utkov, U. A., Bychkov, V. V., Drincha, V. M. (2012). Tehnologicheskaja politika ustojchivogo primeneniya pesticidov v stranah ES [Technology policy for sustainable use of pesticides in the EU]. Sadovodstvo i vinogradarstvo, 5, 43–48.

2. Glushankov, R. E., Utkov, U. A., Shevkun, V. A., Kadykalo, G. I. (2011). Mashiny dlja himicheskoi zashhity rastenij v plodovom pitomnike [Machines for chemical protection of plants in the fruit nursery]. Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii, 27, 283–292.

3. Filippov, R. A., Hort, D. O. (2014). Opryskivatel' dlja differencirovannogo vnesenija sredstv himicheskoi zashhity v sadovodstve [Sprayer for targeted application of chemical means of protection in gardening]. Innovacii v sel'skom hozjajstve, 5, 70–72.

4. Smirnov, I. G., Hort, D. O., Filippov, R. A. (2014). Samohodnoe gidroficirovannoe vysokoklirensnoe jenergosredstvo novogo pokolenija s intellektual'noj sistemoj upravlenija [Self-propelled hydraulic a high clearance farming machine is a new generation intelligent control system]. Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii: Sb. nauch. rabot. T. XXXVIII. Ch. 2, 118–124.

5. Patent 147224 RF. Samohodnoe vysokoklirensnoe shassi [A high clearance farming self-propelled chassis] / A. U. Izmajlov, Ya. P. Lobachevskij, D. O. Hort, I. G. Smirnov, R. A. Filippov. Bjul. 2014. № 30.

6. Smirnov, I. G., Hort, D. O., Filippov, R. A. (2013). Normativno-tehnicheskaja baza dannyh mashin dlja sovremennyh tehnologij promyshlennogo sadovodstva [Normative-technical database machines for advanced technologies industrial gardening] // Sistema tehnologij i mashin dlja innovacionnogo razvitija APK Rossii: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.- tehn. konf. Ch.1, 202–205.

7. Metodicheskie rekomendacii po primeneniju sredstv himizacii v v sisteme tochnogo zemledelija (2016). [Guidelines on the application of chemical fertilisers in precision farming system.]. Moscow: VIM, 100.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ОБПРИСКУВАЧ ДЛЯ ПЛОДОВИХ РОЗСАДНИКІВ

**Р. О. Філіппов,
Д. О. Хорт**

Анотація. На основі результатів досліджень в ФДБНУ ФНАЦ ВІМ створено вітчизняний багатофункціональний обприскувач на базі самохідного універсального висококліренсного енергетичного засобу з електронним керуванням (СУБЕС), який здатний здійснювати ефективний захист плодового розсадника від шкідників, хвороб і бур'янів з високою продуктивністю і відповідає чинним вимогам екологічної безпеки.

Ключові слова: обприскувач, розпилювач, система, пестициди, гербіциди, рослини, машини, екологія, розсадник

VERSATILE SPRAYER FOR FRUIT NURSERIES

**R. A. Filippov,
D. O. Khort**

Abstract. Based on the results of research in the center FSAC VIM created by domestic multipurpose self-propelled sprayer on the basis of universal a high clearance farming energy funds electronically controlled (SUVES), capable effective protection of fruit nursery from pests, diseases and weeds with high performance and complies with current environmental safety requirements.

Keywords: sprayer, atomizer, system, pesticides, herbicides, plant, machinery, environment, nursery

УДК 628.3:621.3

КОНЦЕПЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ ДІЇ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ

В. М. ШТЕПА, кандидат технічних наук, доцент
Поліський державний університет, Республіка Білорусь, м. Пінськ

Анотація. Представлено недоліки сучасних методів усунення негативного впливу надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та фінансові затрати України на їх ліквідацію у сегменті водопостачання й водовідведення. Проаналізовано діючу нормативно-правову базу оцінки екологічної безпеки скиду стоків та проектування водоочисних комплексів, виявлено їх концептуальну нездатність протидіяти нештатним ситуаціям (НС); визначено термінологію та критерії НС для систем очистки стічних вод.

Проведено імітаційне моделювання проектування комбінованих електротехнологічних систем водоочистки у випадку наявності багатокomпонентних стоків; використано робочу міру водоочистки та синтезовано на основі математичного апарата генетичного алгоритму програмне забезпечення розширення технологічного потенціалу протидії НС, яке дозволило виявити перспективність концепції перехресного використання (інтеграції) можливостей різних методів видалення забруднювачів. Запропоновано алгоритм

Ключові слова: обприскувач, розпилювач, система, пестициди, гербіциди, рослини, машини, екологія, розсадник

VERSATILE SPRAYER FOR FRUIT NURSERIES

**R. A. Filippov,
D. O. Khort**

Abstract. Based on the results of research in the center FSAC VIM created by domestic multipurpose self-propelled sprayer on the basis of universal a high clearance farming energy funds electronically controlled (SUVES), capable effective protection of fruit nursery from pests, diseases and weeds with high performance and complies with current environmental safety requirements.

Keywords: sprayer, atomizer, system, pesticides, herbicides, plant, machinery, environment, nursery

УДК 628.3:621.3

КОНЦЕПЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ ДІЇ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ

В. М. ШТЕПА, кандидат технічних наук, доцент
Поліський державний університет, Республіка Білорусь, м. Пінськ

Анотація. Представлено недоліки сучасних методів усунення негативного впливу надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та фінансові затрати України на їх ліквідацію у сегменті водопостачання й водовідведення. Проаналізовано діючу нормативно-правову базу оцінки екологічної безпеки скиду стоків та проектування водоочисних комплексів, виявлено їх концептуальну нездатність протидіяти нештатним ситуаціям (НС); визначено термінологію та критерії НС для систем очистки стічних вод.

Проведено імітаційне моделювання проектування комбінованих електротехнологічних систем водоочистки у випадку наявності багатокomпонентних стоків; використано робочу міру водоочистки та синтезовано на основі математичного апарата генетичного алгоритму програмне забезпечення розширення технологічного потенціалу протидії НС, яке дозволило виявити перспективність концепції перехресного використання (інтеграції) можливостей різних методів видалення забруднювачів. Запропоновано алгоритм

удосконалення нормативної бази створення (модернізації) комбінованих електротехнологічних систем водоочистки.

Ключові слова: *концепція, нормативно-правова база, екологічна безпека, комбінована електротехнологічна водоочистка, нештатна ситуація, генетичний алгоритм, проектування*

Актуальність. Світова практика ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій свідчить, що зусилля з оперативного реагування на надзвичайні ситуації стають дедалі більш затратними і малоефективними [1]. При цьому існуючі на промислових підприємствах технології та засоби працюють за принципом: зафіксували негативну дію → встановили обладнання → знешкодили.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Головний недолік такого системного алгоритму в тому, що за час від виявлення до знешкодження шкідливих речовин можуть забруднитися люди, тварини, територія тощо (як приклад – аварія на ЧАЕС) [2]; зупинитися технологічні процеси. Загроза існує і для підприємств, де не було прямого зараження – воно може відбутися через транспорт, сировину тощо.

При цьому, згідно з офіційними статистичними даними [3], в Україні щорічні втрати від дії надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру стосовно різногалузевого водопостачання становлять у грошовому еквіваленті 600–800 млн грн/щорічно. Відповідно, розробка концептуальних основ урахування дії непередбачуваних чинників на процеси очистки промислових стоків з метою превентивної мінімізації їх негативних наслідків є актуальною проблематикою державного масштабу.

Мета дослідження – обґрунтування та розробка концепції вдосконалення нормативної бази проектування систем водоочистки з метою врахування дії нештатних ситуацій на основі використання технологічного потенціалу комбінованих (використання двох і більше базових методів [1]) електротехнологічних систем видалення забруднювачів.

Матеріали і методи дослідження. Правила скидання промислових стічних вод нормуються рядом нормативно-правових документів та здійснюються згідно із (залежно від профілю об'єктів та регіонального розташування) [4]: Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища"; Водного кодексу України; Правил приймання стічних вод підприємств в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України; Правил охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами; Будівельних норм і правил "Каналізація, Зовнішні мережі і споруди"; Правил технічної експлуатації систем водопостачання і каналізування населених пунктів України; регіональних нормативно-правових документів.

Щодо європейського законодавства, то базовою є Директива 2000/60/ЄС Європарламенту та Ради Європи: принципи для дій спільноти в галузі водної політики – Рамкова Директива про воду (Water Frame

Directory, WFD) [4]: методологія оцінки екологічного статусу в межах 5-класової системи, де в документі не представлені фізико-хімічні або екологічні нормативи щодо води.

У таких документах задекларовано необхідність урахування дії непередбачуваних негативних чинників, однак жодних технологічних рекомендацій, у тому числі навіть концептуального характеру, щодо усунення наслідків їх дії не наведено.

На початковому етапі визначимо, що нештатна ситуація (НС) у контексті функціонування промислових комбінованих систем водоочистки – це ситуація, за якої технологічний процес або/і стан обладнання виходять за межі паспортних режимів функціонування, що може призвести до забруднення навколишнього середовища або/і припинення водоочистки або/і недотримання вимог щодо ресурсоефективності процесів. У контексті синтезу концепції вдосконалення нормативно-правової бази під НС для систем водоочистки розуміється: перевищення фактичних значень показників забруднювачів над паспортно визначеними для конкретної номенклатури обладнання; вихід з ладу окремих блоків комплексів водоочистки; перевищення реальних витрат стічних над проектно-розрахованими.

Стічні води промислових об'єктів (дослідження проведемо для промислового сегмента) характеризуються різнокомпонентними забруднювачами, саме тому для моделювання впливу нештатних ситуацій приймемо як забруднювачі: завислі у воді частинки (містяться у більшості стоків); азот амонійний (стоки легкої, переробної, хімічної промисловостей); фосфор (стоки переробної промисловості); шестивалентний хром та цинк (легка промисловість, гальвановиробництво).

При виборі способів і технологічних режимів водоочистки типово використовується «Довідковий посібник для СНіП 2.04.03-85 «Проектування споруд для очистки стічних вод», згідно з яким, послідовно вибираються та розраховуються окремі блоки загальної системи видалення забруднювачів.

Так для видалення завислих у воді частинок виберемо гідроциклони.

Результати дослідження та їх обговорення. Алгоритм розрахунків параметрів такого технологічного обладнання концептуально відповідає підходам щодо встановлення параметрів та інших способів видалення забруднювачів. Базова залежність визначення режимних параметрів (згідно з формулою Стокса розраховується граничний діаметр затриманих при заданому ефекті частинок):

$$\delta_{zp} = \sqrt{\frac{18\mu U_{zp}}{100(\rho_T - \rho_{жс})g}}, \quad (1)$$

де U_{zp} – гранична гідравлічна крупність, мм/с;

μ – гідравлічна крупність забруднювачів, мм/с;

$\rho_T, \rho_{жс}$ – усереднені маси забруднювачів та складових води відповідно, г/см³;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Для корегування концентрації азоту амонійного пропонується аеротенк нітрифікатор. У нього на початковому етапі встановлюється питома швидкість росту тарифікатора, μ_n , доба⁻¹:

$$\mu_n = K_{pH} K_T K_{oc} \mu_{\max} N / (K_{II} + N), \quad (2)$$

де K_{pH} – коефіцієнт, який враховує вплив рН;

K_T – коефіцієнт температури рідини;

K_{oc} – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації розчинного кисню, що визначається за формулою:

$$K_{oc} = C_o / (K_o + C_o), \quad (3)$$

де K_s – коефіцієнт, який оцінює вплив токсичних компонентів;

$\mu_{\max}$ – максимальна швидкість росту нітрофікуючих мікроорганізмів;

K_{II} – константа напівнасичення, мг $N = NH_4$ /л;

N – концентрація амонійного азоту в очищеній рідині;

C_o – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мг/л;

K_o – константа напівнасичення.

Коефіцієнт K_o визначається за формулою

$$K_o = J / (J + C_i), \quad (4)$$

де C_i – концентрація інгібітора, мг/л;

J – константа напівнасичення, мг інгібітора/л.

Мінімальний вік нітрифікуючого мулу Θ встановлюється за формулою

$$\Theta = 1 / \mu. \quad (5)$$

Питома швидкість окислення органічних ρ , мг/(г·ч),

$$\rho = K_E + 0,0417 K_P / \Theta, \quad (6)$$

де K_E – енергетичний фізіологічний коефіцієнт, мгБСК_п/(г·год);

K_P – фізіологічний коефіцієнт росту мікроорганізмів активного мулу, мгБСК_{по}/г;

Θ – вік мулу, доба.

Доза мулу і концентрація розчиненого кисню повинні визначатися за техніко-економічним розрахунком:

$$\rho = \frac{\rho_{\max} L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_i C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}, \quad (7)$$

де $\rho_{\max}$ – максимальна вихідна БСК, мг/л;

L_{ex} – вхідна БСК, мг/л;

K_i – реакційна константа, мг/л;

φ – концентраційна константа, мг/л;

a_i – доза мулу, г/л.

Тоді період аерації:

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) \rho, \quad (8)$$

де s – безрозмірний коефіцієнт параметричності.

Для видалення зі стічних вод сполук фосфору застосовують реагентну обробку, де як реагенти можуть бути використані традиційні мінеральні коагулянти, що застосовуються в практиці водопідготовки: сірчаноокисле залізо Fe^{3+} , сірчаноокислий алюміній, залізний купорос. Доза реагенту при його введенні в стічні води на етапі біологічної очистки визначається за формулою:

$$C_{реар} = K C_{Pзaг}, \quad (9)$$

де K – коефіцієнт збільшення стехіометричного співвідношення, обчислений з урахуванням визначення за стандартними методиками вмісту загального фосфору (за PO) і металів реагенту (по оксиду металу Me_2O_3);

$C_{Pзaг}$ – концентрація загального фосфору у воді, мг/л.

Для видалення ж неорганічних забруднювачів (наприклад, шестивалентного хрому та цинку) застосовується електротехнологічний метод електрокоагуляції. При цьому сила струму в електричному колі (при заданих витратах стоків q_w (м³/доба) та концентрації забруднювачів $C_{вп}$ (мг/л):

$$I_{суг} = 3,1 C_{en} \cdot q_w. \quad (10)$$

Питомі витрати металічного заліза для видалення хрому та цинку:

$$Q_{Fl} = \frac{q_{Fl} C_{en} q_w \cdot 24}{1000 K_{eh}}, \quad (11)$$

де q_{Fl} – миттєві витрати заліза, кг/м³;

K_{eh} – коефіцієнт нерівномірності.

Згідно з класичним підходом, якщо прийняти, що стічні води містять вищенаведений перелік забруднювачів, структурна схема очисних споруд міститиме весь перелік водоочисного обладнання, через який стоки протікатимуть послідовно (рис. 1).

Для видалення кожного із забруднювачів у попередньо відомих межах їх значень (завислі частинки, азот амонійний, фосфор, цинк та хром) розраховуються свої кількісні режимно-параметричні показники роботи обладнання згідно з відповідними формулами (1–11) (рис. 2). Виходячи з таких технологічних режимів, налаштовуються відповідні модулі управління водоочисними системами і закладаються межі їх адаптації, якщо така функція передбачена проектним рішенням.



Рис. 1. Варіант загальної структурної схеми використання комбінованих способів очистки стічних вод промислових об'єктів

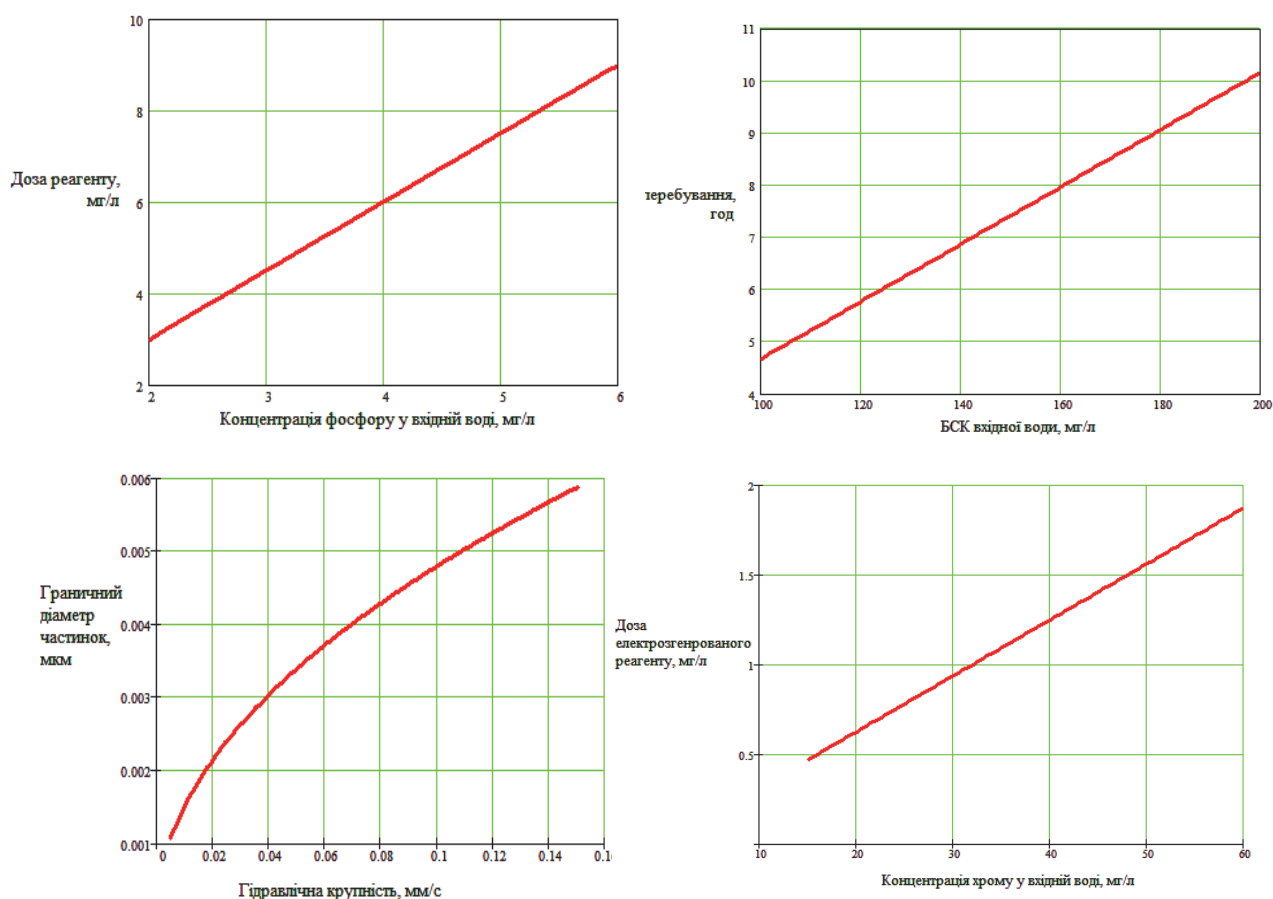


Рис. 2. Залежності робочих режимів водоочисного обладнання від параметрів стічної води (згідно зі СНиП 2.04.03-85 «Проектування споруд для очистки стічних вод»)

Відповідно, при виникненні нештатної ситуації (перевищення концентрацій забруднювачів у стічній воді над тими які приймалися у розрахунках згідно з вимогами нормативних документів), наприклад, по

параметру «концентрація цинку», водоочисне обладнання встановлюватиме максимальне значення сили струму, але при цьому значення гранично допустимої концентрації (ГДК) цинку у стоках із високою ймовірністю досягнуто не буде. Це викликано тим, що проектні межі функціонування обладнання (на основі класичних рішень) за окремими видами забруднювачів обмежуються роботою лише визначеного апарата чи установки.

Разом із тим, експериментальним шляхом із використанням розробленої робочої міри комбінованої електротехнологічної водоочистки (РМКЕВ) (рис. 3) встановлено [5], що при одночасному застосуванні різних способів, що є обов'язковим для якісної очистки стоків промислових об'єктів, відбувається накладання дії різного обладнання на одні й ті самі забруднювачі (рис. 4).

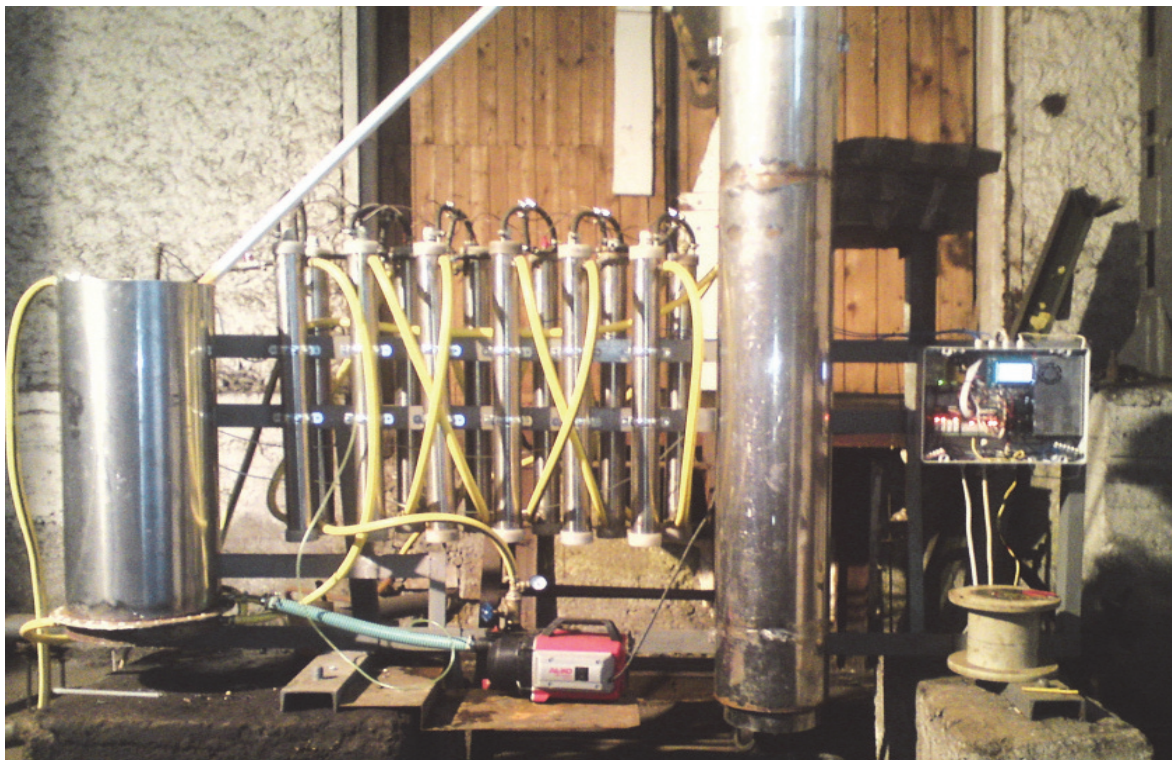


Рис. 3. Зовнішній вигляд робочої міри комбінованої електротехнологічної водоочистки

Тобто у сучасних нормативних документах, згідно з якими проектується водоочисні комплекси, не враховується реальний технологічний запас (потенціал) наявного обладнання, не оцінюється потенційна можливість розширення границь використання системи водоочистки в цілому, в тому числі й для усунення негативної дії нештатних ситуацій.

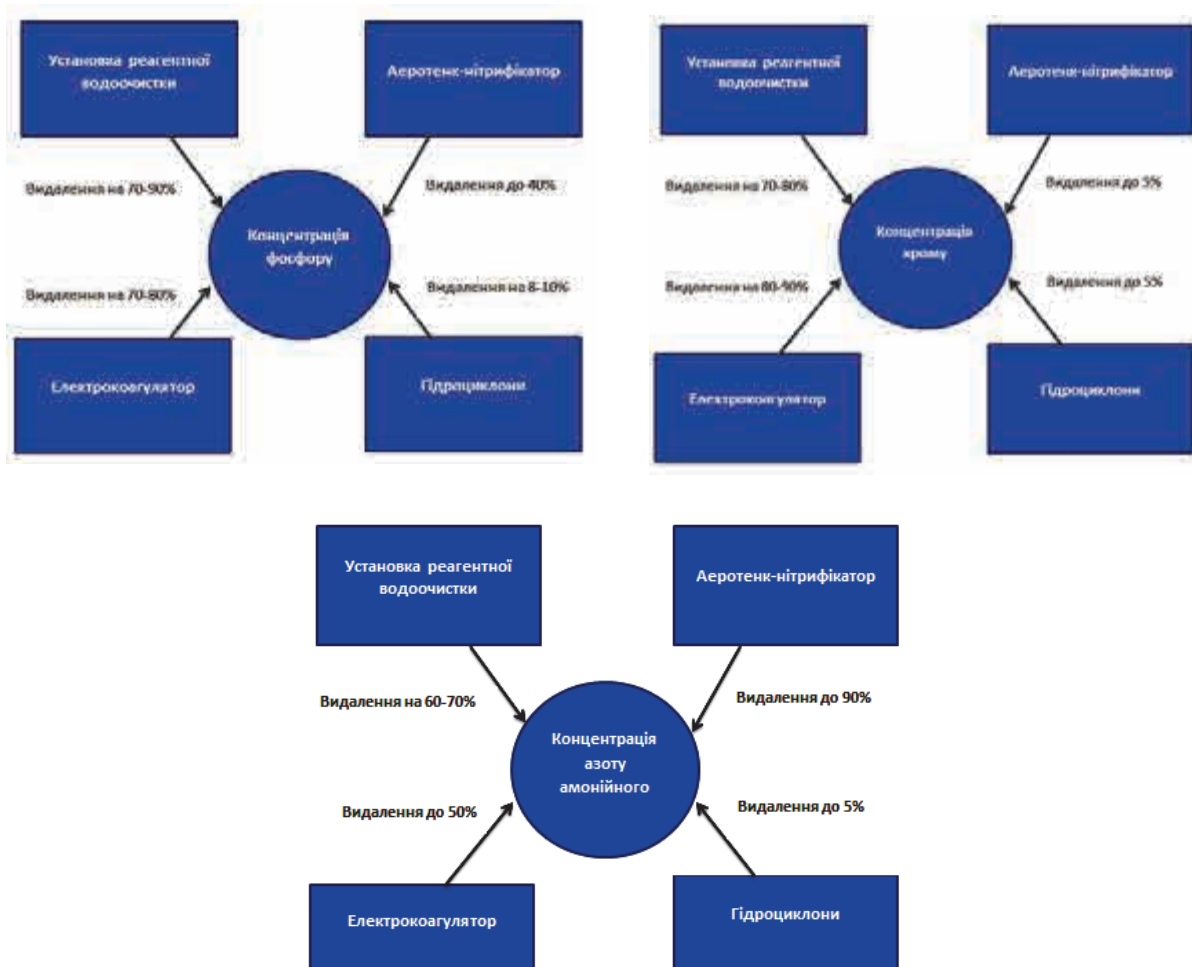


Рис. 4. Ефективність використання технологічного обладнання для видалення різних видів забруднювачів (встановлено на основі використання робочої міри електротехнологічного обладнання водоочистки)

Звідси для встановлення таких граничних можливостей потрібно розглядати рівняння (1–11) не окремо, а об'єднати їх в одну систему, яка комплексно описує ефективність процесів стосовно видалення багатокомпонентних забруднювачів:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{zp} = \sqrt{\frac{18\mu U_{zp}}{100(\rho_T - \rho_{ж})g}} \\ t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i(1-s)\rho \\ C_{pear} = KC_{P_{заг}} \\ Q_{Fl} = \frac{q_{Fl}C_{en}q_w \cdot 24}{1000K_{eh}} \end{array} \right. \quad (12)$$

Використаємо математичний апарат генетичного алгоритму [6] та його програмну реалізацію (рис. 5). Діапазони зміни аргументів (на яких розраховувалися функціональні режими (1–11): гідравлічна крупність частинок для видалення: 0,005–0,15 мм/с; БСК стічної води: 100–200 мг/л; концентрація фосфору: 2–6 мг/л; концентрація шестивалентного хрому: 15–60 мг/л.

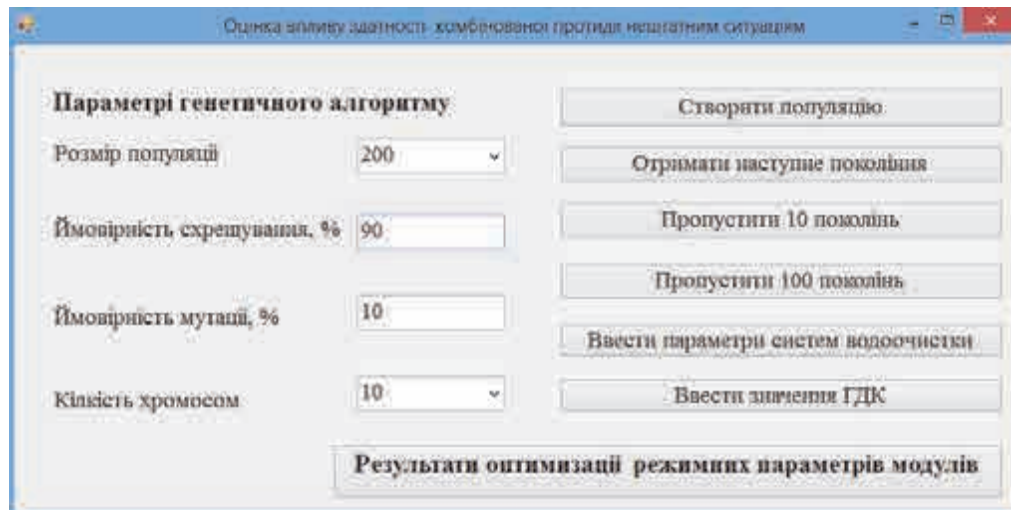


Рис. 5. Інтерфейс програмного забезпечення оптимізації функціонування систем водоочистки (розширення меж їх використання) в умовах дії нештатних ситуацій на основі використання генетичного алгоритму

Шляхом імітаційного моделювання та вирішення оптимізаційної задачі (12) встановлено можливість розширення ефективності використання обладнання в умовах дії нештатних ситуацій (рис. 6) у результаті перехресного впливу різних методів (потенціальний діапазон від 5,7–8,6% за окремими забруднювачами), за умови, що решта показників забруднення стоків мали максимальне значення зі своїх визначених діапазонів.

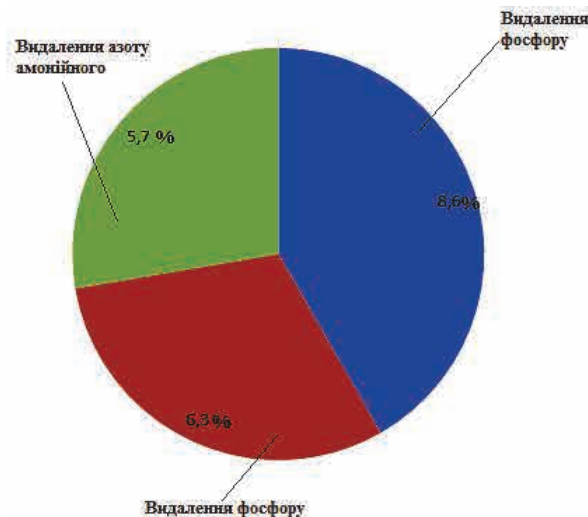


Рис. 6. Потенційне розширення меж використання обладнання комбінованих систем водоочистки в умовах дії нештатних ситуацій (перехресний вплив різних способів на різнотипові забруднювачі)

Такий підхід інтеграції різних методів видалення забруднювачів із водних розчинів дає змогу проектувати системи очистки промислових стічних вод із включенням можливості превентивно протидіяти нештатним ситуаціям (рис. 8). При цьому ключовими завданнями при практичній реалізації концепції вдосконалення нормативної бази систем водоочистки є:

- розроблення засобів, які б забезпечили дослідження режимів функціонування систем водоочистки (використовувалася робоча міра електротехнологічної водоочистки (рис. 7);
- встановлення обмежуючого критерію, який би враховував не лише екологічну безпеку навколишнього середовища, а й затратні механізми процесів водоочистки – критерій ресурсоефективності.

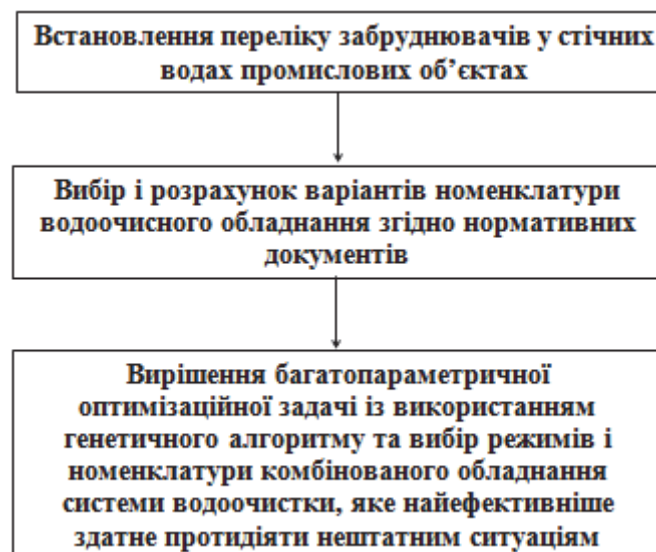


Рис. 7. Алгоритм вибору режимів і номенклатури обладнання системи водоочистки, яке комбіновано здатне ефективно протидіяти нештатним ситуаціям

При цьому запропонована концепція удосконалення нормативної бази проектування систем водоочистки дає змогу не лише створювати нові комплекси, але й модернізувати вже існуючі об'єкти, технологічно базуючись на апробованих підходах розробки відповідного обладнання, наприклад, на СНіП 2.04.03-85 «Проектування споруд для очистки стічних вод».

Висновки і перспективи. Створена концепція та апаратно-програмне забезпечення вдосконалення нормативної бази проектування систем водоочистки розширить межі використання потенційних можливостей типового обладнання за рахунок перехресної дії (інтеграції) різних блоків (методів) впливу на забруднювачі (імітаційним моделюванням встановлено, що потенційний технологічний ресурс становитиме порядку 10% від проектного рішення), що дозволить превентивно усувати негативну дію нештатних ситуацій техногенного та природного походження, комплексно встановлювати вимоги щодо ресурсоефективності виробничої експлуатації водоочисного обладнання.

Список літератури

1. Штепа В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал. – 2016. – № 5. – С. 479–487.
2. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – Вип. 194, ч 3. – С. 259–265.
3. Гончаров Ф. І. Енерго- та ресурсозберігаюча схема системи водопостачання населених пунктів / Ф. І. Гончаров, В. М. Штепа // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету : міжвузівський збірник. – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – № 21. – С. 49–54.
4. Пындак В. И. Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков / В. И. Пындак, А. Е. Новиков, В. Н. Штепа // Проблемы машиностроения и надежности машин : научный журнал. – 2017. – № 5. – С. 103–107.
5. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В. М. Штепа // Энергетика і автоматика. – 2012. – №1 (11). Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf
6. Заєць Н. А. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці / Н. А. Заєць, В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2011. – Вип. 166, ч. 4. – С. 157–164.
7. Штепа В. М. Розробка методики створення технологічних регламентів комбінованих систем очищення стічних вод промислових об'єктів / В. М. Штепа, Р. Є. Кот // Энергетика і автоматика. – 2017. – № 2 (32). – С. 89–99.

References

1. Shtepa, V. N. (2016). Kontseptual'nyye osnovy energoeffektivnoy sistemy upravleniya kombinirovannymi sistemami vodoочистки [Conceptual foundations of an

energy efficient management system for combined water treatment systems]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob"yedineniy SNG. Energetika: nauchno-tehnicheskii zhurnal, 5, 479–487.

2. Shtepa, V. M. (2014). Otsinka enerhetychnykh kharakterystyk protsesiv ochyshchennia stichnykh vod ahropromyslovykh pidpriemstv elektrotekhnichnymy kompleksamy [Estimation of energy characteristics of sewage treatment processes of agroindustrial enterprises by electrotechnical systems]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, 194 (3), 259–265.

3. Honcharov, F. I., Shtepa, V. M. (2009). Enerho- ta resursozberihaiucha skhema systemy vodopostachannia naselenykh punktiv [Energy and resource-saving scheme of the water supply system of settlements]. Naukovi notatky Luts'koho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu: mizhvuzivskyi zbirnyk. Luts'k: LNTU, 21, 49–54.

4. Pyndak, V. I., Novikov, A. E., Shtepa, V. N. (2017). Optimizatsiya sistem ochistki organosoderzhashchikh stochnykh vod i obrabotki ilovykh osadkov [Optimization of wastewater treatment systems and treatment of sludge]. Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin: nauchnyy zhurnal, 5, 103–107.

5. Shtepa, V. M. (2012). Obgruntuvannia alhorytmu eksperymentalno-analitychnykh doslidzhen rezhymiv elektrotekhnichnoi ochystky stichnykh vod ahropromyslovykh ob'ektiv z metoiu pobudovy enerhoefektyvnykh system upravlinnia [Substantiation of algorithm of experimental and analytical researches of modes of electrical treatment of sewage of agro-industrial objects for the purpose of construction of energy-efficient control systems]. Enerhetyka i avtomatyka, 1 (11). Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf.

6. Zaiets, N. A., Shtepa, V. M. (2001). Vykorystannia henetychnoho alhorytmu dlia vyrishennia optymizatsiinykh zadach v elektrotekhnitsi [Use of genetic algorithm for solving optimization problems in electrical engineering]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK, 166 (4), 157–164.

7. Shtepa, V. M., Kot, R. E. (2017). Rozrobka metodyky stvorennia tekhnolohichnykh rehlementiv kombinovanykh system ochyshchennia stichnykh vod promyslovykh ob'ektiv [Development of a methodology for the creation of technological regulations for combined wastewater treatment systems for industrial facilities]. / Enerhetyka i avtomatyka, 2 (32), 89–99.

КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ ПУТЕМ УЧЕТА ДЕЙСТВИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

В. Н. Штепа

Аннотация. *Представлены недостатки современных методов устранения негативного влияния чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера и финансовые затраты Украины на их ликвидацию в сегменте водоснабжения и водоотведения. Проанализирована действующая нормативно-правовая база оценки экологической безопасности сброса стоков и проектирования водоочистных комплексов, выявлена их концептуальная неспособность*

противодействовать нештатным ситуациям (НС); определены терминология и критерии НС для систем очистки сточных вод.

Проведено имитационное моделирование проектирования комбинированных электротехнологических систем водоочистки в случае наличия многокомпонентных стоков; использована рабочая мера водоочистки и синтезировано на основе математического аппарата генетического алгоритма программное обеспечение расширения технологического потенциала противодействия НС, которое позволило выявить перспективность концепции перекрестного использования (интеграции) возможностей различных методов удаления загрязнителей. Предложен алгоритм совершенствования нормативной базы создания (модернизации) комбинированных электротехнологических систем водоочистки.

Ключевые слова: *концепция, нормативно-правовая база, экологическая безопасность, комбинированная электро-технологические водоочистка, нештатная ситуация, генетический алгоритм, проектирование*

CONCEPT OF IMPROVING THE NORMATIVE BASIS OF DESIGNING WATER CLEANING SYSTEMS BY TAKING INTO ACCOUNT THE ACTION OF NEGOTIATED SITUATIONS

V. M. Shtepa

Abstract. *The disadvantages of the modern methods of eliminating the negative impact of man-made and natural emergencies and financial costs of Ukraine on their elimination in the water supply and sewage sector are presented. The current normative and legal basis for assessing the ecological safety of the discharges of waste water and designing of the water treatment complexes has been analyzed, their conceptual inability to deal with non-emergency situations (NES) has been revealed; The terminology and criteria of the NES for sewage treatment systems are defined.*

Simulated modeling of the designing of combined electrotechnological systems of water purification in the case of the multicomponent effluents is carried out; the working method of water purification was used and the software of the expansion of the technological potential of anti-NES resistance was synthesized on the basis of the mathematical apparatus of the genetic algorithm, which allowed us to identify the prospect of the concept of cross-use (integration) of the various methods of removing pollutants. The algorithm of improvement of the normative base for creation (modernization) of combined electrotechnological systems of the water purification is proposed.

Keywords: *concept, regulatory framework, environmental safety, combined electrotechnical water treatment, unusual situation, genetic algorithm, design*

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ
КЕРУВАННЯ. ЧАСТИНА 1. ПРОВЕДЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ
ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАХОДІВ**

Л. О. ВЛАСЕНКО, кандидат технічних наук, доцент
Національний університет харчових технологій
E-mail: vlasenko.lidia1@gmail.com

А. П. ЛАДАНЮК, доктор технічних наук, професор
Національний університет харчових технологій
E-mail: ladanyuk@ukr.net

Анотація. У першій частині статті наведено результати оцінки стану технологічного об'єкта автоматизації на основі статистичних методів та діагностичних заходів. Для прикладу розглядається робота складного багатоемнісного технологічного об'єкта – випарної станції (ВС) цукрового заводу з традиційними системами автоматичного керування. Проаналізовано статистичну керованість технологічного процесу, зокрема проаналізовано наявність викидів за контрольні межі, наведено результати діагностування стану технологічного процесу. Представлено автоматизований аналіз контрольних карт, виконаний в програмі STATISTICA. Розглянуто особливості використання контрольних карт та процедур для різних стадій покращення ефективності функціонування об'єкта.

Проаналізовано результати випереджуваного визначення можливого розлагодження технологічного процесу на основі аналізу одновірних контрольних карт Шухарта. Оцінка ефективності роботи досліджуваного технологічного об'єкта проведена за аналізом характеру поведінки технологічної змінної якісних показників продукту і реалізована за допомогою статистичного інструментарію – діаграми Ісікави. Згодом планується проаналізувати якість роботи ВС за альтернативною ознакою для виявлення реального рівня дефектності в поточний момент часу за допомогою побудови контрольних карт за альтернативною ознакою. Друга частина статті присвячена особливостям проведення прогностичних заходів для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів.

Ключові слова: статистичне керування, контрольні карти, діагностика, якість, корекція, варіація

Актуальність. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності функціонування технологічного об'єкта, що працює в комплексі з традиційною системою автоматичного керування. У сучасних умовах, враховуючи високу конкуренцію між

виробниками харчової продукції та непрості економічні умови, на перший план виходять питання, пов'язані зі зменшенням проміжних втрат при виробництві, собівартості продукції, збільшенням кількості вихідної продукції, підвищенням якості кінцевого продукту, енерго- та ресурсоощадності, що з урахуванням високого рівня розвитку техніки й технологій можливо за рахунок випереджуваного визначення ймовірного розлагодження проходження технологічного процесу і оперативного введення коригувального впливу для підвищення енерго- та ресурсоефективності. Отримані результати можуть становити основу розробки інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Усі процеси, що протікають при функціонуванні технологічних об'єктів харчових виробництв, піддаються варіабельності, причиною якої є як внутрішні, так і особливо зовнішні впливи. Переваги доповнення традиційних систем керування для покращення їх роботи методами опрацювання статистичних даних визначив У. Шухарт. Усі технологічні процеси є варіабельними, на деякі з них впливає керована варіабельність, а на деякі – некерована [1]. Причому керована варіабельність характеризується стабільною структурою і стійкістю в часі, некерована – навпаки. Е. Демінг [2] і Д. Хіммельблау підтримали розвиток методики визначення статистичної керованості технологічного процесу на основі виявлення причин варіабельності: випадкових або спеціальних, за допомогою побудови та аналізу контрольних карт (КК).

На сьогодні існує певна різновидність КК, за допомогою яких можна оцінити й передбачити можливий перебіг технологічного процесу або розвиток технологічної ситуації, виявити причини неполадок, які виникають у процесі функціонування технологічного об'єкта та вчасно ввести відповідні коригувальні впливи [3–5]. Крім того, залежно від розв'язуваних задач, можуть бути використані одновимірні КК для аналізу зміни однієї технологічної змінної [1, 3, 5–7] та багатовимірні – для аналізу декількох взаємокорельованих змінних [6–8]. Останнім часом активно розвиваються обидва напрями використання КК для одно- та багатопараметричних процесів для вчасної оцінки стану об'єкта керування, визначення статистичної керованості досліджуваних процесів, виявлення причин розлагодження технологічних процесів та введення на ранніх стадіях вчасних коригувальних дій з метою запобігання виникнення нештатних ситуацій.

Отже, доповнення традиційних систем автоматичного керування (САК) методами статистичного керування, зокрема на основі КК, підвищить ефективність функціонування ТК, за рахунок виявлення можливості появи дефектів на ранніх стадіях і випереджувального введення відповідних коригувальних дій.

Об'єктом дослідження є система керування технологічним процесом, що працює в умовах варіабельності. Під час попередніх досліджень [6, 8] встановлено, що якість систем регулювання технологічними об'єктами з традиційними системами керування в цілому відповідає вимогам стабілізації технологічного режиму, але не

розглядаються і не враховуються ресурсо- та енергоефективні резерви, тому доповнення САК методами статистичного керування суттєво покращують їх роботу.

Мета дослідження – підвищення якості регулювання технологічним об'єктом, що функціонує в умовах варіабельності, шляхом проведення статистичних діагностичних заходів.

Матеріали і методи дослідження. Процес підвищення ефективності технологічного процесу варто розбити в часі на три стадії [3]:

1. Стабілізація процесу (тобто приведення його до керованого стану) здійснюється на основі оцінки стану та визначення ситуацій.

2. Проведення різноманітних заходів щодо покращення якості перебігу самого процесу, тобто зменшення загальних причин варіацій.

3. Моніторинг процесу для підтримання досягнутих покращень та формування ефективних керувальних дій САК, до моменту виникнення нових впливів, що можуть призвести до погіршення його якості.

Враховуючи універсальний характер КК та їх різноманітність, вони можуть використовуватись на кожній із зазначених стадій з певною метою: на першій стадії – як первинний засіб діагностування стану об'єкта / процесу (через діагностування відповідних технологічних змінних); під час другої стадії – як оцінка якості ефективності роботи обраних статистичних інструментаріїв, за допомогою діаграми Ісікави, та як сигналізатор тих випадків, де потрібно зайнятися усуненням причин особливих впливів; на третій стадії мета КК – діагностування появи особливих впливів, які негативно впливають на стан стабільності, досягнутий в кінці другої стадії. Як правило, використання карт на другій та третій стадії безпосередньо пов'язано в особливостями їх побудови і застосування, зводиться до перерахунку та встановлення нових контрольних меж після проведених змін у процесі, щоб оцінити їх ефект.

Результати дослідження та їх обговорення. Для прикладу розглядається робота випарної станції цукрового заводу, яка є складним багатомісним варіабельним технологічним об'єктом з традиційними системами автоматичного керування. Досліджувалися вибірки, що відповідають процесу випарювання в одному випарному апараті. Досліджувані процеси є стабільними, керованими, не виходять за межі, встановлені технологічним регламентом, об'єкт працює в штатному режимі.

Якісним показником роботи ВС є вміст сухих речовин на виході з останнього корпусу ВС, на який немає прямого керувального впливу. Найбільш опосередкованим технологічним параметром, що характеризує керувальну дію, є температура в I корпусі ВС. Проведено аналіз часового ряду температури в I корпусі ВС на основі побудови контрольних карт Шухарта (ККШ) за допомогою програмного засобу STATISTICA, результати якого подано на рис. 1.

Після аналізу ККШ (рис. 1) виявлено, що незважаючи на те, що технологічний процес є стабільним, тобто якість регулювання є задовільною, традиційна система регулювання забезпечує задані показники, і оператор оцінює ситуацію, як штатну, на X- (рис. 1a) та R-

картах (рис. 1б) є викиди за контрольні межі, що свідчить про появу збурень та перешкод, які згодом можуть стати причиною погіршення якості проходження технологічного процесу. Крім того, видно, що за межами регулювання спостерігаються точки на R-карті, а також відповідні і не відповідні їм точки на X-карті. Це свідчить про наявність як звичайних, так і особливих причин, що погіршують процес.

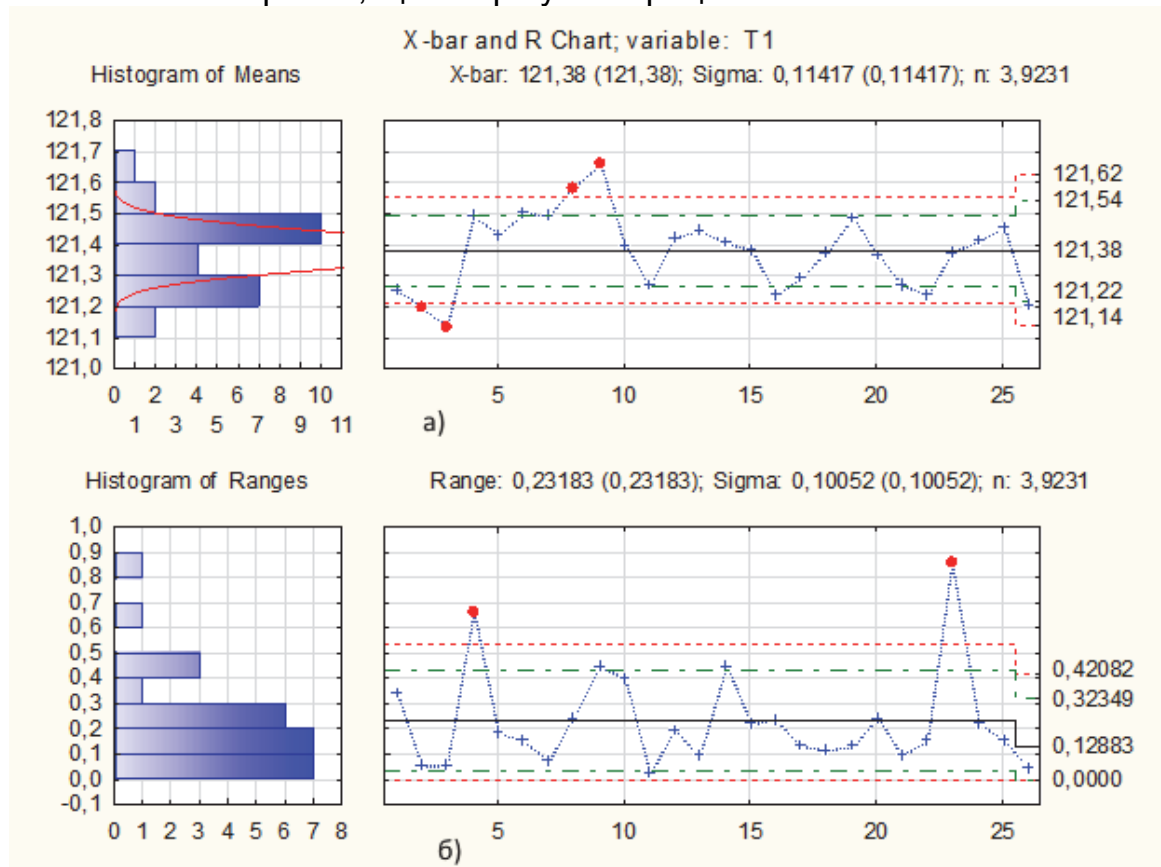


Рис. 1. Контрольні карти Шухарта за температурою в I корпусі ВС:
а) X-карта; б) R-карта

Окрім візуальної ідентифікації появи тривог для оператора про погіршення якості керування, проведено автоматизований аналіз контрольних карт в пакеті STATISTICA. З метою проведення інтерпретації ходу процесу за картами Шухарта, використано стандартний набір з восьми додаткових критеріїв на пошук серій для вчасного виявлення появи трендів, а для виявлення серій область між центральною лінією і контрольними межами діляться на три зони: зона А – область від 2σ до 3σ (σ – середньоквадратичне відхилення) по обидві сторони від центральної лінії, зона В – область від 1σ до 2σ сигма, а зона С – область між центральною лінією, обмежена відстанню 1σ по обидві її сторони.

У результаті тесту (рис. 2) виявлено виконання двох критеріїв розлагодження процесу: 2 з 3-х розташованих підряд точок потрапляють у зону А або виходять за її межі та 4 з 5-ти розташованих підряд точок потрапляють в зону В або за її межі. Обидва ці критерії є «раннім попередженням» про початок розлагодження процесу, при цьому ймовірність

отримання помилкового рішення (критерій виконується, однак процес перебуває в нормальному режимі) для Х-карт становить близько 2 %.

Zones A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma		T1 ; Runs Tests (T1_300)	
Tests for special causes (runs rules)		X-bar Chart	
		Center line: 121,385100 Sigma: 0,058482	
	from sample	to sample	
9 samples on same side of center	OK	OK	
6 samples in row in/decreasing	OK	OK	
14 samples alternating up & down	OK	OK	
2 of 3 samples in Zone A or beyond	1	3	
	6	8	
4 of 5 samples in Zone B or beyond	4	8	
15 samples in Zone C	OK	OK	
8 samples beyond Zone C	OK	OK	

Рис. 2. Результати проведення автоматичного аналізу ККШ за температурою в І корпусі ВС (для Х-карти)

Для полегшення виявлення причин розлагодження процесу можна переглянути дані індивідуальних статистик, що вийшли за контрольні межі (рис. 3).

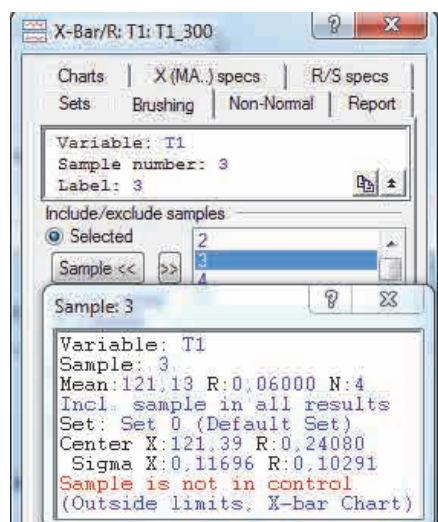


Рис. 3. Дані індивідуальної статистики № 3 на Х-карті

Відповідно до часових характеристик проходження процесу випарювання, досліджено відповідну вибірку вмісту сухих речовин (СР) на виході з останнього корпусу ВС. Досліджуваний технологічний процес не виходить за межі, встановлені технологічним регламентом, що свідчить про відповідність у цілому роботи традиційної системи керування вимогам стабілізації технологічного режиму. Досліджуваний часовий ряд перевірено на статистичну керованість за допомогою побудови одномірних ККШ, результати подано на рис. 4.

Викиди на Х-карті (рис. 4а) свідчать про появу негативних впливів на технологічний процес, але при цьому відповідні їм точки на R-карті лежать у межах регулювання (рис. 4б, точки 2, 6). Оскільки на R-карті викиди за межі регулювання відсутні, то повне технологічне розсіяння залишається незмінним, тобто налагодження процесу не змінюється. Отже, є всі підстави

припускати, що викиди на Х-карті сталися тому, що розподіл ймовірностей по досліджуваній змінній змістився в бік відносно поточного значення контрольованої ознаки. Це свідчить про вплив на процес певної особливої зовнішньої причини, що змінює його налаштування. Подальші дії повинні бути пов'язані з пошуком і усуненням цієї причини.

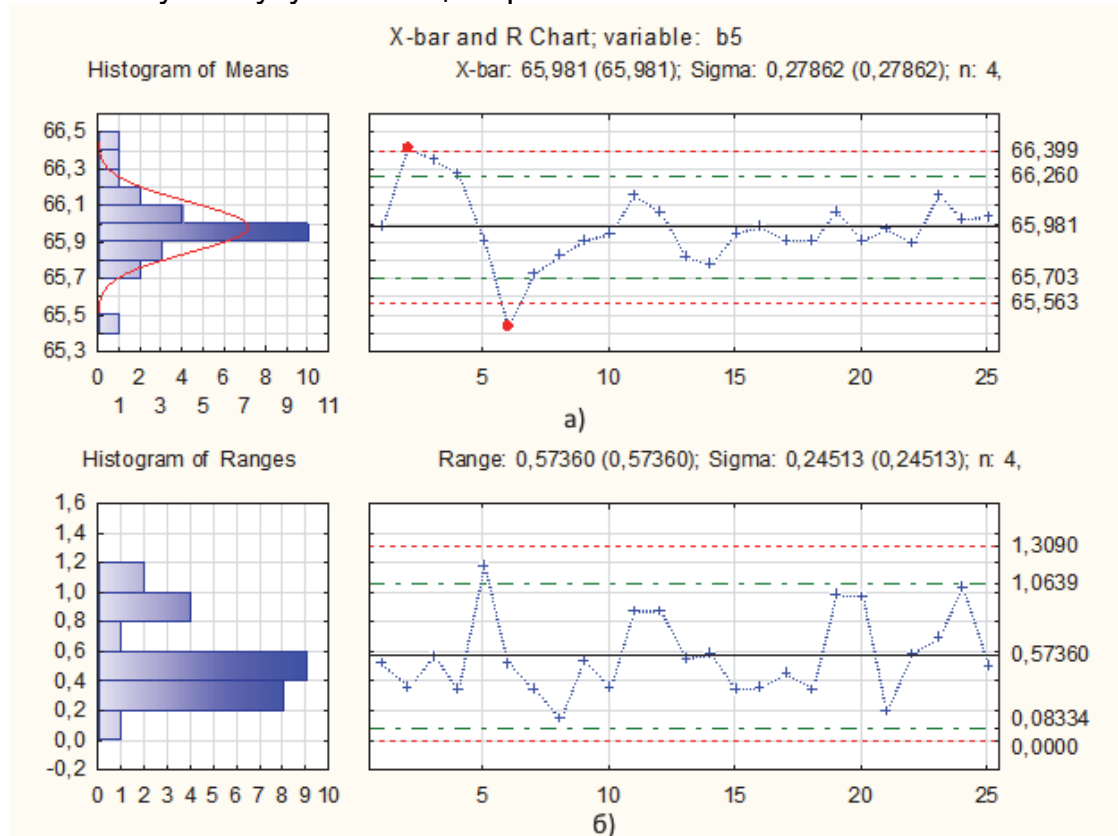


Рис. 4. Контрольні карти Шухарта за вмістом СР в сиропі після ВС:
а) Х-карта; б) R-карта

У результаті тесту (рис. 5) виявлено виконання критерію розлагодження процесу: 2 з 3-х розташованих підряд точок потрапляють в зону А або виходять за її межі, що свідчить про високу ймовірність появи спеціального впливу.

b5 ; Runs Tests (b5_40m_300)	
X-bar Chart	
Center line: 65,981400 Sigma: 0,139308	
Zones A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma	
Tests for special causes (runs rules)	
9 samples on same side of center	OK
6 samples in row in/decreasing	OK
14 samples alternating up & down	OK
2 of 3 samples in Zone A or beyond	1 3
4 of 5 samples in Zone B or beyond	OK
15 samples in Zone C	OK
8 samples beyond Zone C	OK

Рис. 5. Результати проведення автоматичного аналізу ККШ по вмісту СР у сиропі після ВС

Аналіз можливих причин, що викликають ролагодження процесу та призводять до втрати статистичної керованості, доцільно проводити упорядкуванням цих причини певним чином, проведенням їх класифікації, виявленням максимально можливої їх кількості без ризику упустити жодну з них. При цьому важливим є забезпечення наочності між ситуацією, що склалася і причинами, які до неї призвели. Для забезпечення такої наочності доцільно використовувати причинно-наслідкові діаграми або діаграми Ісікави, які показують відношення між показниками якості й факторами, що на них впливають та призначені для дослідження: появ дефектності виробів, збільшення витрат на усунення браку тощо.

За допомогою програмного продукту STATISTICA розроблено діаграми Ісікави для різних ситуацій, що виникають при роботі ВС. Як приклад, наведено «риб'ячий скелет» для ситуації зниження вмісту сухих речовин після ВС.

На рис. 6. подано таблицю зв'язку між вмістом СР та факторами, що на нього впливають, що була основою для побудови діаграми Ісікави (рис. 7).

Перевагою використання даної методики є можливість і необхідність постійного вдосконалення побудованої діаграми Ісікави в реальному часі. Це дає змогу отримати дійсно цінний документ, що є основою для вирішення проблем, які можуть виникнути надалі не тільки у зв'язку з розглянутою ситуацією досліджуваного показника якості, але й при виникненні інших дефектів або невідповідностей під дією спеціальних впливів.



	1 Тиск грійної пари	2 Температурний режим	3 Рівні	4 Вміст сухих речовин (СР)	5 Вторинна пара	6 Стан обладнання
1	Недостатній тиск в 1 корпусі	Не відповідає регламенту в 1 корпусі	Порушений в 1 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 1 корпусі	Споживач використовують пару вищого потенціалу	Графік роботи вакуум-апаратів поруше
2		Не відповідає регламенту в 2 корпусі	Порушений в 2 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 2 корпусі	Споживач використовують ретурну пару	Проблеми із відведенням конденсату
3		Не відповідає регламенту в 3 корпусі	Порушений в 3 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 3 корпусі		Накип суттєвий на нагрівних трубах вип
4		Не відповідає регламенту в 4 корпусі	Порушений в 4 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 4 корпусі		
5		Не відповідає регламенту в 5 корпусі	Порушений в 5 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 5 корпусі		

Рис. 6. Таблиця зв'язку між вмістом СР та факторами, що на нього впливають

Подальша робота з причинно-наслідковою діаграмою буде полягати в тому, щоб на основі спостережень за реальним процесом, у разі втрати якості, встановити дійсний зв'язок між досліджуваним показником якості (вмістом СР) та вибраними факторами (причинами), які чинять на нього найбільший негативний вплив з обов'язковим введенням упереджувальних коригуючих впливів.



Рис. 7. Діаграма Ісікави за вмістом CP

Висновки і перспективи. У дослідженні наведено результати діагностування стану та процесу функціонування технологічного об'єкта (на прикладі ВС цукрового заводу), що працює в умовах варіабельності на основі аналізу якості за кількісною ознакою. Зокрема, на прикладі ККШ проілюстровано випереджувальну появу для оператора негативних впливів, що можуть призвести до розлагодження технологічного процесу в майбутньому та погіршення якості готового продукту. Для ефективного виявлення причин появи особливих впливів запропоновано як варіант побудову діаграм Ісікави. Використання запропонованих методів статистичної діагностики дає змогу покращити фінансові показники виробництва, підвищити енерго- та ресурсоефективність, зменшити втрати.

Надалі планується проаналізувати якість за альтернативною ознакою для виявлення реального рівня дефектності в поточний момент часу за допомогою побудови контрольних карт за альтернативною ознакою.

Список літератури

1. Уилер Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта / Д. Уилер, Д. Чамберс. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409 с.

2. Деминг Э. Выход из кризиса: новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг ; пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2007. – 370 с.
3. Адлер Ю. П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом: краткий обзор современного состояния (статистические аспекты) / Ю. П. Адлер, О. В. Максимова, В. Л. Шпер. // Стандарты и качество, [июль – август, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf>
4. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – М. : Европейский центр по качеству, 2002. – 470 с.
5. Montgomery, Douglas C. Introduction to statistical quality control. 6-th Edition. – 2009 by John Wiley & Sons, Inc. 754 p.
6. Власенко Л. О. Статистична діагностика процесу функціонування випарної станції цукрового заводу / Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк, М. А. Сич // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса : ОНАХТ, 2014. – № 2 (18). – С. 50– 60.
7. Borror, C. M. (2001). Phase I Control Charts for Independent Bernoulli Data / C. M. Borror, C. M. Champ // Quality and Reliability Engineering International, 17 (5), 5, 391–396. doi : 10.1002/qre.425.
8. Ладанюк А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А. П. Ладанюк, Н. А. Засць, Л. О. Власенко. – К. : Ліра-К, 2016. – 312 с.

References

1. Uyler, D. (2009). Statystycheskoye upravleniye protsesami. Optimizatsiya biznesa s ispolzovaniyem kontrolnykh kart Shukharta [Statistical management of processes. Optimization of business using Shewhart's control charts]. Moscow, Russia: Alpyna Byznes Buks, 409.
2. Demynh, E. (2007). Vykход iz krizysa: Novaia paradyhma upravleniia liudmi, systemami i protsessami [A new paradigm for managing people, systems and processes]. Moscow, Russia: Alpyna Byznes Buks, 370.
3. Adler, Iu. P., Maksymova, O. V., Shper, V. L. Kontrolnyye karty Shukharta v Rossiye i za rubezhom: kratkii obzor sovremennogo sostoyaniya (statisticheskiye aspekty) [Shewhart's control charts in Russia and abroad: a brief overview of the current state (statistical aspects)]. Available at: <http://www.ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf>
4. Kashtanov, V. A. (2002). Teoriya nadozhnosti slozhnykh sistem [The theory of reliability of complex systems]. Moscow, Russia: Yevropeiskii tsentr po kachestvu, 470.
5. Montgomery, Douglas C. (2009). Introduction to statistical quality control. 6-th Edition. John Wiley & Sons, Inc, 754.
6. Vlasenko, L. O., Ladanyuk, A. P., Sych, M. A. Statystychna diahnostyka protsesu funktsionuvannya vyparnoi stantsiyi tsukrovoho zavodu [Statistical diagnostics of operating process of sugar factory evaporator plant] // Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv. Odesa: ONAKhT, 2 (18), 50–60.
7. Borror, C. M., Champ, C. M. (2001). Phase I Control Charts for Independent Bernoulli Data, 17(5), 391–396. doi: 10.1002/qre.425.
8. Ladaniuk, A. P. Zaiets, N. A., Vlasenko, L. O. (2016). Suchasni tekhnolohiyi konstruyuvannya system avtomatyzatsiyi skladnykh ob'ektiv

(merezhevi struktury, adaptatsiya, diahnostyka ta prohnozuвання): monohrafiya [Modern technologies for the design of complex automation systems (network structures, adaptation, diagnostics and forecasting)]. Lira-K, 312.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ. ЧАСТЬ 1. ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

**Л. А. Власенко,
А. П. Ладанюк**

Аннотация. В первой части статьи приведены результаты оценки состояния технологического объекта автоматизации на основе статистических методов и диагностических мероприятий. Проанализирована статистическая управляемость технологического процесса, в частности, проанализировано наличие выбросов за контрольные пределы, приведены результаты диагностики состояния технологического процесса. Представлен автоматизированный анализ контрольных карт, проведенный в программе STATISTICA. Рассмотрены особенности использования контрольных карт на разных стадиях улучшения эффективности.

Проанализированы результаты упреждающего определения возможной разладки технологического процесса на основании анализа построенных одномерных контрольных карт Шухарта. Оценка эффективности работы исследуемого технологического объекта проведена по анализу изменения характера поведения технологической переменной качества и реализована с помощью статистического инструментария – диаграммы Исикавы. Во второй части статьи рассмотрены особенности использования и проведения прогнозных мероприятий при управлении технологическим комплексом.

Ключевые слова: статистическое управление, контрольные карты, диагностика, качество, коррекция, вариация

STUDY OF STATE AND PROPERTIES OF TECHNOLOGICAL OBJECTS USING METHODS OF THE CONTEMPORARY THEORY OF MANAGEMENT. PART 1. CONDUCT OF STATISTICAL DIAGNOSTIC MEASURES

**L. O. Vlasenko,
A. P. Ladanyuk**

Abstract. This article presents the results of an assessment of the state of technological object based on statistical methods and diagnostic procedures. Analysis of statistical control of the technological process was carried out, in particular, analyzed the presence of emissions control limits, given the diagnosis of the state of the process. Presented the automated analysis of the control charts,

carried out in the STATISTICA program. Considered the features of the use of control charts at different stages of improving efficiency.

The results of pre-emptive determination of possible deranging of the technological process, built on the basis of the analysis of one-dimensional Shewhart control charts. The assessment of overall performance [efficiency] of the studied technology object is carried out according to the analysis of change of nature of behavior of a technology variable of quality and implemented by means of statistical tools – Isikava's diagram. In the second part of the article will be considered the peculiarities of using and conducting predictive measures in the management of a technological complex.

Keywords: *statistics control, control charts, diagnostics, quality, correction, variatio*

УДК 621.3.067

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ

І. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Сучасний асинхронний регульований електропривод базується на використанні напівпровідникових перетворювачів напруги різних типів, дослідженню різних робочих характеристик яких, через складність чи високу вартість, приділено мало уваги. З розвитком комп'ютерного моделювання з'явилася можливість поглибити дослідження даних процесів.

Метою дослідження є зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання та підтвердження адекватності отриманих результатів на моделі та фізичній установці.

Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода при вибраному способі керування проводили з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів опрацювання результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab.

Для проведення аналізу характеристик трифазного регульованого асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги з

carried out in the STATISTICA program. Considered the features of the use of control charts at different stages of improving efficiency.

The results of pre-emptive determination of possible deranging of the technological process, built on the basis of the analysis of one-dimensional Shewhart control charts. The assessment of overall performance [efficiency] of the studied technology object is carried out according to the analysis of change of nature of behavior of a technology variable of quality and implemented by means of statistical tools – Isikava's diagram. In the second part of the article will be considered the peculiarities of using and conducting predictive measures in the management of a technological complex.

Keywords: *statistics control, control charts, diagnostics, quality, correction, variatio*

УДК 621.3.067

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ

І. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Сучасний асинхронний регульований електропривод базується на використанні напівпровідникових перетворювачів напруги різних типів, дослідженню різних робочих характеристик яких, через складність чи високу вартість, приділено мало уваги. З розвитком комп'ютерного моделювання з'явилася можливість поглибити дослідження даних процесів.

Метою дослідження є зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання та підтвердження адекватності отриманих результатів на моделі та фізичній установці.

Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода при вибраному способі керування проводили з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів опрацювання результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab.

Для проведення аналізу характеристик трифазного регульованого асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги з

фазово-імпульсним керуванням розроблена в MatLab комп'ютерна модель, силовий блок якої складається з джерела змінної напруги, двох тиристорів у кожній фазі, з'єднаних зустрічно-паралельно та електродвигуна АИРП80А6У2. Результати досліджень візуалізувалися за допомогою віртуальних вимірювальних приладів.

На створеній комп'ютерній моделі та лабораторній установці регульованого електропривода вентиляційної установки з тиристорним регулюванням напруги станцією керування „Кліматика-1” отримані форми кривої напруги і струму та їх спектральний склад.

Аналіз результатів досліджень підтвердив адекватність комп'ютерної моделі реальним електромагнітним процесам.

Результати досліджень на комп'ютерній моделі придатні для використання при розробці трифазного регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вищі гармоніки, форма кривої напруги та струму, комп'ютерна модель, регульований електропривод

Актуальність. Для регульованого асинхронного електропривода часто використовують напівпровідникові перетворювачі напруги, зокрема тиристорні регулятори [1], дослідженню робочих характеристик яких в технічній літературі приділяється мало уваги. Це пов'язано зі складністю чи високою вартістю проведення таких досліджень. З розвитком комп'ютерного моделювання з'явилася можливість поглибити дослідження різних характеристик електропривода та порівняти отримані результати з фактичними даними реального електропривода вентиляційної установки зі станцією керування "Кліматика-1".

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для малопотужних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором порівняно нескладно регулювати швидкість зміною напруги на статорі, оскільки вони мають м'яку механічну характеристику на робочій частині. Найбільш простими і дешевими для зазначеного регулювання є регулятори амплітуди напруги живлення [1, 2] електроприводів з вентиляторним навантаженням.

Мета дослідження – зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання та підтвердження адекватності отриманих результатів на комп'ютерній моделі з результатами реального регульованого електропривода вентиляційної установки.

Матеріали і методи дослідження. Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги проводився з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів опрацювання результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab [3].

Результати дослідження та їх обговорення. Для проведення досліджень електромагнітних процесів регульованого трифазного асинхронного електропривода розроблена його модель (рис. 1), яка

Трифазний тиристорний регулятор напруги складається з трьох однофазних регуляторів, кожен з яких має свою систему керування. Синхронізуючі сигнали пілкоподібної напруги з кожної фази через блоки Voltage Measurement 1, Voltage Measurement 2, та Voltage Measurement 3 надходять до відповідних систем керування тиристорами. Для полегшення користування моделлю силові тиристорні блоки фаз A і B та їх відповідні системи керування згруповані в підсистеми Subsystem, Subsystem1, Subsystem2, Subsystem 3.

Модель має набір віртуальних вимірювальних приладів, які дозволяють проводити дослідження енергетичних, регулювальних, електромеханічних, електромагнітних характеристик. Зокрема для дослідження електромагнітних характеристик використані блоки: вимірювання миттєвих значень струму та напруги на виході тиристорного регулятора – віртуальний осцилограф Scope 1, аналіз спектрального складу струму і напруг проводився за допомогою блоку Scope 1 з використанням блоку Powerqui.

Для порівняння отриманих результатів на комп'ютерній моделі за допомогою цифрового осцилографа Vellman та цифрового мультиметра DMK-32 були проведені дослідження на лабораторному стенді регульованого електропривода осьового вентилятора ВО-7,1М з двигуном АИРП80А6У2. Лінійну напругу на електродвигуні змінювали за допомогою тиристорного перетворювача напруги станції "Кліматика-1" з фазово-імпульсним керуванням.

Дослідження електромагнітних процесів як на моделі, так і на лабораторному стенді, проводили при усталеному режимі роботи електропривода.

На рис. 2 наведені форми кривих струму та напруги на навантаженні трифазного тиристорного регулятора.

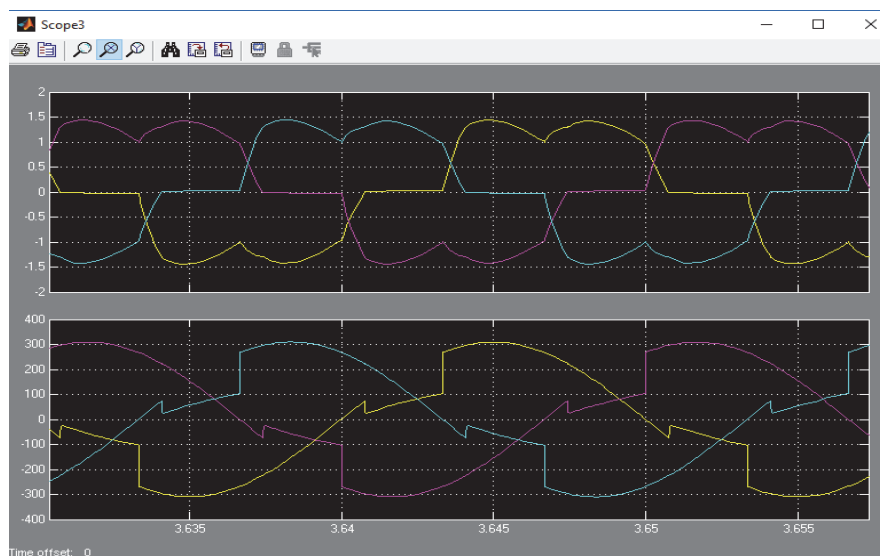


Рис. 2. Миттєві значення струму (верхня крива) і напруги (нижня крива) на навантаженні при $U_{\phi m(1)}$ 275 В

Як видно з рисунка, робочий тиристор, через наявність індуктивності в навантаженні, закривається з деяким запізненням, коли струм через нього досягає нульового значення. Форма кривої струму має провал у верхній частині синусоїди. Це зумовлено тим, що на даній ділянці вимкнена одна фаза. Якщо розглянути форму кривої напруги, то з рисунка видно, що на вимкненій фазі напруга не дорівнює нульовому значенню. Потенціал напруги формується двома іншими ввімкненими фазами. Тобто, створюється перекіс фазних напруг на обмотках двигуна.

Для порівняння на рис. 3, а наведено форму кривої струму, отриману на лабораторному стенді при амплітудному значенні вихідної напруги тиристорного регулятора за першою гармонікою $U_{\phi m(1)} = 130$ В. Як видно з рисунка, крива, аналогічно рис. 2 та 4, б (верхнє вікно), має провали струму у верхній частині синусоїди. Крива струму лабораторного стенду більш спотворена, порівняно зі змодельованою. Це пояснюється тим, що модель не враховує спотворення, зумовлені зовнішніми збудниками.

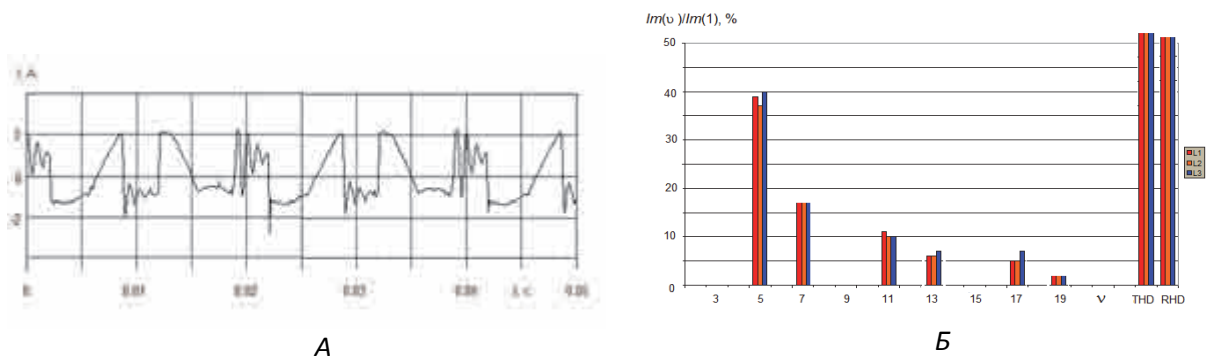


Рис. 3. Форма кривої струму (а) та спектр струму (б), отримані на лабораторному стенді при $U_{\phi m(1)} = 130$ В

Спектр вихідної напруги та струму, отриманий у комп'ютерній моделі, наведено на рис. 4. Спектр вихідної напруги вміщує всі непарні гармоніки. Спектр струму має також непарні гармоніки крім третьої і кратних їй. Для порівняння, аналогічний вигляд має спектр струму, отриманий на лабораторному стенді (рис. 3, б).

На рис. 5 наведені залежності відносних амплітуд гармонік напруги та струму від величини вихідної напруги. З рис. 5, а видно, що вища 3 гармоніка напруги домінує, і в процесі зниження вихідної напруги вона наближується до основної і, при $U_{m(1)} < 150$ В, навіть перевищує основну.

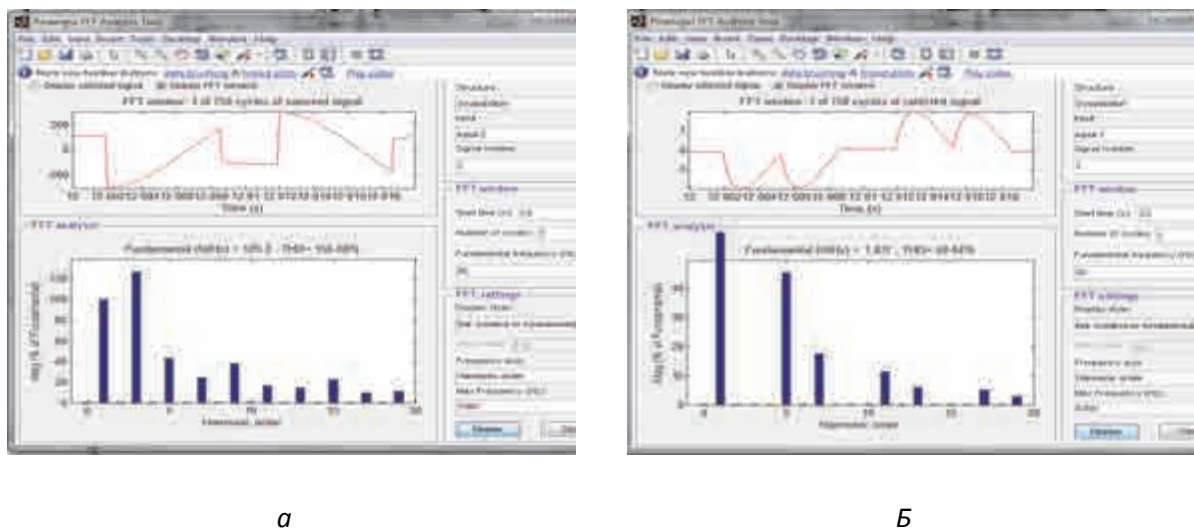


Рис. 4. Спектр вихідної напруги (а) та струму (б) отриманих при $U_{\phi m(1)} = 130$ В

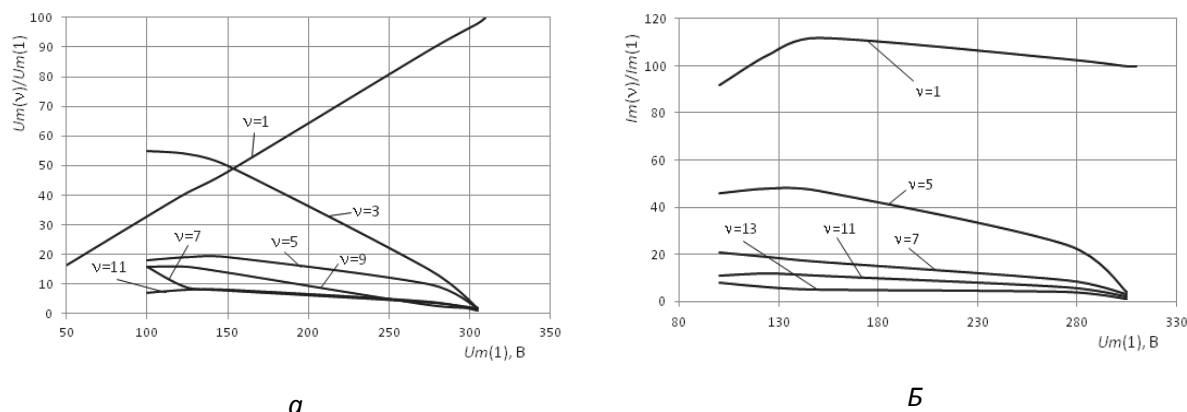


Рис. 5. Гармонічний склад вихідної напруги (а) та струму (б) трифазного тиристорного регулятора асинхронного електропривода

Аналізуючи спектральний склад струму (рис. 5, б) можна зазначити, що перша вища гармоніка 5, вона домінує і найбільше спотворює форму струму. Максимальне значення 5 гармоніка набуває при значенні вихідної напруги на рівні 130 В.

Висновки і перспективи. Результати досліджень на комп'ютерній моделі форми кривої вихідної напруги і струму трифазного тиристорного регулятора напруги асинхронного електропривода та їх гармонічний склад підтвердили адекватність результатам досліджень на лабораторному стенді регульованого електропривода зі станцією керування "Кліматика-1".

Дослідженнями встановлено, що робочий тиристор, через наявність індуктивності в навантаженні, закривається з деяким запізненням, коли струм через нього досягає нульового значення. На вимкненій фазі напруга не дорівнює нульовому значенню. Потенціал напруги формується двома іншими ввімкненими фазами. Тобто, створюється перекіс фазних напруг на обмотках двигуна.

Спектр вихідної напруги вміщує всі непарні гармоніки. Вища 3 гармоніка напруги домінує і в процесі зниження вихідної напруги вона наближується до основної і, при $U_m(1) < 150$ В, навіть перевищує основну.

Форма кривої струму має провал у верхній частині синусоїди. Це зумовлено тим, що на даній ділянці вимкнена одна фаза.

Спектр струму має непарні гармоніки крім третьої і кратних їй. Перша вища гармоніка 5, вона домінує і найбільше спотворює форму струму. Максимального значення 5 гармоніка набуває при значенні вихідної напруги на рівні 130 В.

За результатами моделювання, можна стверджувати, що комп'ютерна модель придатна для проведення електромагнітних досліджень трифазного регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням.

Список літератури

1. Регульований електропривод : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / за ред. І. М. Голодного. – К. : Компрінт, 2015. – 509 с.

2. Глазенко Т. А. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности / Т. А. Глазенко, В. И. Хрисанов. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 170 с.

3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК : учеб. пособие для студ. вузов / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

References

1. Golodnyi, I. M. ed. (2015). Adjustable Electric [Rehulovanyi elektropryvod] – K.: Ltd. "ZP "Kompynt ". – 509.

2. Glazenko, T. A., Khrisanov, V. I. (1983). The semiconductor system of low power asynchronous electric pulse [Napivprovodnykovi systemy impulsnoho asynkhronnoho elektropryvodv maloiu potuzhnosti]. – L. : Energoatomisdat, Leningrad. dep-tion. – 170.

3. German-Galkin S. G. (2002). Power Electronics: Laboratory work on the PC: [Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK]. – St. Petersburg: CROWN print. – 304.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

**И. М. Голодный,
А. Ю. Синявский,
А. В. Санченко**

Аннотация. Современный асинхронный регулируемый электропривод базируется на использовании полупроводниковых преобразователей напряжения различных типов, исследованию различных рабочих характеристик которых, из-за сложности или высокой стоимости, уделено мало внимания. С развитием компьютерного моделирования появилась возможность углубить исследования данных процессов.

Целью работы является уменьшение времени и затрат на исследование регулируемого асинхронного электропривода с помощью компьютерного моделирования и подтверждения адекватности полученных результатов на модели и физической установке.

Анализ электромагнитных процессов регулируемого электропривода при выбранном способе управления проводился с использованием положений теории электропривода и статистических методов обработки результатов исследований на физической и компьютерной модели в системе MatLab.

Для проведения анализа характеристик трехфазного регулируемого асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазоимпульсным управлением разработана в MatLab компьютерная модель, силовая цепь которой состоит из источника переменного напряжения, двух тиристоров в каждой фазе, соединенных встречно-параллельно и электродвигателя АИРП80А6У2. Результаты исследований визуализировались с помощью виртуальных измерительных приборов.

На созданной компьютерной модели и лабораторной установке регулируемого электропривода вентиляционной установки с тиристорным регулированием напряжения станцией управления "Климатика 1" получены формы кривой напряжения и тока и их спектральный состав.

Анализ результатов исследований подтвердил адекватность компьютерной модели реальным электромагнитным процессам.

Результаты исследований на компьютерной модели пригодны для использования при разработке трехфазного регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, высшие гармоники, форма кривой напряжения и тока, компьютерная модель, регулированный электропривод

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH TYRRISTOR VOLTAGE REGULATOR

I. M. Golodnyi,
A.Yu. Sinyavsky,
A. V. Sanchenko

Abstract. The modern asynchronous controlled electric drive is based on the use of semiconductor voltage converters of various types, which, due to complexity or high cost, pay little attention to the study of various performance characteristics. With the development of computer modeling, it became possible to deepen the research of these processes.

The aim of the work is to reduce the time and costs for studying a controlled asynchronous electric drive by computer simulation and to confirm the adequacy of the results obtained on the model and physical installation.

The analysis of electromagnetic processes of a regulated electric drive with the chosen control method was carried out using the provisions of the electric drive theory and statistical methods for processing the results of research on the physical and computer model in the MatLab system.

In order to analyze the characteristics of a three-phase adjustable asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control, a computer model is developed in MatLab, the power circuit of which consists of an alternating voltage source, two thyristors in each phase, connected counter-parallel and the motor АИП80А6У2.

On the created computer model and laboratory installation of the adjustable electric drive of the ventilation system with thyristor regulation of the voltage by the control station "Klimatika 1", the shape of the voltage and current curve and their spectral composition were obtained.

Analysis of the results of the studies confirmed the adequacy of the computer model to real electromagnetic processes.

The results of the studies on the computer model are suitable for use in the development of a three-phase asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.

Keywords: *electromagnetic processes, higher harmonics, voltage and current curve shape, computer model, regulated electric drive*

УДК 330.322.338.45

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В АСПЕКТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ; ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ

Н. І. СОКОЛОВСЬКА, заступник директора Департаменту з питань взаємодії з Верховною Радою України, іншими державними органами Секретаріату Кабінету Міністрів України, завідувачка відділу аналітичної роботи та зв'язків з народними депутатами України

Анотація. *За результатами реалізації завдань Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р № 605-р., планується досягти зниження енергоємності ВВП більш ніж удвічі до 2035 року. Забезпечення повноти та прозорості обліку всіх форм енергії набуває визначального значення.*

Найбільш проблемним є забезпечення обліку на ринку природного газу. Для контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій необхідна єдина система обліку та контролю споживання енергоресурсів, що має бути врегульована законодавством. Система має збирати дані про споживання енергоресурсів безпосередньо від лічильників споживачів, які повинні бути в усіх будинках і квартирах. Інформація має акумулюватися на рівні району, потім області. Узагальнені дані мають бути опрацьовані в єдиному моніторинговому центрі. Як результат – реальна картина споживання енергоресурсів і стану платежів.

Ключові слова: *комерційний облік, енергетичні ринки, паливно-енергетичний баланс, органи державного управління*

Актуальність. *Аналіз достатності законодавчої бази стосовно забезпечення автоматизованого комерційного обліку всіх видів енергоресурсів. Створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні за єдиними правилами ведення баз даних. Забезпечення контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій.*

© Н. І. Соколовська, 2017

The results of the studies on the computer model are suitable for use in the development of a three-phase asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.

Keywords: *electromagnetic processes, higher harmonics, voltage and current curve shape, computer model, regulated electric drive*

УДК 330.322.338.45

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В АСПЕКТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ; ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ

Н. І. СОКОЛОВСЬКА, заступник директора Департаменту з питань взаємодії з Верховною Радою України, іншими державними органами Секретаріату Кабінету Міністрів України, завідувачка відділу аналітичної роботи та зв'язків з народними депутатами України

Анотація. *За результатами реалізації завдань Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р № 605-р., планується досягти зниження енергоємності ВВП більш ніж удвічі до 2035 року. Забезпечення повноти та прозорості обліку всіх форм енергії набуває визначального значення.*

Найбільш проблемним є забезпечення обліку на ринку природного газу. Для контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій необхідна єдина система обліку та контролю споживання енергоресурсів, що має бути врегульована законодавством. Система має збирати дані про споживання енергоресурсів безпосередньо від лічильників споживачів, які повинні бути в усіх будинках і квартирах. Інформація має акумулюватися на рівні району, потім області. Узагальнені дані мають бути опрацьовані в єдиному моніторинговому центрі. Як результат – реальна картина споживання енергоресурсів і стану платежів.

Ключові слова: *комерційний облік, енергетичні ринки, паливно-енергетичний баланс, органи державного управління*

Актуальність. *Аналіз достатності законодавчої бази стосовно забезпечення автоматизованого комерційного обліку всіх видів енергоресурсів. Створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні за єдиними правилами ведення баз даних. Забезпечення контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій.*

© Н. І. Соколовська, 2017

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-методологічні засади гарантування енергетичної безпеки, включаючи аспекти створення систем обліку енергоресурсів, знайшли відображення в працях Л. Гаманюка, С. Денисюка, М. Ковалка, О. Кириленка, Б. Стогнія, О. Суходолі. Але, незважаючи на велику кількість ґрунтовних наукових та науково-практичних досліджень у цій сфері (зокрема, [3–6]), законодавчо не підкріплені умови створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні за єдиними правилами ведення баз даних.

Мета дослідження – аналіз достатності нормативно-правового регулювання у сфері комерційного обліку енергоресурсів в Україні та пошук шляхів удосконалення правового забезпечення у цій сфері, включаючи створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні.

Матеріали і методика дослідження. За результатами реалізації завдань Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (далі Стратегія), схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р № 605-р., планується досягти зниження енергоємності ВВП більш ніж удвічі до 2035 року.

Стратегією, зокрема, передбачається до 2025 року завершити реформування енергетичного комплексу України, досягти першочергових цільових показників з безпеки та енергоефективності, забезпечити його інноваційне оновлення та інтеграцію з енергетичним сектором ЄС, модернізувати й удосконалити системи обліку й залучення споживача до управління власним попитом на енергетичні ресурси [5].

Слід зазначити, що питання обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів врегульовано законодавством України не повною мірою. Так, Законом України «Про енергозбереження», який було ухвалено в 1994 р., передбачено поступовий перехід до масового застосування приладів обліку та регулювання споживання паливно-енергетичних ресурсів [6]. Курс держави на тотальний облік споживання енергії та води також містять депутатська коаліційна угода (2015 р.), президентська "Стратегія-2020" та Урядовий план дій.

Результати дослідження та їх обговорення. Нині в Україні впроваджується автоматизована система комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ) – сукупність вимірювальних комплексів, каналів зв'язку, апаратного та програмного забезпечення, а також баз даних комерційного обліку, функціонально об'єднаних з метою забезпечення автоматизованого вимірювання, збору, опрацювання, збереження, відображення та передачі результатів вимірювань, а також формування даних комерційного (приладового) обліку електричної енергії для їх подальшого використання.

Комерційний облік на ринку електричної енергії організовується адміністратором комерційного обліку та здійснюється постачальниками послуг комерційного обліку на конкурентних засадах за умови реєстрації постачальника послуг комерційного обліку та реєстрації їх

автоматизованих систем. Надання послуг комерційного обліку здійснюється постачальниками послуг комерційного обліку електричної енергії, адміністратором комерційного обліку у порядку, встановленому кодексом комерційного обліку, правилами ринку електроенергії. Учасники ринку, електроустановки яких приєднані до електричних мереж (крім побутових споживачів) мають право вільного вибору постачальника послуг комерційного обліку[2–4].

Верховна Рада України ухвалила Закон України «Про ринок електричної енергії України», який набув чинності 13 квітня 2017 року [8].

Таким чином, стосовно обліку електроенергії в Україні створено найбільш розвинену і повну правову базу [1].

Складніше становище в сфері обліку природного газу. Правовою основою забезпечення комерційного обліку природного газу є прийнятий 16 червня 2011 року Закон України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу», який зокрема передбачає, що суб'єкти господарювання, які здійснюють розподіл природного газу на відповідній території, зобов'язані забезпечити встановлення лічильників газу для населення, що проживає у квартирах та приватних будинках, в яких газ використовується, зокрема, тільки для приготування їжі – до 1 січня 2018 року. При цьому, у разі невстановлення населенню лічильників у заплановані строки, припинення розподілу природного газу таким споживачам забороняється, а його облік до моменту встановлення лічильників газу здійснюється за нормами споживання, встановленими Кабінетом Міністрів України. Порядок обліку природного газу визначено у Кодексі газорозподільних систем, затверджену Постановою НКРЕКП [7, 9].

Щоб досягти 100% обліку в Україні потрібно ще встановити близько 5 млн газових індивідуальних лічильників. За даними НКРЕКП, за рік встановлюється близько 300 000 лічильників на газ, і, в разі неприйняття дієвих заходів, потрібно щонайменше 16–17 років. Облгази фатально не встигали встановлювати квартирні лічильники і їм дозволили встановлювати загальнобудинкові.

Про недосконалість обліку на ринку природного газу свідчить значна кількість законодавчих ініціатив, зареєстрованих у Верховній Раді України щодо вдосконалення взаємовідносин між суб'єктами ринку газу, зокрема створення Єдиної бази абонентів – споживачів природного газу та визначення адміністратора, який буде відповідальним за її ведення, перехід до обліку споживання від одиниць об'єму до одиниць енергії, з урахуванням фізико-хімічних показників природного газу, зокрема вмісту азоту, сірки тощо. Це має зробити облік відповідним до рівня вимог ЄС[10,11].

Україна анонсувала створення ринку житлово-комунальних послуг. Для цього потрібно, щоб був 100% облік.

22.06.2017 року Верховна Рада України ухвалила Закон «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання». Відповідно до прикінцевих положень Закону, оснащення вузлами комерційного обліку будівель зобов'язаний здійснити оператор зовнішніх інженерних мереж у термін:

- теплової енергії – протягом року з дня набрання чинності цим Законом;

- гарячої та питної води для нежитлових будівель – упродовж одного року, а для житлових будівель – протягом двох років з дня набрання чинності цим Законом [12].

Слід також зазначити, що питання тарифоутворення щодо тепла та води, схвалення інвестиційних програм планується передати на місця – до 70% відповідних ліцензіатів.

За інформацією Голови НКРЕКП, рівень обліку за 2016 р. зріс в 1,5 раза до 54%, а вже схвалені інвестиційні програми передбачають досягнення 87% оснащеності обліком.

На розгляд Верховної Ради України внесено проект Закону «Про Єдину державну систему моніторингу виробництва, постачання, транспортування, споживання та оплати за паливно-енергетичні ресурси і комунальні послуги (ЄСДМ)» (реєстрац. № 1640). Зазначений законопроект передбачає єдині правила створення і ведення єдиної системи обліку енергоресурсів через механізм створення державного підприємства, що має діяти за регламентом, затвердженим Уповноваженим органом (Держенергоефективності) [13].

На мою думку, створення державного підприємства з функціонування ЄСДМ є найбільш дискусійним. У зв'язку з прийняттям Закону України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» від 22.09.2016 № 1540-VIII, до повноважень якої, згідно зі статтею 17, належить здійснення моніторингу та аналізу ринків у сферах енергетики та комунальних послуг, доцільно створити структурний або окремий підрозділ лише при цьому органі – незалежному регуляторі. НКРЕКП спроможний реально узгодити з усіма суб'єктами природних монополій енергетичних ринків єдину нормативно-методичну базу, що забезпечує достовірність і порівнянність вимірів, звітної інформації та результатів опрацювання інформації; єдині правила створення і ведення баз даних.

Висновки і перспективи. Шлях до 100% обліку енергоресурсів на сьогодні має пріоритетне значення в аспекті енергетичної безпеки України. Держава має мобілізувати необхідні ресурси для вирішення цього питання до 01.01.2018 року. У зв'язку з набуттям чинності Закону України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг», доцільно створити структурний або окремий підрозділ лише при цьому органі – незалежному регуляторі НКРЕКП з метою створення автоматизованої системи обліку енергоресурсів (АСОЕР) за єдиними правилами ведення баз даних.

Список літератури

1. Гаманюк Л. Ю. Оснащення засобами обліку споживання енергоресурсів житлово-комунальної сфери / Л. Ю. Гаманюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.necin.gov.ua

2. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.

3. Стогній Б. С. Енергетична безпека України. Світові та національні виклики / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2006. – 408 с.
4. Суходоля О. М. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації : монографія / О. М. Суходоля. – 2006. – 400 с.
5. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.mpe.kmu.gov.ua/](http://www.mpe.kmu.gov.ua/)
6. Про енергозбереження : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
7. Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
8. Про ринок електричної енергії України : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
9. Про забезпечення комерційного обліку природного газу : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
10. Проект Закону про внесення змін до Закону України «Про ринок природного газу» (щодо запровадження обліку природного газу в одиницях енергії) (реєстрац. № 6324) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
11. Про забезпечення комерційного обліку природного газу (щодо створення єдиної бази абонентів – споживачів природного газу) : проект Закону України (реєстр. № 6391) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
12. Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання : закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)
13. Проект Закону про Єдину державну систему моніторингу виробництва, постачання, транспортування, споживання та оплати за паливно-енергетичні ресурси і комунальні послуги (реєстрац. № 1640) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/)

References

1. Gamanyuk, L. Yu. Equipping facilities for accounting for energy consumption in the housing and communal sector / Yu. Gamanuk. Available at : www.necin.gov.ua.
2. Kovalko, M. P., Denisyuk, S. P. (1998). Energy saving : the priority direction of state policy of Ukraine / M. P. Kovalko, S. P. Denisyuk. Kyiv: UES, 506.
3. Stohniy, B. S. (2006). Energy Security of Ukraine. World and National Challenges / B. S. Stogniy, A. V. Kirilenko, S. P. Denisyuk. K.: Ukrainian Encyclopedic Knowledge, 408.
4. Sukhodolya, O. M. (2006). Energy efficiency of the economy in the context of national security: research methodology and implementation mechanisms: Monograph, 400.
5. The Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness ". Available at : [/www.mpe.kmu.gov.ua/](http://www.mpe.kmu.gov.ua/).
6. Law of Ukraine "On Energy Saving". Available at : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/).
7. The Law of Ukraine "On the National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Utilities". Available at : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/).
8. Law of Ukraine "On the Electricity Market of Ukraine". Available at : [/www.rada.gov.ua/](http://www.rada.gov.ua/).

9. The Law of Ukraine "On the Provision of Commercial Gas Metering". Available at : /www.rada.gov.ua/. |

10. Draft Law on Amendments to the Law of Ukraine "On the Natural Gas Market" on the Implementation of Natural gas accounting in units of energy (registration number 6324). Available at : /www.rada.gov.ua/.

11. Draft Law of Ukraine "On the Provision of Commercial Gas Metering" (regarding the creation of a single base of subscribers consumers of natural gas) (Reg. No. 6391). Available at : /www.rada.gov.ua/.

12. Law of Ukraine "On Commercial Accounting for Thermal Energy and Water Supply". Available at : /www.rada.gov.ua/.

13. Draft Law on the Unified State System for Monitoring the Production, Supply, Transportation, Consumption and Payment for Fuel and Energy Resources and Utilities (registration No. 1640). Available at : /www.rada.gov.ua/.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В АСПЕКТЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА И РЕГИОНОВ; НЕКОТОРЫЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

Н. И. Соколовская

Аннотация. По результатам реализации задач Энергетической стратегии Украины на период до 2035 года «Безопасность, энергоэффективность, конкурентоспособность», одобренной распоряжением Кабинета Министров Украины от 18.08.2017 г. № 605-р., планируется достичь снижения энергоемкости ВВП более чем в два раза к 2035 году. Обеспечение полноты и прозрачности учета всех форм энергии приобретает определяющее значение.

Наиболее проблемным является обеспечение учета на рынке природного газа. Для контроля топливно-энергетического баланса страны и внедрения эффективных энергосберегающих технологий необходима единая система учета и контроля потребления энергоресурсов, которая должна быть урегулирована законодательством. Система сбора данных о потреблении энергоресурсов непосредственно от счетчиков потребителей, которые должны быть во всех домах и квартирах. Информация должна аккумулироваться на уровне района, потом области. Обобщенные данные должны обрабатываться в едином мониторинговом центре. В результате должна быть реальная картина потребления энергоресурсов и состояния платежей.

Ключевые слова: коммерческий учет, энергетические рынки, топливно-энергетический баланс, органы государственного управления

CREATION OF A SYSTEM OF ENERGY RESOURCES ACCOUNTING IN THE ASPECTS OF ENERGY SECURITY OF THE STATE AND REGIONS; SOME LEGAL AND LEGAL ASPECTS

N. I. Sokolovskaya

Abstract. According to the results of the tasks of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness", approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605-p. it is planned to achieve the reduction of energy intensity of GDP more than twice before 2035.

Most problematic is the provision of accounting in the natural gas market. To control the energy balance of the country and the introduction of effective energy-saving technologies needs a common system of accounting and control of energy consumption that should be regulated by law. The system should collect data on the consumption of energy resources directly from consumers' meters, which should be in all homes and apartments. The information is accumulated at the district level, then the area. Generalized data should be processed in a single monitoring center. As a result, there should be a real picture of energy consumption and the state of payments.

Keywords: commercial accounting, energy markets, energy balance, Governments

УДК 631.331.021:62.001.57

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ ГІДРОВІСІВНОГО АПАРАТА

С. М. ДЕЙНЕКА, здобувач

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: deyneka5555@ukr.net

Анотація. Проведено теоретичне дослідження процесу гідровисіву пророщеного насіння дрібнонасінневих овочевих культур. Методами дослідження є теорії пневматики та гідравліки, імітаційне моделювання процесів. Критерієм оптимізації прийнято рівномірність розподілу насіння в рядку, яка включає рівномірність розподілу насіння в об'ємі рідини та норми виліву водонасінневої суміші.

Розглянуто наукові засади проектування принципу дії та конструкції гідровисівного апарата для висіву пророщеного дрібного насіння овочевих культур. Запропоновано математичні моделі окремих процесів, використання яких дає змогу розділити загальний процес проектування гідровисівуючого апарата на такі фази: перша – процес барботування, друга – процес перемішування насіння в рідині, третя – процес висіву водонасінневої суміші. Застосування сукупності фізичних процесів дає можливість досягти високої якості виконання процесу гідровисіву пророщеного насіння без травмування паростків.

Abstract. According to the results of the tasks of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness", approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605-p. it is planned to achieve the reduction of energy intensity of GDP more than twice before 2035.

Most problematic is the provision of accounting in the natural gas market. To control the energy balance of the country and the introduction of effective energy-saving technologies needs a common system of accounting and control of energy consumption that should be regulated by law. The system should collect data on the consumption of energy resources directly from consumers' meters, which should be in all homes and apartments. The information is accumulated at the district level, then the area. Generalized data should be processed in a single monitoring center. As a result, there should be a real picture of energy consumption and the state of payments.

Keywords: commercial accounting, energy markets, energy balance, Governments

УДК 631.331.021:62.001.57

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ ГІДРОВІСІВНОГО АПАРАТА

С. М. ДЕЙНЕКА, здобувач

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: deyneka5555@ukr.net

Анотація. Проведено теоретичне дослідження процесу гідровисіву пророщеного насіння дрібнонасінневих овочевих культур. Методами дослідження є теорії пневматики та гідравліки, імітаційне моделювання процесів. Критерієм оптимізації прийнято рівномірність розподілу насіння в рядку, яка включає рівномірність розподілу насіння в об'ємі рідини та норми виліву водонасінневої суміші.

Розглянуто наукові засади проектування принципу дії та конструкції гідровисівного апарата для висіву пророщеного дрібного насіння овочевих культур. Запропоновано математичні моделі окремих процесів, використання яких дає змогу розділити загальний процес проектування гідровисівуючого апарата на такі фази: перша – процес барботування, друга – процес перемішування насіння в рідині, третя – процес висіву водонасінневої суміші. Застосування сукупності фізичних процесів дає можливість досягти високої якості виконання процесу гідровисіву пророщеного насіння без травмування паростків.

Проведені теоретичні дослідження процесу гідровисіву дають змогу сформулювати основні напрями експериментальних досліджень як окремих процесів, так і загального процесу, оптимізація режимів роботи яких дає змогу вирішити питання розробки конструкції гідросівалки. Таким чином, можливе досягнення скорочення терміну отримання врожаю овочевих культур за рахунок скорочення терміну появи сходів.

Ключові слова: *гідровисів, імітаційне моделювання, барботування, пророщене насіння*

Актуальність. Сучасний підхід до вирощування овочевих культур потребує застосування нових методів виконання технологічних операцій, які дозволяють отримувати високі врожаї та високу якість овочів.

Враховуючи те, що практично понад 90% площ овочевих та баштанних культур припадає на особисті підсобні господарства, середній розмір яких коливається в межах 0,2–2 га, постає проблема забезпечення виробника технікою, яка спроможна якісно виконувати технологічні операції з мінімальними витратами і максимальною ефективністю.

Однією з проблем при вирощуванні овочів є довгий термін від посіву до появи сходів при використанні посіву сухим насінням. Використання гідровисіву пророщеним насінням з одночасним мікророзрошенням значно скорочує цей термін, що дає змогу отримувати ранній врожай овочів з мінімальними витратами.

Отже, розробка гідровисівних апаратів в умовах сучасних тенденцій розвитку овочівництва є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці висівного апарата для посіву пророщеним насінням присвячені наукові дослідження Г. М. Черкащенко, В. І. Дешко, О. О. Коновал, Л. І. Кузьменко, Д. А. Ящук, М. Ф. Ольховського, М. В. Бакум, Ю. О. Манчиського, О. Д. Клімчук, В. Б. Бойко та інші.

Мета дослідження – проведення теоретичних досліджень окремих процесів, які забезпечують рівномірність висіву пророщеного насіння способом гідровисіву.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження ґрунтувалися на теорії пневматики та гідравліки, імітаційному моделюванні процесів.

Результати дослідження та їх обговорення. Перспективним методом дослідження робочих процесів у механізації сільського господарства може бути математичне (імітаційне) моделювання. Перевагою імітаційного моделювання перед натуральним експериментом є можливість глибше проаналізувати фізичну суть складних процесів, істотно скоротити витрати на виготовлення експериментальних моделей, які передбачені багатофакторним експериментом [5].

Метод моделювання процесів за допомогою комп'ютерної техніки дозволяє імітувати вплив випадкових факторів і отримати більш точний результат дослідження.

Використання сучасних імітаційних моделей ґрунтується на прикладі метода Монте Карло [3]. Процес імітаційного моделювання передбачає такі етапи [4].

Етап 1. Змістовний опис процесу. Якісні і кількісні характеристики процесу виражаються в словесній формі:

- повністю відображується логіка подій і явищ;
- конкретизується мета моделювання з визначенням вихідних характеристик процесу, які слід фіксувати для отримання необхідних даних.

Етап 2. Складання формалізованої схеми процесу. Цей етап є проміжним між змістовим описом процесу і його математичною моделлю.

Відповідності, виражені в змістовому описі форматуються в математичні залежності, характерні закономірності записуються у вигляді рівнянь.

Етап 3. Розробка математичної моделі. На цьому етапі всі дані про процес записуються в аналітичній формі.

Етап 4. Побудова моделюючого алгоритму.

Математична модель у своєму початковому вигляді не може бути використана для аналітичного дослідження, і взагалі не може містити в явному вигляді шукані величини [1]. Тому побудова моделюючого алгоритму є необхідним кроком для моделювання процесу з використанням комп'ютерних технологій. У відповідності з алгоритмом обчислювальних програм він дає можливість отримати інформацію, що описує елементарні явища досліджуваного процесу і з врахуванням їх взаємних впливів за допомогою явних формул обчислюються шукані величини. Для складних систем неможливо побудувати залежності між характеристиками стану і параметрами системи, тому постає необхідність поділу процесу функціонування системи на певну кількість підпроцесів, у математичному описі яких не виникає складнощів.

Як приклад математичного моделювання розглянемо дослідження процесу висіву дрібного насіння овочевих культур гідровисівним апаратом, в основі якого лежить принцип барботажної колони.

Параметром, що визначає якість роботи гідровисівного апарата, є рівномірність висіву насіння. На рис. 1 подана схема формування рівномірності за допомогою досліджуваного висівного апарата (формалізована схема процесу).

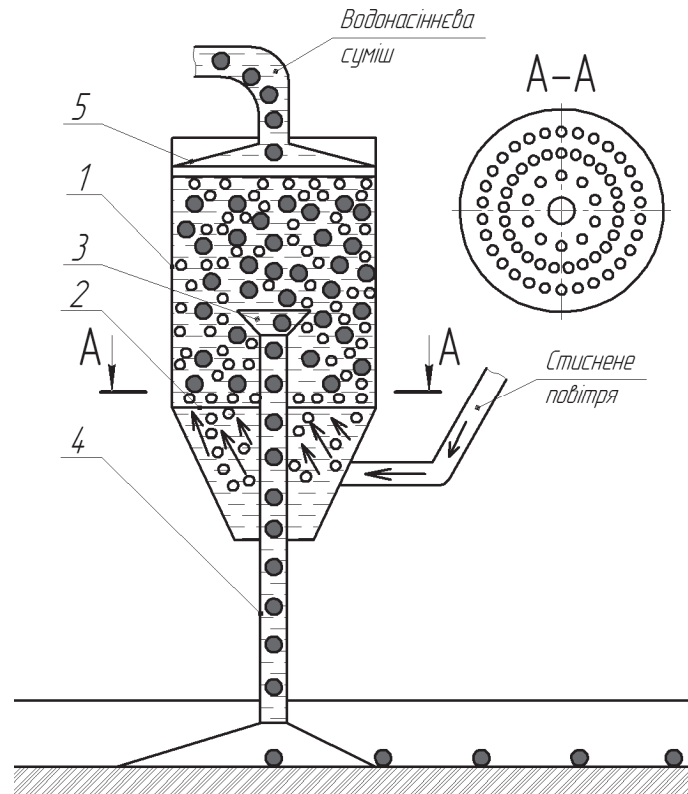


Рис. 1. Формалізована схема процесу гідровисіву:

- 1 – водонасіннева суміш; 2 – перфороване днище; 3 – воронка уловлювача;
4 – сошник; 5 – обмежувач рівня рідини

Процес гідровисіву можна поділити на ряд простих процесів, які характеризуються певними фізико-механічними властивостями.

Нехай густина насінини буде ρ_n , густина рідини ρ_p і середня швидкість її руху $U_{\text{сер.}}$.

На насінину діють такі сили:

- сила тяжіння: $G = \rho_n \cdot g \cdot V$;
- сила підйому пухирця (Архімедова сила): $R = \rho_p \cdot g \cdot V$, спрямована по вертикалі знизу вгору;
- сила опору, визначена за загальною формулою опору при

$$W = CF \frac{\rho_p U_p^2}{2},$$

обтіканні тіл:

де ρ_p – густина рідини, кг/м^3 ;

C – коефіцієнт опору;

F – площа проекції насінини;

U_p^2 – швидкість рідини відносно насінини, м/с .

Процес барботування. Розмір пухирця в момент відриву від поверхні можна обчислити. Нехай

d_0 – діаметр отвору;

d – діаметр пухирця;
 ρ_p та ρ_r – відповідно густина рідини та газу;
 σ – поверхневий натяг рідини.

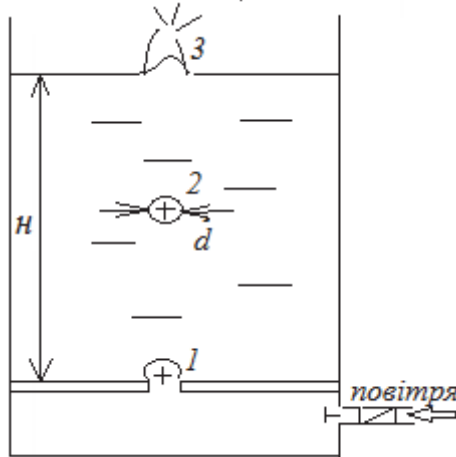


Рис. 2. Схема барботування:

1– бульбашка, що виникає; 2 – спливаюча бульбашка; 3 – руйнування бульбашки

При виході з отвору пухирець спочатку збільшується в об'ємі, а потім відривається та спливає. Коли сила, що піднімає (Архімедова сила) і сила опору рівні, то виконується рівність:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_p - \rho_r) = \pi d_0 \sigma \quad (1)$$

Звідки:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 d_0 \sigma}{g(\rho_p - \rho_r)}} \quad (2)$$

З останнього рівняння випливає, що діаметр пухирця при вільному русі не залежить від витрат газу, а визначається d_0 і властивостями рідини та газу. При збільшенні витрат газу збільшується лише частота пухирців.

Коли витрата газу досягає критичного значення $V_{кр}$, пухирці не встигають відірватися один від одного та рухаються ланцюжком, іноді зливаючись (спостерігається так зване явище *коалесценції*), перетворюються в окрему струю газу. Критична витрата газу дорівнює:

$$V_{кр} = \frac{\pi d^3}{6} v_n = \frac{\pi v_n}{6} \left[\frac{6 d \sigma}{g(\rho_p - \rho_r)} \right], \quad (3)$$

де v_n – швидкість піднімання пухирця, м/с.

У теоретичних дослідженнях механізму гідравлічних та аеродинамічних закономірностей фізичних явищ у процесі висіву

пророщеного насіння овочевих культур показаний зв'язок між параметрами, що впливають на процес гідровисіву.

Процес перемішування водонасінневої суміші. Для досягнення достатньої інтенсивності перемішування швидкість газу в отворах перфорованого днища не повинна бути менша, ніж величина ω_0 , що відповідає початку режиму рівномірної роботи

$$\omega_0 = a \sqrt{\frac{g}{\zeta} \cdot \frac{\rho_{ж}}{\rho_2}} l, \text{ м/с}, \quad (4)$$

де a – коефіцієнт, що дорівнює 0,67 для сітчастих тарілок барботажних абсорберів;

g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

ζ – коефіцієнт опору;

$\rho_{ж}$ і ρ_2 – щільність рідини та газу, кг/м^3 ;

l – висота рівня рідини над днищем, м .

Гідравлічний опір Δp змішувальної камери складається з опору Δp_1 перфорованого днища, опору Δp_2 стовпа рідини на днищі, що відповідає глибині барботажу, та опору Δp_3 , обумовленого поверхневим натягненням рідини. Таким чином,

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3. \quad (5)$$

Опір перфорованого днища

$$\Delta p_1 = \zeta \frac{\rho_2 \omega_0^2}{2}, \text{ Н/м}^2, \quad (6)$$

де ρ_2 – щільність газу, кг/м^3 ;

ζ – коефіцієнт опору, що має наступні значення

$\varphi = 0,07-0,1 \dots \dots \dots 1,82$;

$\varphi = 0,15-0,2 \dots \dots \dots 1,45$;

φ – живий перетин отворів (відношення їх сумарної площини на днищі до площини поперечного перетину колони).

Процес виливу водонасінневої суміші. Опір стовпа рідини на днищі

$$\Delta p_2 = 1,3 g k \rho_{ж} (h_n + \Delta h), \text{ Н/м}^2 \quad (7)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

k – відношення щільності піни до щільності чистої рідини (при розрахунках приймають $k=0,5$);

$\rho_{ж}$ – щільність рідини, кг/м^3 ;

Δh – висота рівня рідини над зливним порогом (уловлювачем), м ;

h_n – висота зливного порога (уловлювача), м .

Величина Δh визначається з урахуванням щільності піни

$$\Delta h = \left(\frac{V_{ж}}{1,85 \Pi k} \right)^{2/3}, \text{ м}, \quad (8)$$

де $V_{ж}$ – об'ємна витрата рідини, $\text{м}^3 / \text{с}$;

Π – периметр уловлювача, м .

Опір, обумовлений силами поверхневого натягіння

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{d}, \text{ Н / м}^2, \quad (9)$$

де σ – поверхневий натяг, Н / м ;

d – діаметр отвору перфорації, м .

Під час перемішування водонасіннєвої суміші, щоб виключити травмування проростків, повинна виконуватись умова $F_{y\partial} < F_g$,

де $F_{y\partial}$ – сила удару газового пухирця по пророщеному насінню, Н ;

F_g – зусилля відриву проростка від насіння, Н .

Оскільки ударні сили занадто великі й за час удару змінюються в значних межах, то як міру взаємодії тіл розглядають не самі ударні сили, а їх імпульси.

$$S_{y\partial} = \int_0^{\tau} F_{y\partial} dt = F_{y\partial}^{cp} \tau, \text{ кг} \cdot \text{м / с}. \quad (10)$$

Надалі будемо розглядати швидкість на початку удару v , та в кінці удару u . Тоді запишемо теорему про зміну кількості руху точки при ударі

$$m(u - v) = \sum S_k. \quad (11)$$

Для визначення швидкостей на початку удару розглянемо осідання пророщеного насіння в рідині та спливання газового пухирця.

У початковий момент часу швидкість осідання насіння $v = 0$.

Використаємо рівняння руху у вигляді

$$m \frac{dv}{dt} = G - F, \quad (12)$$

де m – маса пророщеного насіння з урахуванням приєднаної маси рідини;

$\frac{dv}{dt}$ – прискорення руху насіння;

G – вага насіння з врахуванням впливу архімедової сили;

F – сила лобового опору.

Швидкість рівномірного осадження тіла в рідині визначимо з рівняння (10), в якому для ділянки рівномірного руху $\frac{dv}{dt} = 0$.

Вага насіння з урахуванням впливу архімедової сили

$$G = (\rho_n - \rho_p) g \frac{\pi d^3}{6}, \text{ Н}, \quad (13)$$

де ρ_n і ρ_p – відповідно, щільність насіння та рідини, кг/м^3 ;

d – діаметр насіння, м.

Сила лобового опору визначиться у вигляді

$$F = c_x \frac{\pi d^2}{4} \rho_p \frac{v_0^2}{2}, \quad (14)$$

де v_0 – швидкість рівномірного руху насіння.

Прирівнявши праві частини рівнянь (13) і (14) та розв'язуючи отримане рівняння відносно швидкості, отримаємо:

$$u_0 = \sqrt{\frac{3 g d (\rho_n - \rho_p)}{4 \rho_p c_x}}. \quad (15)$$

Висновки і перспективи. Експериментальні дослідження мають за мету підтвердження достовірності впливу аналітичних залежностей, при теоретичному розгляді досліджуваних питань за наступною програмою:

1. Визначення впливу концентрації пророщеного насіння овочевих культур у змішувальній камері на рівномірність висіву.

2. Обґрунтування параметрів змішувальної камери: розмірів уловлювача та перфорованого днища.

3. Визначення впливу швидкості агрегата й діаметра виливного отвору на величину норми висіву та рівномірності розподілу насіння в рядку.

4. Визначення впливу зміни тиску повітря в отворах перфорованого днища на рівномірність висіву.

Дослідження, згідно з програмою, будуть проведені в два етапи – лабораторні та польові.

У процесі лабораторних експериментів буде досліджуватися вплив концентрації насіння в змішувальній камері на якість висіву, визначатиметься витрата насіння на одиницю площі.

Під час польових експериментів визначатиметься величина витрати гідросуміші залежно від діаметра вихідного отвору та швидкості агрегата.

Список літератури

1. Бусленко Н. П. Метод статистического моделирования / Н. П. Бусленко. – М. : Статистика, 1970. – 125 с.
2. Гідравліка / [Дідур В. А., Журавель Д. П., Палішкін М. А. та ін.]. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 624 с.

3. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло / Соболев И. М. – М. : Наука, 1973. – 312 с.
4. Хэдми А. Таха. Введение в исследование операций / Хэдми А. Таха ; пер. с англ. – [6-е изд.]. – М. : Вильямс, 2001. – 912 с.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука / Шеннон Р. – М. : Мир, 1978. – 312 с.

References

1. Buslenko, N. P. (1970). Metod statisticheskogo modelirovaniya [The method of statistical modeling]. Moscow: Statistika, 125.
2. Didur, V. A., Zhuravel, D. P., Palishkin, M. A. [et al.] (2015). Hidravlika [Hydraulics]. Kherson: OLDI-PLluS, 624.
3. Sobol', I. M. (1973). Chislennyye metody Monte-Karlo [Numerical Monte Carlo methods]. Moscow: Nauka, 312.
4. Khedmi, A. Takha. (2001). Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. Moscow: Vil'yams, 912.
5. Shennon, R. (1978). Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Iskusstvo i nauka [Simulation of systems. Art and Science]. Moscow: Mir, 312.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ГИДРОВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

С. М. Дейнека

Аннотация. Проведено теоретическое исследование процесса гидропосева мелкоягодных овощных культур. Методы исследования – теории пневматики и гидравлики, имитационное моделирование процессов. Критерием оптимизации является равномерность размещения семян в ряду, включающая равномерность размещения семян в объеме жидкости и нормы высева водосеменной смеси.

Рассмотрены научные основы проектирования принципа действия и конструкции гидровысевающего аппарата для посева пророщенных мелких семян овощных культур. Предложены математические модели отдельных процессов, использование которых дает возможность поделить весь процесс проектирования гидровысевающего аппарата на следующие фазы: первая – процесс барботирования, вторая – процесс перемешивания семян в жидкости, третья – процесс высева водосеменной смеси. Использование совокупности физических процессов дает возможность достигнуть высокого качества исполнения процесса гидропосева пророщенных семян без травмирования ростков.

Проведенные теоретические исследования процесса гидропосева дают возможность сформулировать основные направления экспериментальных испытаний как отдельных процессов, так и общего процесса, оптимизация работы которых дает возможность решить вопросы разработки конструкции гидросеялки. Таким образом, возможно достичь сокращения периода получения урожая овощных культур за счет сокращения периода появления всходов.

Ключевые слова: гидропосев, имитационное моделирование, барботирование, пророщенные семена

USE OF MATHEMATICAL MODELLING METHODS OF THE OPERATION PROCESSES OF A HYDROSEEDING APPARATUS

S. M. Deyneka

Abstract. *The article deals with theoretical investigation of hydroseeding of germinated seeds of small seeded vegetable crops.*

The theories of pneumatics and hydraulics, simulation modelling of the processes were used. It is shown that the optimization criterion is the even seeds distribution in a row which includes even seeds distribution in the liquid volume and the standards of pouring of water and seeds mixture.

Attention is drawn to scientific basis of designing and working principles of hydroseeding apparatus for sowing of small seeds of vegetable crops.

The article gives an analysis of mathematical models of some processes which allow to divide the process of designing of the hydroseeding apparatus into the following phases: bubbling, mixing seeds in the liquid and pouring of water and seeds mixture.

It is stressed that the use of the complex of physical processes allows to

Theoretical investigations of hydroseding help formulate the main areas reach high quality of hydroseeding of germinated seeds without their damaging.of experimental research of both separate processes and a general one. Optimisation of their operating modes permits to design a hydroseeder. In this way it is possible to shorten the period of having harvest of vegetable crops by reducing the period of sprouts emergence.

Keywords: *hydroseeding, simulation modelling, bubbling, germinated seeds*

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ СТАДІЇ ПОДРІБНЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВ

Д. М. КОРИНЧУК, кандидат технічних наук
Інститут технічної теплофізики НАН України
e-mail: Korinchuk@nas.gov.ua

Анотація. Традиційна технологія виробництва біопалив включає стадії подрібнення біомаси, сушіння та гранулювання. Стадія подрібнення є невід'ємною та важливою складовою технологічного процесу переробки біомаси на паливо. Саме вона визначає ефективність роботи обладнання наступних стадій. Збільшення частки дрібної фракції розміром 200–500 мкм в суміші дає змогу підвищити продуктивність сушильного обладнання, що пов'язано зі збільшенням поверхні випаровування частинок біомаси, та підвищити при гранулюванні кількість контактів між частками, що припадає на одиницю об'єму й забезпечити високу продуктивність гранулятора.

Для визначення енерговитрат стадії подрібнення застосовано гіпотези подрібнення. Проведено серію досліджень процесу подрібнення деревини сосни різної вологості. Отримані залежності ступеня подрібнення та енерговитрат на процес подрібнення від часу перебування сировини в дробарці. Встановлено, що гіпотеза подрібнення Бонда максимально узгоджується з дослідними залежностями витраченої енергії на подрібнення.

Проведено енергетичний аналіз стадії подрібнення із застосуванням молоткової дробарки. Показано, що енергетичні витрати на подрібнення зростають зі зростанням вологості сировини. Рекомендовано залучення в технологічний процес двостадійного подрібнення з проміжною ланкою сушіння, що дозволяє забезпечити максимальний ступінь подрібнення для ефективної роботи гранулятора, а використання на другій стадії подрібнення дробарки меншої продуктивності для подрібнення не більше, ніж 30% сировини (за масою) до розміру 200 мкм дає змогу при мінімальних енерговитратах стадії подрібнення забезпечити максимальну продуктивність технологічної лінії та високу якість кінцевого продукту.

Ключові слова: подрібнення, біомаса, деревина, енерговитрати, гіпотеза Бонда, двостадійне, енергоефективність

Актуальність. Широке застосування технологій заміщення традиційних енергоносіїв біопаливом у комунальному та промисловому секторах призвело до пошуку нових джерел біомаси, здатних задовольнити зростаючий попит. Для енергетичних цілей використовують неділову деревину, відходи, що утворюються при її обробці та переробці та

сільськогосподарські відходи. Низька ефективність енергетичного застосування непідготовлених біопалив призводить до швидкого вичерпання цього відновлюваного ресурсу. Перспективним напрямом покращення теплотехнічних властивостей біомаси є гранулювання або брикетування. Цим шляхом пішли такі країни, як Австрія, Німеччина, Франція, Італія, Канада та ін. Гранули та брикети використовують як у промислових котельнях, ТЕС, так і в побуті. На сьогодні відзначається зростання випуску обладнання для ліній виробництва твердого біопалива. Традиційно технологія включає стадії подрібнення біомаси, сушіння та гранулювання.

Як було встановлено раніше [1], у процесі гранулювання на якісні показники гранульованого палива впливають розмір часток, гранулометричний склад, вологість, вологорізнця та структурно-механічні властивості біомаси. Продуктивність гранулятора підвищується при зменшенні розміру фракції часток. Збільшення частки дрібної фракції розміром 200–500 мкм у суміші дозволяє підвищити при гранулюванні кількість контактів між частками що припадає на одиницю об'єму. Останній показник визначає міцнісні властивості гранул. Вологість біомаси впливає на в'язкопластичні властивості біомаси.

Надмірна вологість сировини може спричиняти підвищення пружних деформацій гранул, що призведе до зменшення їх міцності та руйнування. Стадія сушіння зазвичай включає барабанну сушарку з додатнім кутом нахилу. Сушарки досить добре зарекомендували себе при сушінні сировини з постійними параметрами вологості на вході. Але оскільки основний період роботи лінії виробництва біопалива припадає на осінь, зиму та весну, для сировини властиві суттєві коливання вологості, що впливає безпосередньо на продуктивність сушарки.

Так при збільшенні вологості сировини на 10% продуктивність сушарки, а відповідно, і всієї лінії, може впасти на 20%. Вплинути на продуктивність сушильного обладнання можна шляхом підвищення ступеня подрібнення сировини, тобто, зменшивши середній розмір фракції. Стадія подрібнення зазвичай включає щепоріз та молоткову дробарку, узгоджені за продуктивністю лінії. Виходячи з викладеного вище, стадія подрібнення є невід'ємною та важливою складовою технологічного процесу переробки біомаси на паливо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Молоткові дробарки досить добре зарекомендували себе в технологіях виробництва біопалив. Простота конструкцій, надійність у роботі, широкий спектр продуктивності та високий ступінь подрібнення робить їх незамінними. Однак, відзначаючи їх переваги, не можна не виділити ряд суттєвих недоліків [2], першим із яких є високі питомі витрати енергії на процес подрібнення (до 50 кВт·год/т) тоді як оптимум за співвідношенням ціна-потужність знаходиться на межі 30–50 кВт·год/т.

У літературі мало інформації присвячено обґрунтуванню роботи стадії подрібнення в технологіях виробництва біопалив. Загальні підходи до визначення енерговитрат подрібнення біомаси в цілому базуються на використанні гіпотез подрібнення [2–5]. У праці [2–4] дано енергетичну оцінку

процесів подрібнення біомаси та зроблено висновки, що максимальну ефективність процесу подрібнення матимуть пристрої, де процес буде проходити мінімальними витратами на пружну деформацію матеріалу, що подрібнюється. У праці [4] запропоновано емпіричний підхід до визначення енерговитрат стадії подрібнення, який може бути застосований для розробки інженерних методик визначення енерговитрат стадії подрібнення, але для аналізу роботи стадії подрібнення біомаси потребує проведення експериментальних досліджень роботи молоткової дробарки.

Мета дослідження – розробити енергоефективні схеми стадії подрібнення в технологіях виробництва біопалив.

Для розробки та обґрунтування енергоефективної схеми стадії подрібнення в технологіях виробництва біопалив необхідно вирішити такі задачі:

- Провести теоретичний аналіз та обґрунтувати розрахункову методику визначення енергетичних витрат на подрібнення.
- Провести енергетичний аналіз стадії подрібнення та обґрунтувати стратегію подрібнення.

Матеріали і методи дослідження. На процес подрібнення впливають дуже багато факторів, які неможливо кількісно обрахувати, тому визначення витрат енергії на подрібнення суттєво ускладнене [2, 3]. У загальному випадку концентрації дефектів у тілі виникає тріщина з розмірами, що перевищують критичний, і тіло руйнується. Робота, яка затрачається на руйнування, частково затрачається на деформацію шматків і розсіюється у вигляді теплоти, а частково – на утворення нових поверхонь. Затрати на тепло є незначними і їх в аналітичних розрахунках не враховують.

Оцінку витраченої роботи на подрібнення з достатнім наближенням можна виконати за допомогою гіпотез подрібнення. Найбільшого розповсюдження набули три гіпотези подрібнення [2, 5], а саме: гіпотеза Ріттінгера або поверхневого подрібнення, Кірпічова – Кіка або об'ємного подрібнення, та гіпотеза Бонда, що узагальнює дві попередні гіпотези. Робота за гіпотезами подрібнення визначається на подрібнення окремого шматка сировини. Якщо прийняти кількість матеріалу Q , кг для випадку подрібнення у молотковій дробарці з початковим середнім розміром шматків D_{cep} , м, при подрібненні до кінцевого розміру d_{cep} , м, то кількість

шматків n , що надходять на подрібнення, можна визначити як $n = \frac{Q}{\rho \cdot D_{cep}^3}$.

Тоді, за гіпотезою Ріттінгера, роботу, що витрачається на подрібнення, можна визначити за залежністю:

$$A = \frac{Q}{\rho \cdot D_{cep}^3} K_p \cdot D_{cep}^2 \left(\frac{D_{cep}}{d_{cep}} - 1 \right) = K_p \frac{Q}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{d_{cep}} - \frac{1}{D_{cep}} \right); \quad (1)$$

робота для тих же умов за гіпотезою об'ємного подрібнення Кірпічова – Кіка може бути визначена за залежністю:

$$A = \frac{Q}{\rho \cdot D_{cep}^3} K_{\kappa\kappa} \cdot D_{cp}^3 \cdot \ln\left(\frac{D_{cp}}{d_{cep}}\right) = K_{\kappa\kappa} \frac{Q}{\rho} \cdot \ln\left(\frac{D_{cep}}{d_{cep}}\right); \quad (2)$$

робота за гіпотезою Бонда може бути визначена за залежністю:

$$A = \frac{Q}{\rho \cdot D_{cep}^3} K_{\sigma} \cdot D_{cep}^2 \left(\frac{D_{cep}}{d_{cep}} - 1\right) = K_{\sigma} \frac{Q}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{d_{cep}} - \frac{1}{D_{cep}}\right); \quad (3)$$

де $K_p, K_{\kappa\kappa}, K_{\sigma}$ – відповідні коефіцієнти пропорційності, які визначають питому роботу на подрібнення одиниці маси зразка;

ρ – густина сировини.

Для визначення коефіцієнтів пропорційності проведено серію досліджень з використанням молоткової лабораторної дробарки ММ-10м. Основні технічні характеристики наведено в табл. 1. При проведенні досліджень використовувалася деревина сосни, отримана після барабанної щепорізної машини ВК-ДН 400х1000 L-8WT «BRUKS Klöckner». Відбиралися проби масою до 4 кг. Дослідження проводилися для зразків з початковим розміром $D_{cep} = 20$ мм і вологістю 70%, 50%, 30%.

1. Технічні характеристики дробарки

№	Параметр	Значення
1.	Продуктивність, кг / год, не менше	400
2.	Кількість біл, шт.	8
3.	Фракційний склад, мкм	до 100
4.	Споживана потужність, кВт, не більше	5,5
5.	Напруга живлення від змінного струму, В	220±22
6.	Швидкість обертання ротора, об. / хв.	2200±100

Досліджувана сировина подавалася в дробарку після визначення потужності холостого ходу. Фіксувалася спожита потужність. Визначалася робота, яка витрачається при взаємодії робочого органу дробарки для подрібнення окремих шматків біомаси. Це дозволило оцінити характер впливу фізичних властивостей біомаси, таких як вологість та густина на енергоємність процесу її подрібнення. Через рівні інтервали часу роботи установки, що становили 15 або 20 с, установку вимикали, проводили ситовий аналіз та визначали середньозважену фракцію. Виходячи з того, що розмір часток є випадковою, нормально розподіленою величиною, при проведенні досліджень середньозважений розмір таких частинок визначали за формулою:

$$d_{cep}(\tau) = \sum_{i=1}^n m_i d_{icep}, \quad (4)$$

де m_i – масова частка кожної фракції подрібненого матеріалу, %;

n – кількість фракцій, %;

$d_{icep} = (d_1 + d_2) / 2$ – розмір частки деревини, що залишилися на ситі з діаметром отворів (d_2) і пройшли крізь сито з (d_1).

Вважалося, що тертя в підшипниках, тертя біл об повітря в кожному досліді постійні й враховані роботою холостого ходу за той самий час. Кількість біл не впливає на питому роботу подрібнення одиниці маси зразка, зі збільшенням кількості біл пропорційно зростатиме витрачена робота при зменшенні часу перебування часток в дробарці для досягнення однакового фракційного складу. Тоді робота витрачена на подрібнення може бути визначена за формулою:

$$A = \int_0^{\tau} (I(\tau)U(\tau) - I_{xx}U_{xx}) \cos \varphi \cdot d\tau, \quad (5)$$

де $U(\tau)$ – напруга в мережі;

$I(\tau)$ – сила струму;

U_{xx} – напруга в мережі при холостому ході;

I_{xx} – сила струму при холостому ході, $\cos \varphi = 0,90$.

Результати досліджень та їх обговорення. На рис. 1 а, б подано залежності роботи, витраченої на подрібнення та середнього розміру фракції від часу обробки в дробарці для деревини вологістю $W = 70, 50, 30\%$.

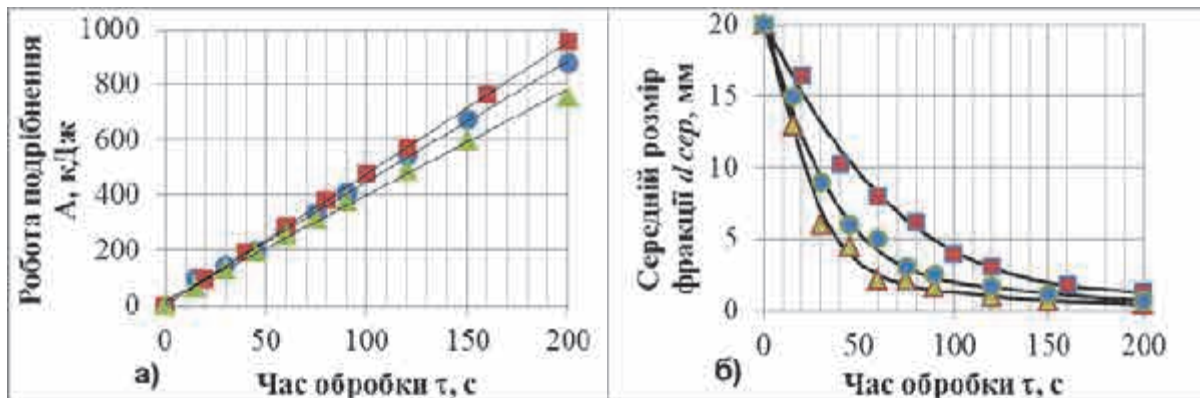


Рис. 1. Робота, витрачена на подрібнення деревини (а) та середній розмір кінцевої фракції деревини (б) залежно від часу перебування в дробарці, для вологості ■-70%, ●-50%, ▲-30%

З рис. 1 видно, що зі збільшенням вологості сировини зростає витрата енергії для отримання заданої фракції. Це пояснюється збільшенням коефіцієнта пружності вологої сировини згідно з положеннями гіпотези Кірпічова – Кіка [3]. За даними досліджень, з рівнянь (1–3) були визначені коефіцієнти пропорційності, що визначають питому роботу для інтервалу часу обробки до 200 с, що відповідають кожній з гіпотез подрібнення. Для випадку подрібнення деревини з вологістю 50% побудовані теоретичні залежності та дослідна залежність витраченої роботи за час τ (рис. 2).

Коефіцієнти кореляції між дослідними та теоретичними даними становили: за умови використання гіпотези Ріттінгера – 0,966, за умови використання гіпотези Кірпічова – Кіка – 0,97, за умови використання гіпотези Бонда – 0,997. В усьому діапазоні часу обробки найменшу похибку між результатами дослідження та розрахунковими даними мали залежності, отримані відповідно до гіпотези Бонда.

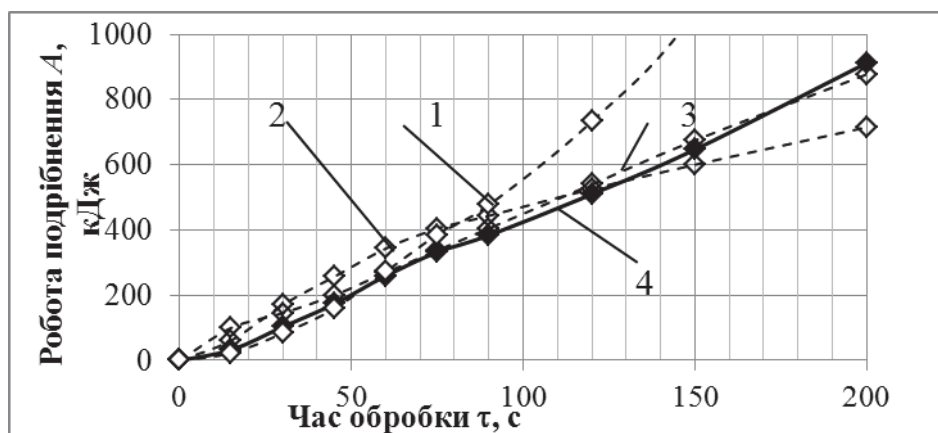


Рис. 2. Робота, витрачена на подрібнення деревини вологістю 50% залежно від часу перебування в дробарці. 1 – за гіпотезою Ріттінгера, 2 – за гіпотезою Кірпічова-Кіка, 3 – за гіпотезою Бонда, 4 – дослідні дані

У результаті математичного опрацювання результатів було одержано емпіричну залежність питомої роботи подрібнення від вологості сировини:

$$K_{\sigma}(W) = 24,7 \cdot W^{1.4}. \quad (6)$$

Залежність може бути використана в рівнянні (3), відповідно до гіпотези Бонда для аналізу процесів подрібнення (рис. 3):

$$A = K_{\sigma}(W) \cdot \frac{Q}{\rho} \left(\frac{1}{\sqrt{d_{cp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{cp}}} \right) = 24,7 \cdot W^{1.4} \cdot \frac{Q}{\rho} \left(\frac{1}{\sqrt{d_{cp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{cp}}} \right) \quad (7)$$

Теоретичний аналіз енерговитрат стадії подрібнення (рис. 3) свідчить, що при початковому розмірі щепи до 10 мм для одержання фракції розміром менше за 1 мм, з біомаси вологістю 70% необхідно витратити близько 80 кВт·год /т сировини, водночас, зменшивши вологість до 50 %, можна зменшити ці витрати до 50 кВт·год /т сировини, а для вологості менше, ніж 30% – близько 30 кВт·год /т сировини. На ринку України представлений спектр дробарок зі встановленою потужністю не більше, ніж 30 кВт при продуктивності 1 т/ год. Виходячи з даних рис. 3, граничні показники дисперсного складу біомаси вологістю 70– 50% в молоткових дробарках не будуть перевищувати 2–4 мм.

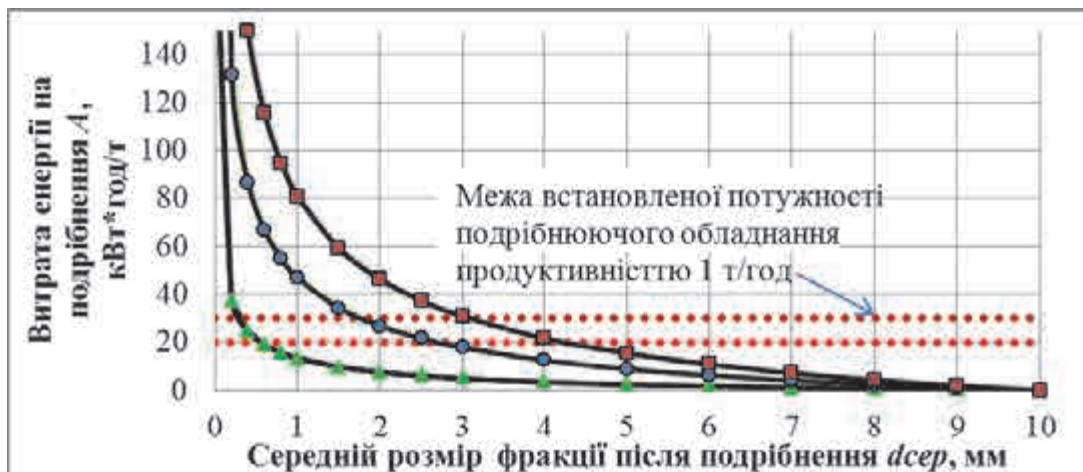


Рис. 3. Залежність енерговитрат в молотковій дробарці від ступеня подрібнення біомаси при одностадійному подрібненні в технологіях виробництва біопалив для вологості сировини ■-70%, ●-50%, ▲-30%

Для отримання фракції менше, ніж 1 мм, необхідно використовувати двостадійне подрібнення (рис. 4, схема 1). У цьому випадку, якщо дробарки стоять послідовно перед стадією сушіння, достатньо буде використовувати дві молоткові дробарки при роботі на максимальній потужності. Зменшити витрати на стадії подрібнення та одержати розмір фракції в межах 200–500 мкм можна реалізувавши наступну схему (рис. 4, схема 2): перша стадія подрібнення до середньої фракції 2 мм, стадія сушіння та друга стадія подрібнення висушеної до вологості 10–15%. Але чи потрібно подрібнювати всю біомасу до фракції 200–500 мкм? Як показали дослідження процесу гранулювання біомаси, достатнім є вміст 20–30% фракції розміром 200–500 мкм в суміші, що йде на гранулювання. Подальше збільшення вмісту дрібної фракції не веде до покращення умов пресування та властивостей гранульованого біопалива [1].

Останнє дає змогу запропонувати наступну енергоефективну технологічну схему (рис. 4, схема 3) виробництва біопалива, яка включає першу стадію подрібнення, далі йде стадія сушіння, після якої відбирається до 30% сухої біомаси вологістю не нижче, ніж 10%, та подрібнюється до розміру фракції 200 мкм. Запропонована технологічна схема 3 забезпечує стійку високопродуктивну роботу всього комплексу виробництва біопалива. Загальні витрати енергії на стадії подрібнення за останньою схемою не перевищують 25–30 кВт·год/т сировини, що вдвічі нижче, ніж електроспоживання на тонну сировини за попередніми схемами подрібнення.

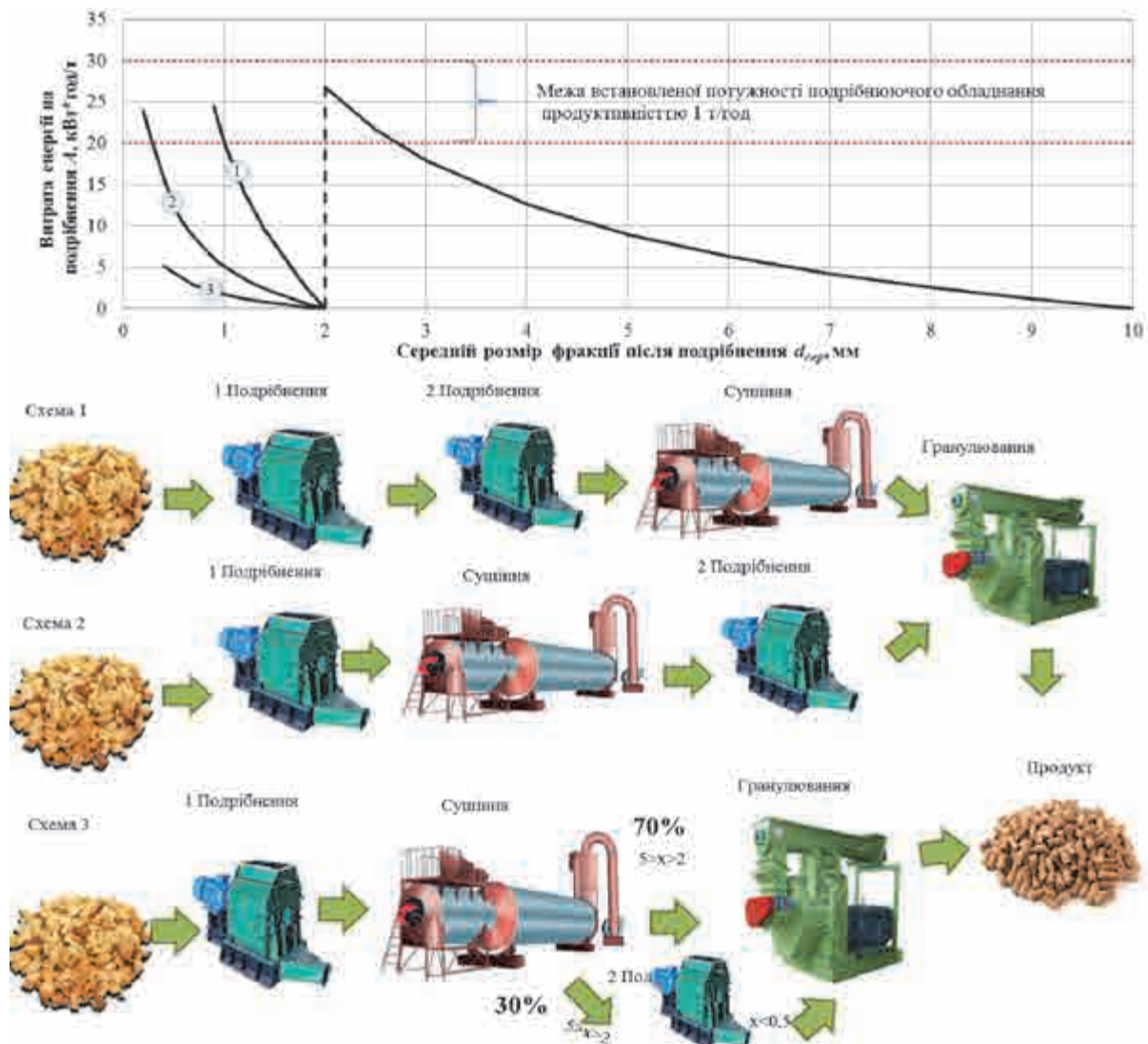


Рис. 4. Залежність енерговитрат та ступеня подрібнення від схеми подрібнення сировини в технологіях виробництва біопалив:

1 - при двостадійному подрібненні, 2 - при двостадійному подрібненні з проміжною стадією сушіння; 3 - при одностадійному подрібненні та доподрібненні 30% біомаси

Запропоновані розрахункові залежності та обґрунтування представлених технічних рішень проведені з використанням гіпотез подрібнення, які враховують лише базові принципи подрібнення, що є достатнім для розробки стратегічних підходів до стадії подрібнення, але не можуть бути використані для розрахунку та конструювання окремого подрібнюючого обладнання.

Висновки і перспективи. Найкраще узгодження з отриманими дослідними даними при визначенні енергоемності процесу подрібнення деревини сосни дає використання закону подрібнення Бонда (7). Визначено величину та залежність коефіцієнта пропорційності в рівнянні Бонда від вологості деревини. Встановлено, що збільшення вологості деревини призводить до зростання енерговитрат на стадії подрібнення.

Відповідно, зі збільшенням вологості сировини коефіцієнт подрібнення зменшується при однакових енерговитратах на процес.

Залучення в технологічний процес двостадійного подрібнення з проміжною ланкою сушіння дозволяє забезпечити максимальний ступінь подрібнення для ефективної роботи гранулятора, а використання на другій стадії подрібнення дробарки меншої продуктивності для подрібнення не більше, ніж 30% сировини (за масою) до розміру 200 мкм дає змогу при мінімальних енерговитратах стадії подрібнення забезпечити максимальну продуктивність технологічної лінії та високу якість кінцевого продукту. Даний підхід може бути використаний для подальших досліджень схемних рішень стадії подрібнення та вивчення енергоємності процесу дроблення в ширшому діапазоні вихідних даних (порід деревини та інших видів біомаси).

Список літератури

1. Снежкін Ю. Ф. Режимы пресування та їх вплив на якісні характеристики біопалива / Ю. Ф. Снежкін, Д. М. Корінчук, М. М. Безгін // Тези міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». – К. : Едельвейс, 2015. – С. 358–360.
2. Нанка О. В. Молотковые дробилки – достоинства и недостатки / О. В. Нанка, И. Г. Бойко // Доклады республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса АПК». – Минск : ГИВЦ Минсельхозпрома, 2012. – С. 116–121.
3. Нанка О. В. Теорії подрібнення і їх енергетична оцінка / О. В. Нанка, І. Г. Бойко // Вісник ХНТУСГ. – 2012. – Вип. 121. – С. 211–217.
4. Ефимова Е. В. Некоторые аспекты энергоёмкости процесса переработки древесной коры / Е. В. Ефимова, А. Р. Бирман, В. В. Швецова // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – Вып. № 4 (16). – С. 156–159.
5. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – М. : Химия, 1977. – 368 с.

References

1. Sniezhkin, Iu. F., Korinchuk, D. M., Bezghin, M. M. (2015). Rezhymy presuvannya ta yikh vplyv na yakisni kharakterystyky biopalyva [Pressing modes and their influence on qualitative characteristics of biofuels]. Tezy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti. Kyiv, Edelweis, 358–360.
2. Nanka, O. V., Boyko, I. G. (2012). Molotkovyye drobilki – dostoinstva i nedostatki [Hammer Crushers – Advantages and Disadvantages]. Doklady respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsiyi «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologiy, organizatsiyi tekhnicheskogo obsluzhivaniya APK. Minsk, GIVTS Minsel'khoproma, 116–121.
3. Nanka, O.V., Boiko, I. G. (2012)/ Teoriyi podribnennya i yikh enerhetychna otsinka [Theories of grinding and their energy assessment]. Visnyk KhNTUSH, 121, 211–217.
4. Yefimova, Ye. V., Birman, A. R., Shvetsova, V. V. (2012). Nekotoryye aspekty energoyemkosti protsessa pererabotki drevesnoy kory / Sistemy. Metody. Tekhnologii, 4(16), 156–159.
5. Sidenko, P. M. (1977). Izmel'cheniye v khimicheskoy promyshlennosti [Crushing in the chemical industry]. Moskow, Khimiya, 368.

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ СТАДИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА

Д. М. Коринчук

Аннотация. Традиционная технология производства биотоплива включает стадии измельчения биомассы, сушки и гранулирования. Стадия измельчения является неотъемлемой и важной составляющей технологического процесса переработки биомассы в топливо. Именно она определяет эффективность работы оборудования следующих стадий. Увеличение доли мелкой фракции размером 200–500 мкм в смеси позволяет повысить производительность сушильного оборудования, что связано с увеличением поверхности испарения частиц биомассы и обеспечить высокую производительность гранулятора повысив при гранулировании количество контактов между частицами биомассы.

Для определения энергозатрат стадии измельчения применены гипотезы измельчения. Проведена серия исследований процесса измельчения древесины сосны различной влажности. Получены зависимости степени измельчения и энергозатрат на процесс измельчения от времени пребывания сырья в дробилке. Установлено, что гипотеза измельчения Бонда максимально согласуется с зависимостями затраченной энергии на измельчение, полученными с помощью эксперимента.

Проведен энергетический анализ стадии измельчения с применением молотковой дробилки. Показано, что энергетические затраты на измельчение растут с ростом влажности сырья. Рекомендовано использование в технологическом процессе двухстадийного измельчения с промежуточным звеном сушки, что позволяет обеспечить максимальную степень измельчения для эффективной работы гранулятора, а использование на второй стадии измельчения дробилки меньшей производительности для измельчения не более 30% сырья (по массе) до размера 200 мкм позволяет при минимальных энергозатратах стадии измельчения обеспечить максимальную производительность технологической линии и высокое качество конечного продукта.

Ключевые слова: измельчение, биомасса, древесина, энергозатраты, гипотеза Бонда, двухстадийный, энерго-эффективность

JUSTIFICATION OF ENERGY CONSUMPTION DURING THE COMMINUTION STAGE IN THE TECHNOLOGIES OF BIOFUEL PRODUCTION

D. M. Korinchuk

Abstract. The traditional technology of biofuel production includes the stages of biomass comminution, drying and granulation. The comminution stage is

an essential component of processing biomass into fuel. This stage determines the efficiency of the equipment of the following stages. Increasing the part of small fraction of 200 ... 500 μm in the mixture allows increasing the productivity of drying equipment, which is associated with increasing the evaporation surface of biomass particles, and ensuring a high productivity of the granulator, increasing the number of contacts between particles of biomass during granulation.

The hypotheses of comminution are used to determine the energy consumption of the comminution stage. A series of studies of the process of comminuting pine wood with different humidity was carried out. The dependence of the degree of comminution and energy consumption on the time of staying the raw material in the crusher is obtained. It is established that the Bond's comminution hypothesis is as much as possible consistent with the dependences of the energy consumption for comminution obtained by experiment. An energy analysis of the comminution stage with a hammer mill was carried out.

It is shown that the energy consumption for comminution increases with increasing raw material humidity. It is recommended to use in the technological process two-stage comminution with an intermediate drying stage. That allows providing the maximum comminution rate for efficient operation of the granulator. Furthermore, using of a mill with smaller capacity in the second comminution stage for comminuting up to 30% of the raw material (by weight) to a size of 200 μm allows ensuring the maximum productivity of the production line and the high quality of the final product with minimal energy consumption for comminution stage.

Keywords: *comminution, biomass, wood, energy consumption, Bond's hypothesis, two-stage, energy efficiency*

УДК 004.94:664.1:658.7

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИРОВИНОЮ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

С. В. МАКОВЕЦЬКА, аспірант

С. В. ГРИБКОВ, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет харчових технологій

e-mail: svetlana_un@ukr.net

Анотація. *Проведено функціональне моделювання організації та виконання оперативного управління постачання сировини на цукровий завод, що дало змогу дослідити предметну область та виявити ключову задачу управління – складання розкладу постачання сировини, розв'язок якої забезпечить покращення техніко-економічних показників виробництва цукру, за рахунок оптимізації процесів приймання,*

an essential component of processing biomass into fuel. This stage determines the efficiency of the equipment of the following stages. Increasing the part of small fraction of 200 ... 500 μm in the mixture allows increasing the productivity of drying equipment, which is associated with increasing the evaporation surface of biomass particles, and ensuring a high productivity of the granulator, increasing the number of contacts between particles of biomass during granulation.

The hypotheses of comminution are used to determine the energy consumption of the comminution stage. A series of studies of the process of comminuting pine wood with different humidity was carried out. The dependence of the degree of comminution and energy consumption on the time of staying the raw material in the crusher is obtained. It is established that the Bond's comminution hypothesis is as much as possible consistent with the dependences of the energy consumption for comminution obtained by experiment. An energy analysis of the comminution stage with a hammer mill was carried out.

It is shown that the energy consumption for comminution increases with increasing raw material humidity. It is recommended to use in the technological process two-stage comminution with an intermediate drying stage. That allows providing the maximum comminution rate for efficient operation of the granulator. Furthermore, using of a mill with smaller capacity in the second comminution stage for comminuting up to 30% of the raw material (by weight) to a size of 200 μm allows ensuring the maximum productivity of the production line and the high quality of the final product with minimal energy consumption for comminution stage.

Keywords: *comminution, biomass, wood, energy consumption, Bond's hypothesis, two-stage, energy efficiency*

УДК 004.94:664.1:658.7

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИРОВИНОЮ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

С. В. МАКОВЕЦЬКА, аспірант

С. В. ГРИБКОВ, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет харчових технологій

e-mail: svetlana_un@ukr.net

Анотація. *Проведено функціональне моделювання організації та виконання оперативного управління постачання сировини на цукровий завод, що дало змогу дослідити предметну область та виявити ключову задачу управління – складання розкладу постачання сировини, розв'язок якої забезпечить покращення техніко-економічних показників виробництва цукру, за рахунок оптимізації процесів приймання,*

зберігання та переробки цукрових буряків з урахуванням генетико-детермінованих властивостей кожного типу гібриду.

Ключові слова: *функціональна модель, постачання сировини, структурний аналіз та проектування, CASE-засіб*

Актуальність. Виробництво цукру є одним із найскладніших процесів у харчовому виробництві. Отримання якісно-кількісних показників при виготовленні цукру залежить від ефективної організації виробництва для кожної конкретної партії цукрових буряків, починаючи від планування посівів коренеплодів на сировинних зонах до отримання готового продукту, тому що вона є унікальною, адже залежить від типу гібрида цукрового буряка та ґрунтово-кліматичних умов сировинної зони. Діяльність даного процесу виробництва цукру включає виконання функцій та операцій, що тісно пов'язані між собою та критично впливають одна на одну. Під час проектування, розробки, обслуговування чи керування роботою таких систем виникають доволі складні проблеми, пов'язані з нерозумінням протікання бізнес-процесів. Людина неспроможна повністю зрозуміти і охопити всі нюанси таких складних систем без спеціалізованих засобів моделювання та аналізу.

Ефективна модель бізнес-процесів постачання цукрового буряка на цукровий завод з конкретних сировинних зон відобразить опис логічних взаємозв'язків всіх елементів процесу від його початку до його кінця, забезпечить відображення поточних та передбачених майбутніх проблем даного процесу. За допомогою моделювання бізнес-процесу необхідно провести детальний аналіз процесу постачання коренеплодів на цукровий завод, що дасть можливість виявити фактори впливу на техніко-економічні показники ефективності роботи підприємства.

Враховуючи вищезазначене, актуальною задачею є моделювання бізнес-процесів організації та виконання оперативного управління постачання цукрових буряків на цукроприймальні пункти заводу для підтримки необхідних режимів роботи цукрового заводу, щоб забезпечити єдність та узгодженість виконання технологічних та виробничо-господарських функцій, для отримання максимального виходу високоякісного цукру.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результат роботи цукрового заводу цілком залежить від технологічної якості цукрового буряка, зокрема від генетико-детермінованих властивостей кожного типу гібрида та оптимізації постачання сировини на цукроприймальні пункти.

Зокрема, у публікації [1] проведено порівняльну характеристику підбору гібридів цукрових буряків, що дають змогу ефективно використати генетичний потенціал сучасних високоврожайних гібридів з високою технологічною якістю та забезпечать не тільки високу цукристість, а й, завдяки генетично обумовленим властивостям, здатні менше накопичувати кількість мелясо-утворюючих речовин. Автори роботи [2] розглядають раціональну організацію матеріально-технічного постачання цукрових заводів, також обґрунтовано комплекс заходів з оптимізації постачання сировини, що сприятиме скороченню виробничих витрат і

підвищенню економічної ефективності виробництва цукру, за рахунок формування системи партнерських відносин між цукровими заводами та постачальниками цукрових буряків та зниження на цій основі ризиків щодо виникнення кризових ситуацій.

У праці [3] проведено огляд CASE (Computer Aided Software Engineering) засобів для аналізу й проектування системи управління підприємством, що надають методології та методи, які застосовуються при аналізі, проектуванні, розробці та впровадженні системи управління.

Ефективність застосування методології структурного аналізу та проектування з використанням CASE-засобу ERwin Process Modeler для опису й створення моделей бізнес-процесів підприємства показано в публікації [4].

Проте на сьогодні стоїть питання більш детальної розробки та моделювання бізнес-процесів з урахуванням «вузьких» місць в організації та управлінні виробничих процесів з використанням методів візуалізації бізнес-процесів.

Мета дослідження – побудова функціональної моделі опису бізнес-процесів, що виникають при управлінні та організації забезпечення сировиною цукрового заводу, проведення їх аналізу та визначення «вузьких» місць, що впливають на техніко-економічні показники виробництва цукру.

Матеріали і методи дослідження. Цукрові буряки є одночасно кінцевим продуктом бурякосійних господарств і сировиною для цукрових заводів, тому техніко-економічні показники виробництва цукру напряму залежать від технологічної якості коренеплодів. Головною задачею доцільно виокремити організацію ефективного постачання сировини на завод з конкретних сировинних зон для забезпечення безперервного ритмічного виробничого процесу з мінімальними витратами для кожної партії цукрового буряка.

Управління та організація забезпечення коренеплодами цукрового заводу є підмножиною загальної ієрархії системи управління заводу в цілому. Вона тісно пов'язана з іншими підрозділами заводу. Для концентрації уваги безпосередньо на системі управління заготівлі сировиною встановлено обмеження об'єкта моделювання від проведення передзбиральних досліджень коренеплодів на сировинних зонах цукрового заводу до визначення фізико-хімічних властивостей цукрових буряків, які надходять у виробництво після зберігання, що дало змогу виключити з розгляду сторонні об'єкти, що лежать поза її межами.

Для моделювання предметної області авторами обрано CASE-засіб ERwin Process Modeler, що підтримує процеси аналізу і формування вимог до складних систем різного призначення, створення і супроводження інформаційних систем, проектування прикладного програмного забезпечення [5, с. 123].

При функціональному моделюванні системи управління та організації забезпечення сировиною цукрового заводу розглядаємо її як сукупність взаємодіючих бізнес-процесів і зв'язків між ними, з

урахуванням таких системних характеристик, як управління, зворотній зв'язок та виконання.

Функціональну модель «Управління та організація забезпечення сировиною цукрового заводу» розроблено з необхідним ступенем деталізації функції системи, з використанням методології структурного аналізу IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Побудована функціональна модель складається з ієрархічно організованого комплексу діаграм, опису даних, словника та необхідних звітів.

Побудова моделі починається з контекстної діаграми, що розташована на вершині деревовидної структури діаграм та представляє собою загальний опис головного бізнес-процесу «Організація та управління забезпечення сировиною цукрового заводу» й взаємодію його із зовнішнім середовищем.

Для деталізації та дослідження головного бізнес-процесу проводиться розбиття на складові, що представляє собою діаграму декомпозиції першого рівня з використанням методології IDEF0 (рис.1), на якій відображені наступні бізнес-процеси: «Проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах», «Планування збору та доставки коренеплодів з сировинних зон», «Прийом цукрових буряків та їх складування», «Формування звітної документації та аналіз надходження». Між окремими функціональними блоками встановлюються зв'язки, що відповідають логіці послідовності виконання бізнес-процесів та відображують інформаційно-матеріальні потоки на даному рівні декомпозиції.

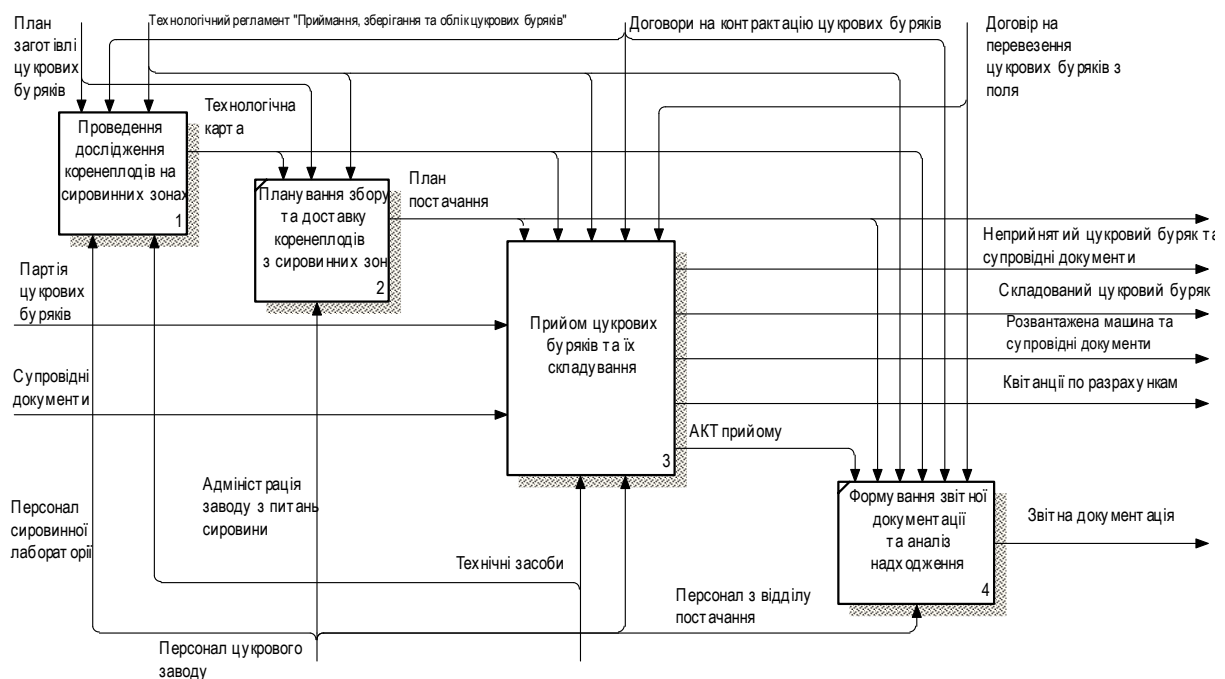


Рис. 1. Діаграма декомпозиції першого рівня

Перший функціональний блок «Проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах» відображує проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах цукрового заводу, що здійснюється

робітниками сировинної лабораторії цукрового заводу під керівництвом начальника сировинної лабораторії спільно з інженером-хіміком по сировині. На основі результатів передзбиральних аналізів посівів цукрового буряка складають технологічну карту, що показана на діаграмі вихідним ресурсом «Технологічна карта». По сукупності даних хіміко-фітопатологічних обстежень посівів цукрового буряка на сировинних зонах заступник директора по сировині цукрового заводу встановлює черговість збирання та доставки коренеплодів на основі інформаційного ресурсу «План постачання» сировини на завод, що представлено на діаграмі бізнес-процесом «Планування збору та доставки коренеплодів з сировинних зон». Наступною функцією є «Прийом цукрових буряків та їх складування», що потребує наступні ресурси: «Партія цукрових буряків», що представлені машинами з коренеплодами цукрових буряків; «Супровідні документи» на відповідну партію коренеплодів. Виконання даного бізнес-процесу здійснюють механізми «Персонал з відділу постачання» та «Технічні засоби», у результаті маємо такі наступні вихідні ресурси: «Неприйнятий цукровий буряк та супровідні документи» – партія або машина з коренеплодами цукрових буряків, що не відповідає вимогам ДСТУ 4327:2013 «Коренеплоди цукрового буряка для промислового перероблення. Технічні умови»; «Складований цукровий буряк» розміщені коренеплоди у кагатах для зберігання чи на сплавну площадку для подачі на виробництво «Розвантажена машина та супровідні документи» – розвантажена машина з кондиційною сировиною, та відповідні супровідні документи з внесеними показниками на прийняття партії коренеплодів цукрових буряків; «Квитанції по розрахунках» – сформована квитанція для сплати за прийняту сировину від постачальника; «Акт прийому та Відомість надходження цукрового буряка в кагати», в якому зафіксовано прийом сировини від постачальника, що буде використано для аналізу надходження сировини та планування ефективного її використання.

За результатами прийому коренеплодів цукрових буряків та їх складування заступник директора по сировині та працівники бухгалтерії цукрового заводу формують «Звітну документацію» при виконанні бізнес-процесу «Формування звітної документації та аналіз надходжень», що вміщує не тільки статистичні дані щодо прийому сировини за певний період, а також результати аналізу цього процесу для покращення організації забезпечення сировиною цукрового заводу на майбутні періоди.

Для більш детального дослідження та аналізу бізнес-процесів даної предметної області декомпозицію функції «Проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах» (рис. 2) здійснено з використанням методології DFD (Data flow diagrams). Вибір та використання даної методології дає змогу більш ефективно і наочно описати процес перетворення інформаційних потоків при їх отриманні з джерел інформації, які представлені паперовою документацією та записами у базі даних інформаційних систем підприємства.

Даний підхід дозволяє продемонструвати процес перетворення вхідних потоків даних у вихідні за певної послідовності виконання п'яти бізнес-

[illegible]

Бізнес-процес «Визначення генетико-детермінованих властивостей посіву коренеплоду» складається з передзбиральних хіміко-патологічних обстежень стану посівів та спрямований на визначення ряду показників технологічної якості коренеплодів цукрових буряків у відповідній сировинній зоні для отримання комплексу характеристик ефективності вироблення з них цукру, що відображені у наступних інформаційних потоках: «Звіт про результати передзбирального обстеження посівів коренеплодів»; «Довідка про масу коренеплодів». Інформаційний потік «Звіт про результати передзбирального обстеження посівів коренеплодів» є вхідним для бізнес-процесу «Прогнозування виходу цукру до маси коренеплодів», що забезпечує формування «Прогнозованого виходу цукру» при переробці на заводі з урахуванням типу гібриду та певної сировинної зони.

105

домішок. Дані довідки використовуються для здійснення функції «Прогнозування витрат на зберігання та транспортування коренеплодів».

Інформаційні потоки «Прогнозований вихід цукру», «Довідка про масу коренеплодів», «Довідка про забрудненість коренеплодів», «Тариф на перевезення коренеплодів з поля» та «Відстань від сировинної зони до заводу» забезпечують виконання бізнес-процесу «Прогнозування витрат на зберігання та транспортування коренеплодів», що здійснюється відповідно для кожної сировинної зони, а результатом є «Прогнозовані витрати на зберігання та транспортування» для виконання кінцевого бізнес-процесу на даній діаграмі «Прогнозування виробітку цукрози з 1 га посівів коренеплодів».

Результуючим головним інформаційним потоком даного рівня є «Технологічна карта», що складається на основі даних передзбиральних хіміко-фітопатологічних обстежень на пробних ділянках посівів цукрового буряка та визначає прогнозовані об'єми заготівлі сировини з послідовністю оптимальних термінів збору й розподілу цукрового буряка з урахуванням технологічної якості гібридів коренеплодів на категорії по термінах зберігання та переробки [1]. Головним показником при формуванні технологічної карти є цукроза, що визначає якість цукрових буряків. Чим вища цукристість, тим кращі технологічні якості цукрових буряків.

Діаграма декомпозиції «Прийом цукрових буряків та їх складування» має у своєму складі п'ять бізнес-процесів: «Реєстрація та візуалізація партії цукрових буряків», «Визначення маси бруто вантажу», «Визначення фізико-хімічних показників», «Розвантаження, визначення маси Нетто та складування прийнятого цукрового буряка» та «Облік поставок» (рис. 3).

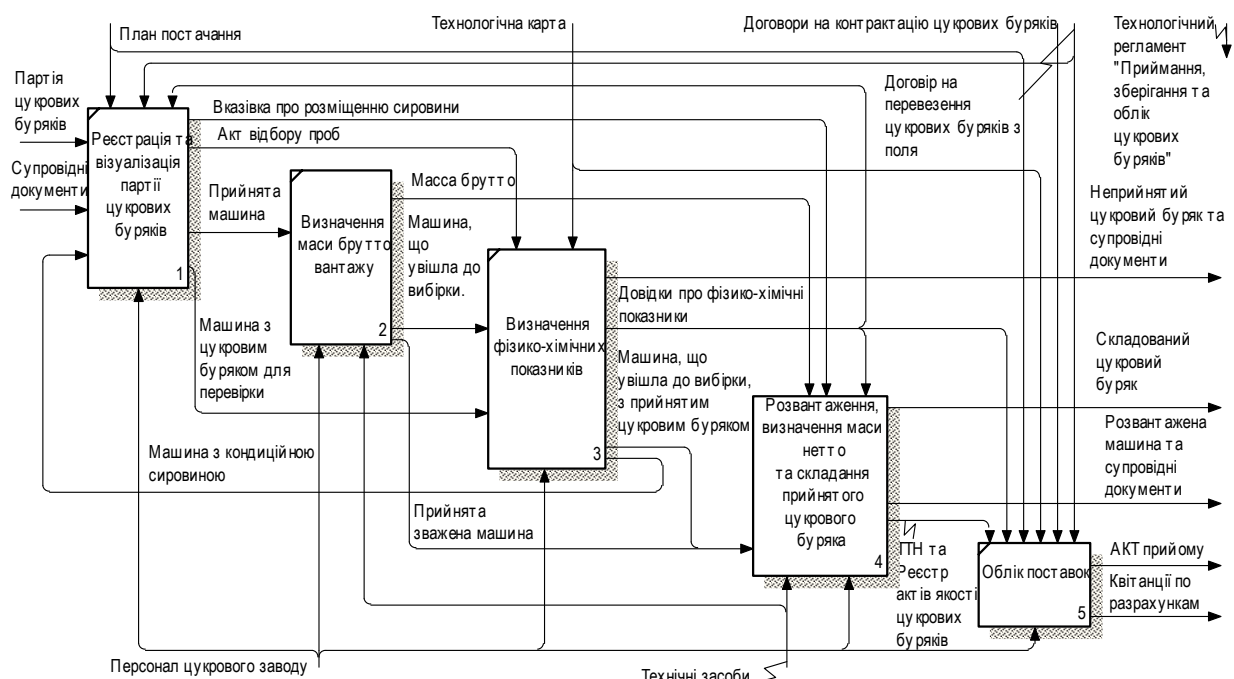


Рис. 3. Діаграма декомпозиції «Прийом цукрових буряків та їх складування»

Першою за чергою є функція «Реєстрація та візуалізація партії цукрових буряків» для кожної транспортної одиниці з «Партії цукрових буряків», що надійшла на територію цукроприймального пункту цукрового заводу з певної сировинної зони та має відповідні «Супровідні документи», спрямовується на контрольну площадку, де підлягає реєстрації та візуальному огляду оператором-контролером з метою виконання наступних функцій: оцінка однорідності партії коренеплодів; визначення відповідності технічним вимогам за органолептичними показниками; виявлення вмісту загнилих, муміфікованих буряків, зеленої маси і коренеплодів зі значними механічними пошкодженнями. Якщо контролер-оператор за рахунок візуального огляду виявить неоднорідну якість цукрових буряків, невідповідність вимогам по ботанічних ознаках, партію відправляють в сировинну лабораторію для проведення проб і аналізів відповідно до технічних вимог «Коренеплоди цукрового буряка для промислового перероблення. Технічні умови» ДСТУ 4327:2013, що входять до нормативної документації, яка регламентує роботу всього процесу.

При візуальному огляді цукрового буряка, який відповідає технічним вимогам, у товаротransпортній накладній зазначають місце майбутнього вивантаження коренеплодів з указаним номером кагатуукладочної машини, що відображено на виході ресурсом «Вказівка про розміщення сировини». Контролер-оператор здійснює відбір транспортних одиниць до вибірки згідно з установленим порядком. Водію транспортної одиниці, що потрапив у вибірку, видається бланк акта відбору проби цукрових буряків для визначення фізико-хімічних показників, показаний вихідним ресурсом «Акт відбору проб».

Кожну транспортну одиницю з цукровими буряками після контрольної площадки направляють на ваговий пункт для проведення бізнес-процесу «Визначення маси бруто вантажу» у тонах згідно з «Правилами зважування цукрового буряка». Ресурсами-механізмами даної функції є «Працівники сировинного відділу» та «Технічні засоби». Ресурсами-управління цією функцією є «Правила зважування цукрового буряка». Зважена транспортна одиниця, що не увійшла до вибірки, направляється до кагатуукладочної машини для розвантаження, а транспортна одиниця що увійшла у вибірку направляється в сировинну лабораторію, де проводять відбір проб для аналізу на відповідність технічним вимогам.

Бізнес-процес «Визначення фізико-хімічних показників коренеплодів» забезпечує проведення працівниками сировинної лабораторії відповідних аналізів та тестів під управлінням Інструкції по хіміко-технологічному контролю і обліку цукрового виробництва та нормативно-технічного акта «Цукор. Правила приймання та методи відбирання проб» ДСТУ 3824-2014. Результатом даного бізнес-процесу є: «Довідка про фізико-хімічні показники» прийнятої партії цукрових буряків; «Машина, що потрапила до вибірки, з прийнятим цукровим буряком» направляється до пункту розвантаження; «Неприйнятий цукровий буряк та супровідні документи» направляються до постачальника з актом про невідповідність цукрових буряків у даній транспортній одиниці та відповідною позначкою в товарно-транспортній накладній; «Машина з кондиційною сировиною», це транспортний засіб із

сировиною, що при візуальному огляді сировина не підлягала сумніву на кондиційність, та повертається до пункту прийому для реєстрації з «Довідкою про фізико-хімічні показники».

Для здійснення бізнес-процесу «Розвантаження, визначення маси нетто та складання прийнятого цукрового буряка» використовуються такі ресурси: управляючі – «Маса брутто», «Довідка про фізико-хімічні показники», «Вказівка про розміщення сировини»; механізми – «Технічні засоби» та «Персонал сировинного відділу»; вихідними ресурсами – «Складований цукровий буряк», «Розвантажена машина та супровідні документи» та «Товарно-транспортна накладна, Реєстр актів якості цукрових буряків», що є керуючим ресурсом для функції «Облік поставок».

Бізнес-процес «Облік поставок» здійснюється кожного дня формування наступних документів: «Акт прийому» відображує всі аспекти виконання бізнес-процесів протягом дня, а також якісні та кількісні показники прийнятого цукрового буряка за добу по кожному постачальнику; «Відомість обліку надходження цукрового буряка в кагати» містить відомості про обсяги надходжень та показники цукристості цукрових буряків на завод і укладання партій коренеплодів у кагати; «Квитанції по розрахунках» формується бухгалтерією на основі визначених забрудненості та цукристості прийнятого цукрового буряка від постачальника.

Для більш детального аналізу в моделі використано структурований метод IDEF3 (Workflow diagramming), що надає можливість повністю охопити всі тонкощі даної предметної області та детально її вивчити.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз побудованої функціональної моделі дає можливість стверджувати, що бізнес-процес «Організація та управління забезпечення сировиною цукрового заводу» належить до складних систем і характеризується наступними ознаками: складна внутрішня організація з ієрархічною структурою; наявність підсистем з функціональним характером діяльності; складні організаційні відносини і форми зв'язків.

У процесі моделювання було виявлено основні задачі в організації оперативного управління для підтримки необхідних режимів роботи цукрового заводу, з яких доцільно виокремити складання графіку збирання та надходження коренеплодів цукрового буряка із сировинних зон з урахуванням їх генетико-детермінованих властивостей для підвищення ефективності переробки, охоплюючи весь період від етапу збирання до кінця переробки.

Для вирішення даної задачі важливу роль відіграє технологічна якість цукрових буряків. Крім цього, необхідно виділити показник ефективності цукробурякового виробництва, що є розрахунком виходу цукру на 1 га посівів цукрового буряка, який залежить від: погоднокліматичних умов вирощування та збирання, урожайності; цукристості; забрудненості; мелясоутворюючих речовин та інших показників технологічної якості сировини, що залежать від ефективності організації та проведення збору, транспортування й зберігання; ефективності використання виробничої потужності цукрового заводу.

Висновки і перспективи. Побудована функціональна модель організації та виконання оперативного управління постачання сировини на цукровий завод для забезпечення єдності й узгодженості дала змогу проаналізувати технологічні та виробничо-господарські бізнес-процеси даної предметної області в повному обсязі з урахуванням «вузьких» місць, що мають прямий вплив на показники ефективності виробництва. У результаті аналізу функціональної моделі було виявлено багатокритеріальну задачу оптимізації постачання сировини на цукровий завод, адже при її розв'язку необхідно враховувати характеристики багатьох критеріїв з урахуванням генетико-детермінованих властивостей гібридів цукрових буряків та параметрів протікання процесів, що впливають на технологічну якість сировини в певному обсязі. Загальний критерій задачі спрямований на мінімізацію втрат цукристості в коренеплодах цукрових буряків, що неминучі при їх постачанні, прийманні та зберіганні.

Щодо результатів моделювання та аналізу слід зазначити, що при ефективному плануванні використання сировини поточного сезону дасть можливість здійснити більш детальний аналіз її використання, що забезпечить ефективне планування посівів цукрових буряків на сировинних зонах на наступні сезони. Даний процес забезпечить покращення техніко-економічних показників, пов'язаних з прийманням, зберіганням та переробкою коренеплодів на цукровому заводі з урахуванням його технічно-виробничих характеристик.

Список літератури

1. Свидинюк І. М. Шляхи підвищення ефективності виробництва цукру / І. М. Свидинюк, О. Ю. Лупекіна // Цукор України. – 2014. – № 7 (103). – С. 6–9.
2. Загоруйко В. Л. Управління постачанням цукрового виробництва / В. Л. Загоруйко, О. В. Ковальчук // Економічний форум. – 2014. – № 1. – С. 33–38.
3. Егорова А. А. Информационные системы: методы и средства проектирования / А. А. Егорова, С. А. Козлов // Научный вестник МГТУГА. – 2006. – № 105. – С. 84–92.
4. Титова Е. Моделирование бизнес-процессов с помощью инструментальных методов / Е. Титова, Р. Вейнберг // Логистика. – 2011. – № 5. – С. 17–20.
5. Маклаков С. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite / С. Маклаков. – М. : Диалог-МИФИ, 2003. – 432.

References

1. Svydnyiuk, I. M., Lupiekina, O. Yu. (2014). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vyrobnytstva tsukru [Ways of improving efficiency of sugar production]. Ukraine Sugar, 7 (103), 17–22.
2. Zahoruiko, V. L., Kovalchuk, O. V. (2014). Upravlinnia postachanniam tsukrovoho vyrobnytstva [Management of sugar production supply]. Economic forum, 1, 33–38.
3. Egorova, A. A., Kozlov, S. A. (2006). Informatsionnuie sistemui: metodui i sredstva proektirovaniya [Information system: bulding methods and toos]. Nauchnui vestnik MGTUGA, 105, 84–92.

4. Titova, E., Veinberg, R. (2011). Modelirovanie biznes-protsessov s pomoshchyu instrumentalnykh metodov [Modeling business processes with instrumental methods]. Logistics, 5, 17–20.

5. Maklakov, S. (2003). Sozdaniye informatsionnykh sistem s AllFusion Modeling Suite [Developing Information Systems with AllFusion Modeling Suite]. Dialog-MIFI, 432.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЫРЬЕМ САХАРНОГО ЗАВОДА

**С. В. Маковецкая,
С. В. Грибков**

Аннотация. Проведено функциональное моделирование организации и выполнения оперативного управления поставки сырья на сахарный завод, что дало возможность исследовать предметную область и выявить ключевую задачу управления – составление расписания поставки сырья, решение которой обеспечит улучшение технико-экономических показателей сахарного производства за счет оптимизации процессов приема, хранения и переработки сахарной свеклы с учетом генетико-детерминированных свойств каждого типа гибрида.

Ключевые слова: функциональная модель, поставка сырья, структурный анализ и проектирование, CASE-средство

FUNCTIONAL MODELING OF THE ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF SUPPLY OF RAW SUGAR FACTORY

**S. V. Makovetska,
S. V. Hrybkov**

Abstract. Functional modeling of the organization and implementation of the operational management of raw materials supply to the sugar refinery has been carried out, which allowed us to examine the subject area and identify the key task of the management – the scheduling of raw materials supply, the solution of which will improve the technical and economic indicators of sugar production by optimizing the processes of acceptance, storage and processing of sugar beet, taking into account their genetically determined properties of each type of hybrid.

Keywords: functional model, raw material supply, structural analysis and design, CASE-tool

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Л. С. ЧЕРВІНСЬКИЙ, доктор технічних наук, професор

Т. С. КНИЖКА, кандидат технічних наук, асистент

О. І. РОМАНЕНКО, старший викладач

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: lchervinsky@gmail.com

Анотація. Розглянуто переваги та обґрунтовано доцільність застосування різних світлодіодних джерел освітлення для створення ефективних світлових режимів у спорудах закритого ґрунту для отримання максимально можливої продуктивності рослин. Досліджено спектральний склад світлодіодів та їх вплив на зростання рослин.

Встановлено, що під дією світлодіодного освітлення найбільше підвищення схожості насіння дослідного виду спостерігалось при доопроміненні комбінованим спектром випромінювання з відношенням 65% червоного спектра та 35% синього. Використання комбінованих світлодіодних ламп зумовлює підвищення інтенсивності росту рослин та збільшення їх ефективної маси, що підтверджує перевагу використання світлодіодних ламп над іншими типами ламп, які використовуються для доосвітлення рослин в спорудах закритого ґрунту.

Ключові слова: ефективність, продуктивність, світлодіодні лампи, режими освітлення, споруди закритого ґрунту

Актуальність. Відомо, що оптичне випромінювання, як фактор зовнішнього середовища, значною мірою впливає на зростання, розвиток і продуктивність рослин.

Аналіз структури енергоспоживання теплиць свідчить, що найбільш енергоємними є процеси опромінення та обігріву рослин. Близько 40% електроенергії, яку споживають тепличні господарства, використовується для опромінення, тому раціонально шукати шляхи підвищення рентабельності підприємств, а відтак і збільшення овочевої продукції, за рахунок енергоощадного виробництва.

Крім того, необхідно пам'ятати, що на сьогодні основним напрямом розвитку сільського господарства є інтенсифікація, яка передбачає переважне підвищення врожайності культур замість нарощування площ під ними. У цьому відношенні важливе значення має забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату теплиць, до яких належить і якість опромінення рослин. Тому доцільно детальніше вивчити вплив якісних параметрів освітлення (спектр та інтенсивність) на процес зростання та морфологічного розвитку рослин. Використання у традиційних технологіях

опромінення рослин принципово нових джерел світла – світлодіодів, дасть змогу значно збільшити показники кінцевої врожайності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивченню питань впливу оптичного випромінювання на розвиток і продуктивність рослин присвячені дослідження багатьох вчених. Доведено, що для нормального росту та розвитку рослин необхідне світло певного спектрального складу та достатньої інтенсивності впродовж визначеного часу. Вплив світла на врожай найбільш значущий і компенсувати нестачу освітленості з економічних причин більш проблематично порівняно з компенсацією нестачі інших факторів. Інтенсивність світла, необхідного для нормального протікання процесу фотосинтезу, залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є вид рослини, фенологічна фаза розвитку, співвідношення тривалості дня і ночі, газовий склад, температура і вологість повітря.

Рослини сприймають довжини хвиль не так, як людина. З рис.1 видно, що для них життєвонеобхідними є червоні (720–600 нм) і помаранчеві (620–595 нм) промені [1, 2]. Саме вони є головним джерелом енергії для фотосинтезу і значно впливають на швидкість з якою рослини розвиваються. Сині та фіолетові промені (490–380 нм), не лише беруть участь у фотосинтезі, а і стимулюють утворення білків і регулюють темпи розвитку рослини. Жовті (595–565 нм) та зелені (565–490 нм) промені не відіграють важливої ролі в розвитку рослини, проте вони є важливими для людей [2].

Спектральний склад світла впливає на швидкість протікання біохімічних реакцій рослин: ультрафіолетові промені (довжина хвилі – 380–400 нм) сприятливі для розсади і небажані в період активної вегетації і плодоношення,

жовтогарячі і червоні хвилі (595–750 нм) сприяють інтенсивному накопиченню біомаси та ранньому цвітінню. Збільшення у спектрі синьо-фіолетових променів (400–490 нм) активізує процеси плодоношення [1, 2]. Жовто-зелені хвилі найменше поглинаються рослинами, викликають збільшення витрат енергії на дихання.

Енергія світла абсорбується хлорофілом та каротиноїдами в листках рослин. Ця енергія використовується для вироблення цукрози з вуглекислого газу (CO_2), що поглинається листям. Встановлено, що джерелом енергії для фотосинтезу є переважно червоні промені світлового діапазону. Це підтверджує спектральна активність фотобіологічних процесів у фотоморфогенезі (формування

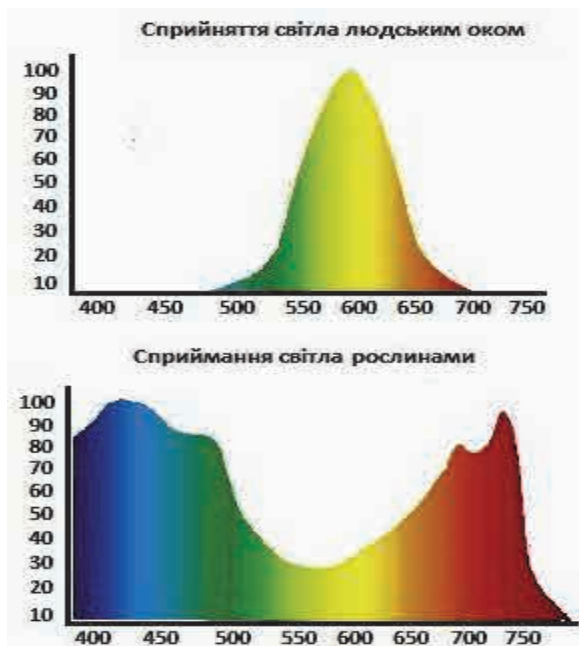


Рис. 1. Спектральна характеристика світла

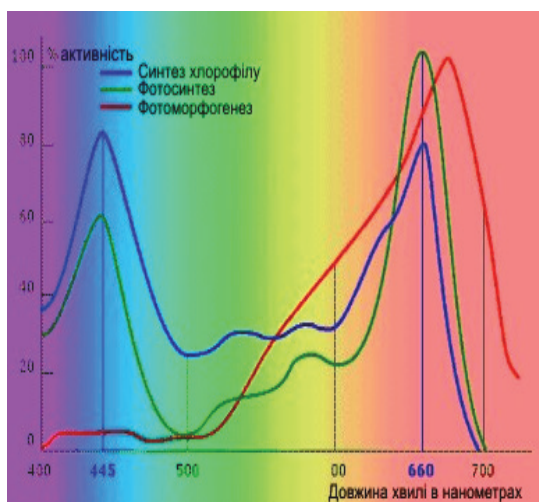


Рис. 2. Спектральна активність фотобіологічних процесів у фотоморфогенезі

«урожайності»), позначена на рис. 2 червоним кольором. Як видно з графіка, найбільш інтенсивна смуга поглинання спостерігається в червоній області спектра, і майже зовсім не поглинається зелено-синьо-фіолетовою областю.

Мета дослідження – встановити спектральний склад світлодіодних джерел світла та їх вплив на зростання й продуктивність рослин захищеного ґрунту.

Матеріали і методи дослідження. У процесі дослідження використано методи фотометрії, математичного моделювання та системного аналізу.

Результати пророщування насіння салату при опроміненні різними світлодіодними джерелами

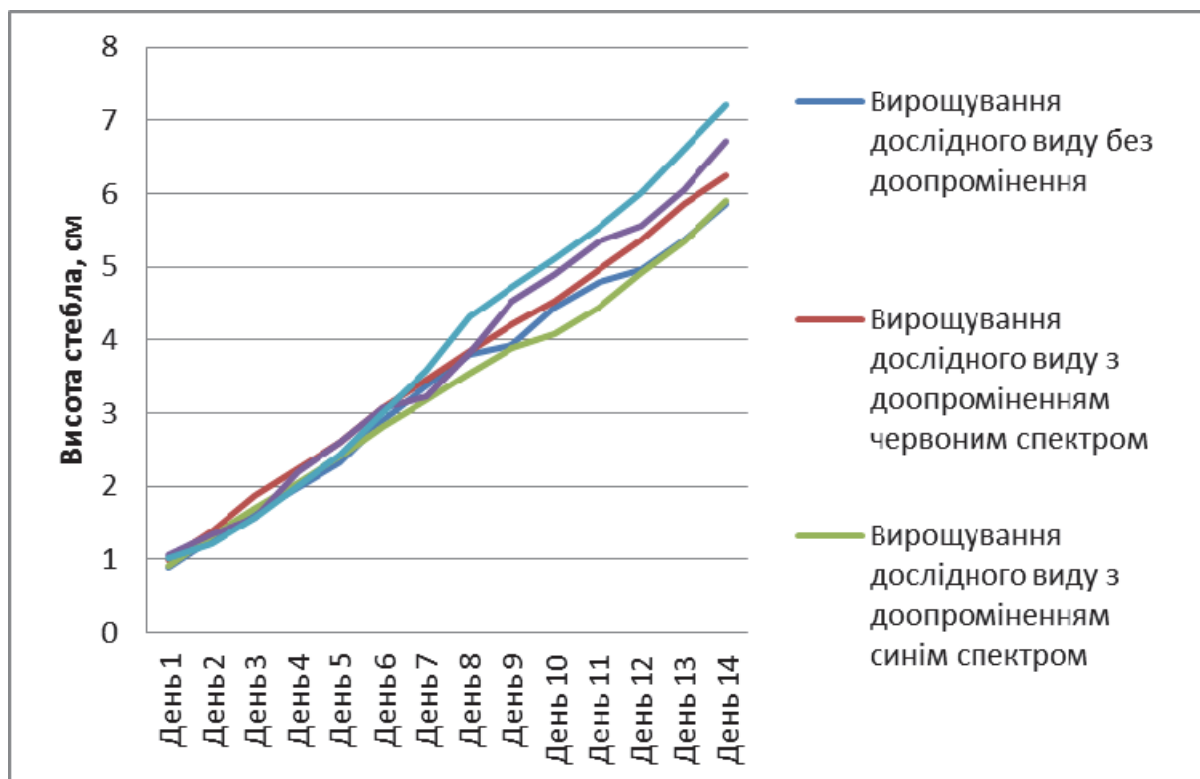
Назва досліду	Довжина хвиль опромінення, нм	Світловий потік, лм	Кількість здорових пророщених насінин			
			1	2	3	Середнє значення
Пророщення насіння без доопромінення	-	-	59	64	68	63,7
Пророщення насіння з доопроміненням червоним спектром випромінювання	625	864	64	68	62	64,7
Пророщення насіння з доопроміненням синім спектром випромінювання	460	864	63	66	70	66,3
Пророщення насіння з доопроміненням комбінованим спектром випромінювання (50% червоного та 50% синього)	Синій – 460 Червоний – 625	Синій – 432 Червоний – 432	65	69	74	69,3
Пророщення насіння з доопроміненням комбінованим спектром випромінювання (65% червоного та 35% синього)	Синій – 460 Червоний – 625	Синій – 302 Червоний – 562	68	78	73	73

Результати дослідження та їх обговорення. Новітні світлодіодні (LED) технології дають змогу створювати світло будь-якого кольору та інтенсивності. Використовуючи світлодіоди різного кольору в різних пропорціях можна сформувати світильники, що даватимуть необхідну кількість світла тільки того діапазону, який активно споживається рослинами. Це буде сприяти швидкому й гармонійному розвитку рослин [3].

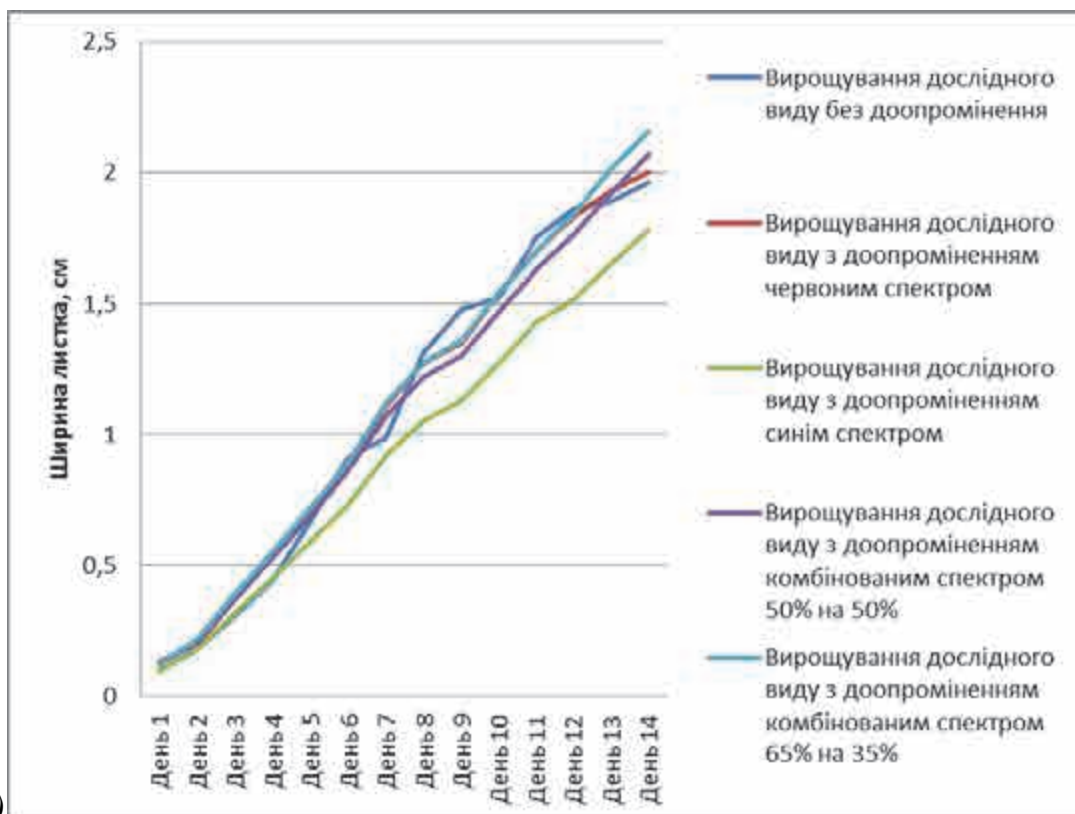
Для проведення досліджень було використано експериментальну установку зі світлодіодними модулями. Експерименти проводились у лабораторії за постійної вологості повітря 70%, вологості ґрунту 65% температури середовища – 18°C та сталого режиму роботи (16 годин опромінення). Дослідним видом було обрано салат, обґрунтовуючи це високими темпами росту та невибагливістю до умов мікроклімату. Оптимальними умовами мікроклімату для вирощування салату є: температура повітря 15–20 °C, вологість повітря 70–80%, вологість ґрунту 60–70% [3, 4, 5].

У таблиці наведено результати пророщування насіння салату під опроміненням різних світлодіодних джерел.

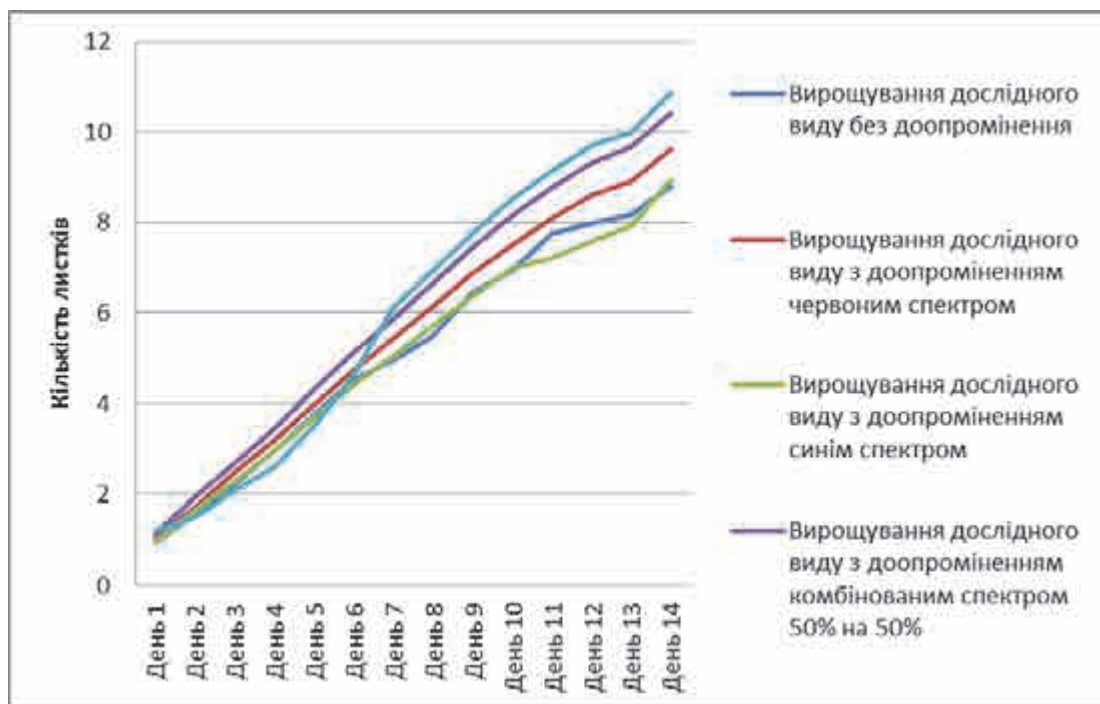
Нижче (рис. 3) показано результати польових експериментальних досліджень залежності біометричних показників дослідного виду від зміни спектра опромінення.



а)



б



в)

Рис. 3. Залежності зміни біометричних показників дослідного виду від зміни спектра доопромінення:

а – висоти стебла; б – ширини листка; в – кількості листків

На графіках чітко виражений позитивний вплив різних спектрів світлодіодного доопромінення рослин на їхні біометричні показники.

Висновки і перспективи. На підставі проведених досліджень відзначено позитивний вплив світлодіодного доопромінення з комбінованим спектральним складом, а саме:

- при вирощуванні дослідного виду з доопроміненням червоним спектром – збільшення висоти стебла на 6,67%, ширини листка на 2%, кількості листків на 9,32%;

- при вирощуванні дослідного виду з доопроміненням синім спектром – збільшення висоти стебла на 0,85%, кількості листків на 1,59%, зменшення ширини листка на 10,1%;

- при вирощуванні дослідного виду з доопроміненням комбінованим спектром 50% на 50% – збільшення висоти стебла на 14,87%, ширини листка на 5,61%, кількості листків – на 18,41%;

- при вирощуванні дослідного виду з доопроміненням комбінованим спектром 65% (червоний) на 35% (синій) – збільшення висоти стебла на 23,41%, ширини листка на 10,2%, кількості листків – на 23,52%.

Дослідженнями показано, що оптимальний спектр випромінювання, а саме: опромінення рослин комбінованим спектром 65% (червоний) на 35% (синій).

Список літератури

1. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы / И. Бахарев, А. Прокофьев, А. Туркин, А. Яковлев // Современные технологии автоматизации. – 2010. – № 2. – С. 76–82.

2. О влиянии дополнительного ультрафиолетового облучения на продуктивность и пищевую ценность овощей в условиях защищенного грунта / Н. А. Голубкина, М. В. Добровольский, Л. Б. Прикупец, Н. Н. Протасова // Светотехника. – 1994. – № 6. – С. 2–5.

3. Червинский Л. С. Обоснование влияния спектрального состава источников световой энергии на жизнедеятельность растений в сооружениях закрытого грунта / Л. С. Червинский, Я. Н. Луцак // Теоретический и научно-практический журнал Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства «Инновации в сельском хозяйстве». – М. : ВИАЭСХ, 2016 – Вып. № 4 (9). – С. 180–187.

4. Червінський Л. С. Вплив електромагнітних полів на живі організми і механізми їх впливу / Л. С. Червінський, Т. С. Книжка, О. І. Романенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – Вип. 142. – С. 116–119.

5. Теоретичне обґрунтування механізму керування впливом оптичного випромінювання на біологічні системи на основі фотореактивації / Л. С. Червінський, Т. С. Книжка, О. І. Романенко, Я. М. Луцак // Науковий вісник НУБіП України. – 2016. – Вип. 242. – С.106–116.

References

1. Bakharev, I., Prokof'yev, A., Turkin, A., Yakovlev, A. (2010). Primeneniye svetodiodnykh svetil'nikov dlya osveshcheniya teplits: real'nost' i perspektivy

[Application of LED lighting for greenhouses: reality and prospects] Modern automation technologies. 2, 76–82.

2. Golubkina, N. A., Dobrovol'skiy, M. V., Prikupets, L. B., Protasova, N. N. (1994). O vliyaniyi dopolnitel'nogo ul'trafioletovogo oblucheniya na produktivnost' i pishchevuyu tsennost' ovoshchey v usloviyakh zashchishchennogo grunta [On the influence of additional ultraviolet irradiation on the productivity and nutritional value of vegetables in protected soil conditions]. Svetotekhnika, 6, 2–5.

3. Chervinskiy, L. S., Lutsak, Ia. M. (2016). Obosnovaniye vliyaniya spektral'nogo sostava istochnikov svetovoy energiyi na zhiznedeyatel'nost' rasteniy v sooruzheniyakh zakrytogo grunta. [Justification of influence of the spectral composition of light energy sources in the plant life in the greenhouse plants]. Teoreticheskiy i nauchno-prakticheskiy zhurnal Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva «Innovatsii v sel'skom khozyaystve». Moskva: VIESKH, 4 (9), 180–187.

4. Chervinskiy, L. S., Knyzhka, T. S., Romanenko, O. I. (2013). Vplyv elektromagnitnykh poliv na zhyvi orhanizmy i mekhanizmy yikh vplyvu [Influence of electromagnetic field on living organisms and mechanisms of their influence] Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni PetraVasylenka, 142, 116–119.

5. Chervinskiy, L. S., Knyzhka, T. S., Romanenko, O. I., Lutsak, Ia. M. (2016). Teoretychne obhruntuvannya mekhanizmu keruvannya vplyvom optychnoho vyprominiuvannya na biolohichni systemy na osnovi fotoreaktyvatsii [Theoretical substantiation of the mechanism of control of the influence of optical radiation on biological systems on the basis of photoreactivation] Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 242, 106–116.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

**Л. С. Червинский,
Т. С. Книжка,
О. И. Романенко**

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества и обоснована целесообразность применения различных светодиодных источников освещения для создания эффективных световых режимов в сооружениях закрытого грунта для получения максимально возможной производительности растений. Исследован спектральный состав светодиодов и их влияние на рост растений.

Установлено, что под действием светодиодного освещения наибольшее повышение всхожести семян исследовательского вида наблюдалось при облучении комбинированным спектром излучения с отношением 65% красного спектра и 35% синего. Использование комбинированных светодиодных ламп приводит к повышению интенсивности роста растений и увеличения их эффективной массы, подтверждает преимущество использования светодиодных ламп над другими типами ламп, которые используются для доосвещения растений в сооружениях закрытого грунта.

Ключевые слова: *эффективность, производительность, светодиодные лампы, режимы освещения, сооружения закрытого грунта*

THE SUBSTANTIATION OF EFFECTIVE LED LIGHTING IN THE CONSTRUCTION OF CLOSED SOIL

**L. S. Chervinsky
T. S. Knizhka,
A. I. Romanenko**

Adstract. *In the article the advantages and justified the expediency of using various LED lighting sources to create effective light regimes in the structures of closed ground to obtain the maximum possible plant productivity. The spectral composition of light-emitting diodes and their influence on plant growth is investigated.*

It was found that under the influence of LED lighting, the greatest increase in seed germination of the research species was observed when irradiated with a combined emission spectrum with a ratio of 65% of the red spectrum and 35% of blue. The use of combined LED lamps leads to an increase in the intensity of plant growth and an increase in their effective mass, confirms the advantage of using LED lamps over other types of lamps that are used for pre-emergence of plants in structures of enclosed soil.

Keywords: *efficiency, performance, LED lamps, lighting modes, construction of enclosed ground*

УДК 621.37: 628.349.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ НЕЗБИРАНОГО МОЛОКА ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ

Р. С. СВЯТНЕНКО, аспірант
А. І. МАРИНІН, кандидат технічних наук, доцент
О. В. КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО, кандидат технічних наук, доцент
О. П. ФУРСІК, аспірант
Національний університет харчових технологій
E-mail: Svyatnenko@i.ua

Анотація. *У сучасних умовах виробництва продукції науково-технічний прогрес є одним з найважливіших факторів у молочній промисловості, при якому створюються та впроваджуються у виробництві нові методи обробки.*

© Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко,
О. П. Фурсік, 2017

Ключевые слова: *эффективность, производительность, светодиодные лампы, режимы освещения, сооружения закрытого грунта*

THE SUBSTANTIATION OF EFFECTIVE LED LIGHTING IN THE CONSTRUCTION OF CLOSED SOIL

**L. S. Chervinsky
T. S. Knizhka,
A. I. Romanenko**

Adstract. *In the article the advantages and justified the expediency of using various LED lighting sources to create effective light regimes in the structures of closed ground to obtain the maximum possible plant productivity. The spectral composition of light-emitting diodes and their influence on plant growth is investigated.*

It was found that under the influence of LED lighting, the greatest increase in seed germination of the research species was observed when irradiated with a combined emission spectrum with a ratio of 65% of the red spectrum and 35% of blue. The use of combined LED lamps leads to an increase in the intensity of plant growth and an increase in their effective mass, confirms the advantage of using LED lamps over other types of lamps that are used for pre-emergence of plants in structures of enclosed soil.

Keywords: *efficiency, performance, LED lamps, lighting modes, construction of enclosed ground*

УДК 621.37: 628.349.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ НЕЗБИРАНОГО МОЛОКА ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ

Р. С. СВЯТНЕНКО, аспірант
А. І. МАРИНІН, кандидат технічних наук, доцент
О. В. КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО, кандидат технічних наук, доцент
О. П. ФУРСІК, аспірант
Національний університет харчових технологій
E-mail: Svyatnenko@i.ua

Анотація. *У сучасних умовах виробництва продукції науково-технічний прогрес є одним з найважливіших факторів у молочній промисловості, при якому створюються та впроваджуються у виробництві нові методи обробки.*

© Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко,
О. П. Фурсік, 2017

Стаття присвячена дослідженню впливу імпульсних електричних полів (ІЕП) на обробку середовища для мікробіологічної стабільності незбираного молока.

Наведено результати досліджень обробленого незбираного молока, ІЕП. Встановлено, що обробка ІЕП з напругою 30 кВ/см протягом 30 с є найбільш ефективною, оскільки сприяє подовженню терміну зберігання незбираного молока.

Ключові слова: імпульсні електричні поля, незбиране молоко

Актуальність. Серед продуктів харчування молоко займає особливе місце, так як воно здатне забезпечувати організм повноцінними білками, жирами, деякими вітамінами, біологічно активними сполуками та мінеральними компонентами.

Відомі технології подовження термінів зберігання молока базуються на термічному обробленні (пастеризація та стерилізація) й застосуванні ультрафільтрації. Також широко використовується попередня пастеризація свіжевидоєного молока на фермах чи низових заводах за температури 72–75 °С з наступним охолодженням та зберіганням за температури 68 °С до переробки. Однак ці методи мають суттєві недоліки, пов'язані зі зменшенням вмісту вітамінів, незамінних амінокислот та інших показників, які можуть бути збережені при зміні способів і режимів теплової обробки.

Актуальною є проблема заміни теплових методів та попередньої теплової обробки на фізичні нетеплові. Дане питання можна вирішити шляхом використання сильних імпульсних електричних полів. Основними перевагами цієї технології є збереження харчових і смакових властивостей продуктів, універсальність, яка дозволяє застосовувати їх в різних технологічних процесах, економічність завдяки використанню цілого комплексу високоінтенсивних фізичних факторів, екологічність за рахунок виключення використання тепла і хімічних консервантів [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наведеним напрямам досліджень присвячені численні роботи професора М. І. Бойка. У даних працях [1–3], подано опис ІЕП-технології (або КВІД-технології, де КВІД – комплекс високовольтних імпульсних дій), експериментальних установок та камер різних типів для реалізації даної технології. Деякі результати досліджень щодо оброблення рідких харчових продуктів за допомогою КВІД представлено в [4]. Автори [5], стверджують, що імпульсна обробка дає змогу зберігати харчову та біологічну цінність дослідних зразків, порівняно з традиційною тепловою пастеризацією, а тим більше, високотемпературною стерилізацією. Результати досліджень [6] свідчать, що дія ІЕП при напруженості ≈ 30 кВ/см протягом 30 с не впливає на склад незбираного молока.

Мета дослідження – визначити тривалість зберігання молока після ІЕП обробки.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом досліджень є незбиране коров'яче молоко від індивідуальних сільськогосподарських товаровиробників до та після оброблення імпульсними електричними полями.

При проведенні досліджень використовували експериментальну установку, розроблену фахівцями в НТУ «Харківський Політехнічний Інститут» [6], зображену на рис. 1.

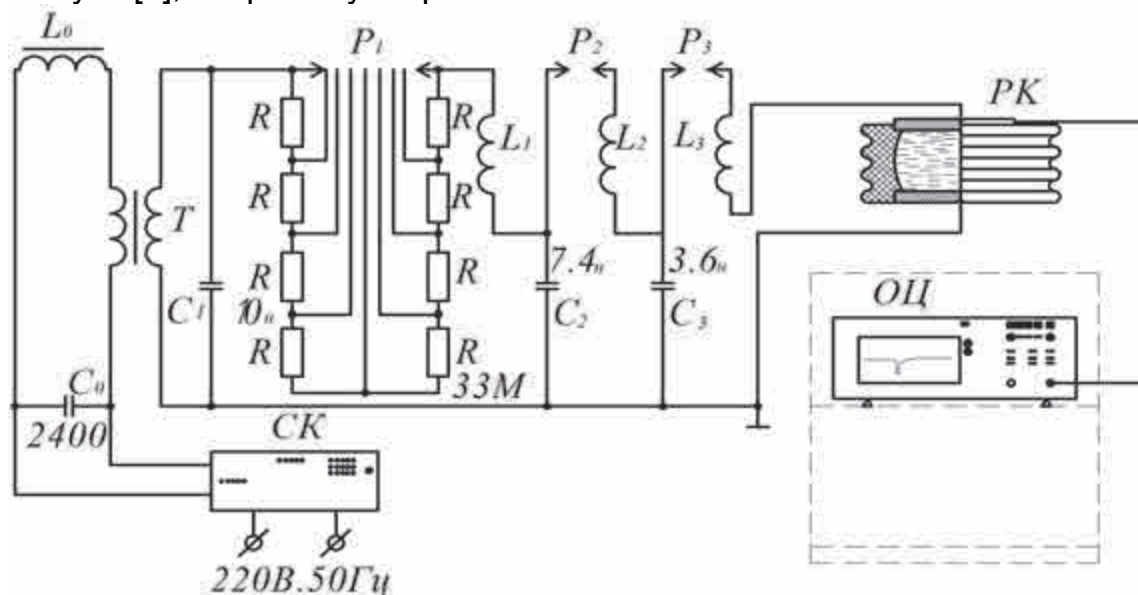


Рис. 1. Схема експериментальної установки для обробки рідких продуктів сильними імпульсними електричними полями:

L_0 – дросель на броньовому магнітопроводі з еквівалентним перерізом $100 \times 90 \text{ мм}$, T – трансформатор ИОМ-100/100, L_1 – L_3 – паразитні індуктивності контурів; P_1 – P_3 – іскрові розрядники; C_1 – C_3 – ємнісний нагромаджувач енергії, C_0 – батарея конденсаторів, СК – система керування, СППУР – система підготовки, перекачування і упаковки рідин, ОЦ – осцилограф, РК – робоча камера.

Незбиране молоко з початковою температурою $(22 \pm 2)^\circ \text{C}$ обробляли в стаціонарній камері закритого типу, в яку впродовж $10 \dots 30 \text{ с}$ здійснювалася подача енергії через іскрові розрядники.

Для порівняння ІЕП обробки з попередньою тепловою обробкою молока контрольний зразок підігрівали на електромагнітній мішалці з підігрівом до 72°C . Після чого оброблені зразки витримували $10 \text{--} 15 \text{ с}$ і швидко охолоджували до температури $6 \dots 8^\circ \text{C}$.

Напругу на робочій камері з оброблюваним продуктом реєстрували цифровим осцилографом фірми Rigol зі смугою пропускання 100 МГц .

Аналіз осцилограми дії ІЕП обробленого молока (рис. 2, а та б) показують, що напруженості електричного поля в робочій камері при обробленні 20 с становила $1,5 \text{ кВ/мм}$, а при 30 с – $0,9 \text{ кВ/мм}$, з тривалістю фронту імпульсу 35 нс .

Амплітуду напруженості електричного поля E_m в робочій камері визначали за формулою:

$$E_m = \frac{U_m}{d} \quad (1)$$

де U_m – амплітуда напруги на відповідних осцилограмах $[\text{кВ/мм}]$.

d – довжина міжелектродного проміжку в робочій камері $[\text{мм}]$.

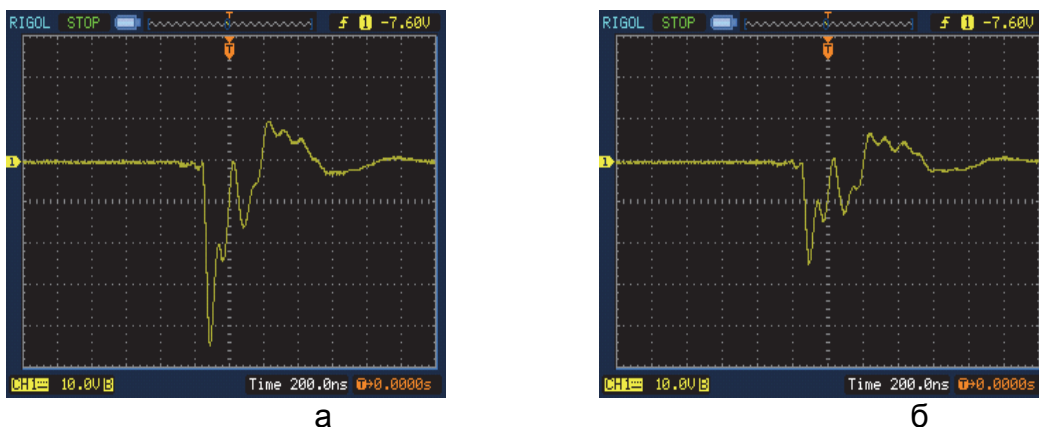


Рис. 2. Осцилограми дії ІЕП обробленого молока

Результати дослідження та їх обговорення. При обробленні незбираного молока ІЕП з напруженістю 30 кВ/см та тривалістю імпульсу до 35 нс спостерігали нетепловий ефект зростання температури сировини до області температур термізації і пастеризації (рис. 3). При цьому приріст температури корелював з напруженістю й тривалістю оброблення. Так, найвищої температури молока (понад 80 °С) при ІЕП-обробленні було досягнуто за напруженості 30 кВ/см та часу 30 с.

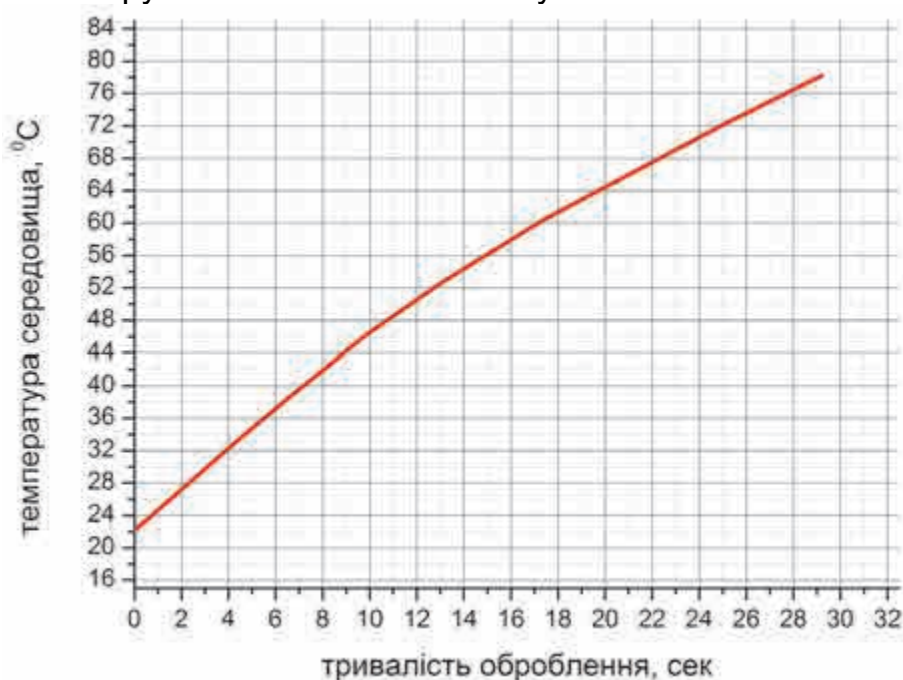


Рис. 3. Вплив тривалості обробки ІЕП на температуру незбираного молока

У даному випадку наростання температури відбувається за рахунок нетеплових ефектів. Енергетична передача здійснюється на рівні молекул в результаті взаємодії електронів струму з іонами або атомами провідника, частина енергії залишається у останнього. Теплова дія струму призводить до більш швидкого руху частинок провідника, після чого його внутрішня енергія зростає і трансформується в теплову.

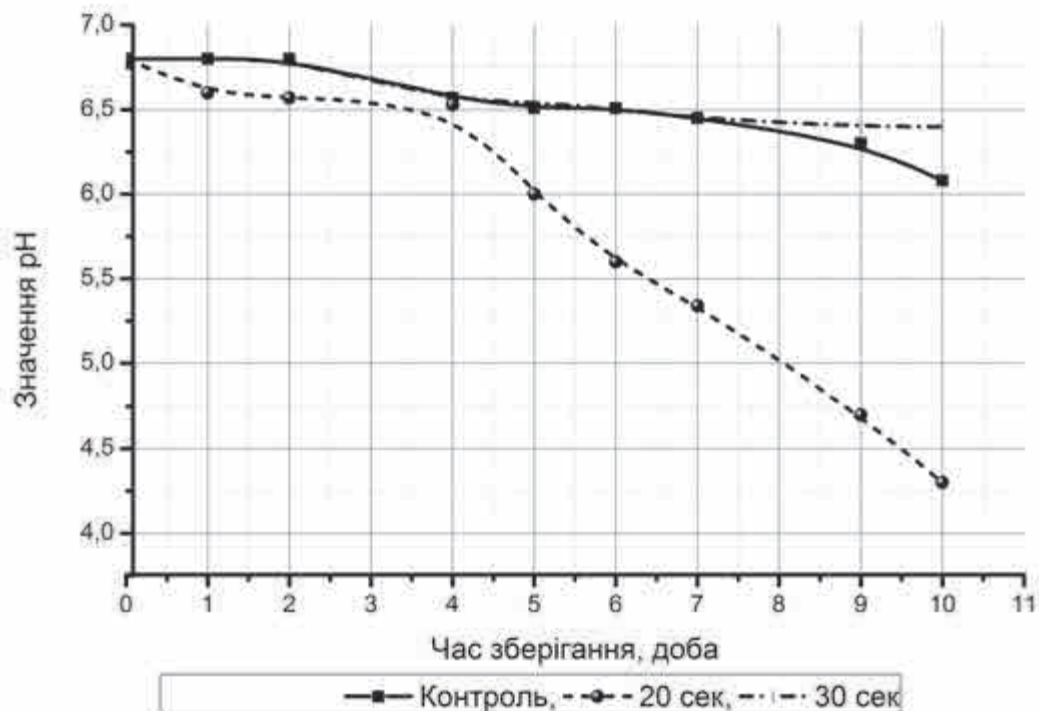


Рис. 4. Зміна величини рН в процесі зберігання молока за температури зберігання 6...8 °С

Аналіз наведених результатів свідчить, що при обробці ІЕП з напругою 30 кВ/см протягом 20 с величина рН зменшувалася вже після першої доби до рН 6,57, й продовжує стрімко знижуватися впродовж десяти діб до рН 4,12. Даний стрімкий спад можна пояснити тим, що при обробці ІЕП в заданому режимі не було досягнуто температури пастеризації.

Також з'ясовано, що показники контрольного й обробленого молока, майже не змінювалася впродовж восьми діб. А от на дев'яту й десяту добу даний показник для контрольного зразка погіршився й становив рН 6,45 і 6,3 відповідно. На десяту добу рН для обробленого молока протягом 30 с становив рН 6,4. Це можна пояснити тим, що при обробленні ІЕП, клітини бактерій зазнають цілого комплексу впливів: сильне імпульсне електричне поле, імпульсне магнітне поле, тощо.

При виробництві кисломолочних продуктів на сичужне згортання молока впливає багато факторів, в тому числі й температурний режим обробки й час його дозрівання. Виходячи з цього, ми дослідили час сичужного згортання контролю та обробленого зразка. Отримані нами результати свідчать, що час сичужного згортання контролю становив 11 хв, обробленого ж молока ІЕП полями 12 хв. Це дає змогу стверджувати, що обробка незбираного молока ІЕП дозволяє його використання в технології виготовлення сирів.

Висновки і перспективи. У даній роботі проведено дослідження щодо оброблення ІЕП полями незбираного молока, та встановлено, що при обробленні незбираного молока імпульсними електричними полями в діапазоні напруженості 30 кВ/см та часу обробки 30 с спостерігали

нетепловий ефект зростання температури сировини до 80°C. З'ясовано, що швидкість кислотності при ІЕП обробці менша, порівняно з контролем. Виявлено, що ІЕП обробка не має негативного впливу на сичужний згусток. Доведено можливість здійснення теплового оброблення молока за рахунок нетеплових ефектів, що виникають за імпульсної дії електричних полів.

Перспективність розвитку наряду зумовлена створенням нових методів обробки харчових продуктів і води за допомогою ІЕП з покращеними характеристиками. Створені установки та методики спрямовані для з'ясування механізмів дії факторів ІЕП, у подальшій розробці концепції, теорії ІЕП-обробки продуктів.

Список літератури

1. Высоковольтный генератор импульсов со средней мощностью до 50 кВт для обработки пищевых продуктов / Н. И. Бойко, А. Н. Тур, Л. С. Евдошенко [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 1998. № 2. – С. 120–126.
2. Установка для обработки текучих продуктов при помощи комплекса высоковольтных импульсных воздействий и результаты исследований / Н. И. Бойко, А. Н. Тур, Л. С. Евдошенко // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 4. – С. 59–63.
3. Бойко Н. И. Технологии, основанные на воздействии сильных импульсных электрических полей / Н. И. Бойко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2002. – Ч. 6. – С. 94–99.
4. Бойко Н. И. Влияние комплекса высоковольтных импульсов и других физических факторов на интенсивность размножения *Anabaena flos aquae* / Н. И. Бойко, А. И. Божков // Биофизика. – 2002. – Т. 47. – №. 3. – С. 531–538.
5. Zhang Q. H. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. / Q. H. Zhang G. V., Barbosa-Canovas. B. G. Swanson, // Journal of Food Engineering. – 1995. – 25. – P. 261–281.
6. Святненко Р. С. Вплив імпульсних електричних полів на склад і властивості незбираного молока. / Р. С. Святненко О. В. Кочубей-Литвиненко, А. І. Маринін // Наукові праці НУХТ. – 2016. – № 4. – С. 241–247.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

**Р. С. Святненко,
А. И. Маринин,
О. В. Кочубей-Литвиненко,
О. П. Фурсик**

Аннотация. В современных условиях производства продукции научно-технический прогресс является одним из важнейших факторов в молочной промышленности, при котором создаются и внедряются в производство новые методы обработки.

Работа посвящена исследованию влияния импульсных электрических полей (ИЭП) на обработку среды для микробиологической стабильности цельного молока.

Приведены результаты исследований обработанного цельного молока, ИЭП. Установлено, что обработка ИЭП с напряжением 30 кВ / см в течение 30 с является наиболее эффективной, поскольку способствует удлинению срока хранения цельного молока.

Ключевые слова: импульсные электрические поля, цельное молоко

INVESTIGATION OF WHOLE MILK PROCESSING BY PULSE ELECTRIC FIELDS

R. S. Svyatnenko,
A. I. Marinin,
A. V. Kochubei-Litvinenko,
A. P. Fursik

Abstract. *In modern production conditions, scientific and technological progress is one of the most important factors in the dairy industry, in which new methods of processing are created and introduced into production.*

The work is devoted to the investigation of pulsed electric fields (IEP) influence on the medium processing for the whole milk microbiological stability.

There are presented the research results of the whole milk processing by IEP. It has been established that treatment of IEP with a voltage of 30 kV / cm for 30 s is most effective, since it contributes to the elongated shelf life of whole milk.

Keywords: *pulsed electric field, whole milk*

**ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОШУКУ ЕКОНОМІЧНИХ МІСЦЬ
РОЗТАШУВАННЯ ТА ВЕЛИЧИН ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ
РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ
МЕРЕЖАХ, ЯКІ ЖИВЛЯТЬСЯ ВІД СИСТЕМНОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

А. М. СКРИПНИК, кандидат технічних наук, доцент

Д. П. КОЖАН, аспірант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: KOZHAN14@I.UA

Анотація. Запропоновано простий і достатньо ефективний підхід щодо визначення економічних місць розташування та величин потужності джерел розподіленої генерації (ДРГ) при впровадженні їх в розподільних електричних мережах, що живляться від вузлів централізованого системного електропостачання (далі системне електропостачання) з приведенням відповідних експериментальних досліджень.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, системне електропостачання, джерело розподіленої генерації, градієнтний метод, вектор – градієнт, питомі транспортні витрати

Актуальність. Впровадження ДРГ (таких як перетворювачі сонячної і вітрової енергії, ГЕС на малих ріках і т. п.) у розподільних електричних мережах забезпечує чистоту навколишнього середовища, зменшує як витрати паливних і водних ресурсів, так і втрати електроенергії в мережах за рахунок наближення виробників електричної енергії до споживачів [1]. При цьому виникають проблемні питання, пов'язані як з режимами напруги в мережі з ДРГ [7], так і з впливом ДРГ на властивості централізованого системного електропостачання [6].

Проблемними є також питання щодо визначення економічних місць розташування ДРГ в розподільних мережах та величин їх активної і реактивної потужностей з урахуванням розподілу між живлячими мережу об'єктами [2, 3, 8]. Для вирішення цих питань в даній публікації пропонується підхід у два етапи:

1. Визначення економічних місць розташування ДРГ.

2. Визначення величин активних і реактивних потужностей ДРГ в місцях економічного їх розташування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання щодо пошуку економічно доцільних місць розташування та величин потужності ДРГ в розподільних електричних мережах розглядали у різні часи такі вчені, як

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент А. М. Скрипник

© А. М. Скрипник, Д. П. Кожан, 2017

Jegadeesan M., Nitin Singh, Haesen E, M. I. Воропай, О. С. Яндульський, П. Д. Лежнюк, О. В. Кириленко, В. В. Козирський, А. М. Скрипник, В. В. Кирик, В. В. Кулик, Ю. І. Тугай та інші.

Мета дослідження – розробка простих і ефективних моделей пошуку економічних місць розташування та величин потужності ДРГ в розподільних електричних мережах, що живляться від системного електропостачання.

Матеріали і методи дослідження. Для визначення економічних місць розташування ДРГ в розподільних електричних мережах, які живляться від системного електропостачання, в [4] використано градієнтний метод у вигляді вектор-градієнта, елементи якого складають

похідні $\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i}$ і $\frac{\partial Q_i}{\partial U_i}$. Згодом з'ясувалося, що більш ефективним є градієнтний метод, який реалізує питомі транспортні витрати на передачу активної і реактивної потужностей по елементах електричної мережі. Математична модель зазначеного методу на основі лінеаризованої системи рівнянь має вигляд:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial P_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial Q_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial U_i} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де

1) $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot \end{bmatrix}^T$ – транспонована матриця частинних похідних (матриця Якобі) елементами якої є частинні похідні від небалансів активних і реактивних потужностей у вузлах схеми електричної мережі

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_i^P &= P_i + U_i^2 G_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \\ \varepsilon_i^Q &= Q_i - U_i^2 B_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

по відповідних пошукових вузлових характеристиках P, Q, θ і U

j – індекс вузла суміжного з i – ім;

$G_{ii}, B_{ii}, G_{ij}, B_{ij}$ – відповідно власні та взаємні активні і реактивні провідності ділянок мережі;

$U_i, \theta_i, U_j, \theta_j$ – модулі та кути напруги i – го та j – го вузлів.

2) π – сумарні втрати активної потужності в елементах схеми електричної мережі

$$\pi = \sum_{K=1}^m [U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (3)$$

m – кількість ділянок мережі, в якій пропонується встановлення ДРГ.

3) $\frac{\partial \pi}{\partial P_i}$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці активної потужності до i – го вузла схеми;

$\frac{\partial \pi}{\partial Q_i}$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці реактивної потужності до i – го вузла схеми;

4) $\frac{\partial \pi}{\partial \theta_i}$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по куту напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1}^n [2U_i U_j \sin(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (4)$$

$\frac{\partial \pi}{\partial U_i}$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по модулю напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial U_i} = \sum_{j=1}^n [2U_i - 2U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (5)$$

n – кількість ділянок мережі, що примикають до i – го вузла схеми.

Питомі транспортні витрати $\frac{\partial \pi}{\partial P_i}$ і $\frac{\partial \pi}{\partial Q_i}$ визначаються для всіх вузлів схеми електричної мережі на основі результатів розрахунків режимів її максимального або перспективного вузлового навантаження.

Максимальні значення вузлових питомих транспортних витрат $\frac{\partial \pi}{\partial P_i}$ і $\frac{\partial \pi}{\partial Q_i}$ вказують на найбільш економічні місця встановлення джерел відповідно активної та реактивної потужностей.

У розімкнених мережах напругою 10 і 35 кВ, які мають декілька відгалужень від вузла системного живлення, максимальні значення вузлових питомих транспортних витрат, а відповідно, і найбільш економічні місця встановлення джерел потужності, визначаються окремо по кожному відгалуженню.

Для визначення економічно доцільних потужностей джерел активної і реактивної генерації пропонується використання модифікованого методу Ньютона [5] ітераційний процес якого виглядає згідно з (2) як

$$\begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K+1)} = \begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}^{(K)}, \quad (6)$$

При цьому поправки δP_i , δQ_i , $\delta \theta_i$ і δU_i до невідомих величин визначаються на кожному кроці ітераційного процесу розв'язанням системи лінійних рівнянь

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta P_i \\ \delta Q_i \\ \delta \theta_i \\ \delta U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Система лінійних рівнянь (7) розв'язується за допомогою стандартної програми методом найменших квадратів згідно з алгоритмом Хаусхольдера. Система рівнянь (7) розглядається як визначена (кількість відомих дорівнює кількості невідомих) з різними комбінаціями відомих і пошукових величин. Це надає можливість використовувати при розрахунках поточних, максимальних або перспективних по вузловому навантаженню експлуатаційних режимів розподільних електричних мереж наступні вузлові моделі залежно від поставленої задачі:

1) вузли навантаження

$$P - const, Q - const$$

$$U - var, \theta - var$$

2) вузли системного живлення та вузли, для яких необхідно визначити економічно доцільну величину генерації активної потужності

$$U - const, \theta - const$$

$$P - var, Q - var$$

3) вузли із заданою величиною модуля напруги та вузли, для яких необхідно визначити економічно доцільну величину генерації реактивної потужності

$$U - const, P - const$$

$$Q - var, \theta - var$$

4) вузли для визначення економічно доцільної величини генерації активної потужності з обмеженням величини генерації реактивної потужності

$$U - const, Q_{min} - Q_{max}$$

$$P - var, \theta - var$$

або

$$Q - const, \theta - const$$

$$P - var, U - var$$

5) вузли для визначення економічно доцільної величини генерації реактивної потужності з обмеженням величини активної потужності

$$U - const, P_{min} - P_{max}$$

$$Q - var, \theta - var$$

При цьому всі пошукові активні і реактивні потужності визначаються безпосередньо без додаткового їх розрахунку після закінчення ітераційного процесу.

Експериментальні дослідження щодо вищезазначеного підходу в два етапи виконані на прикладі фрагменту схеми електричної мережі напругою 10 кВ [5] (рис.1) з параметрами ділянок та величинами вузлового навантаження (згідно з відгалуженнями I, II і III), приведеними, відповідно, в табл. 1 і 2.

Фрагмент схеми включає 16 вузлів і 15 ділянок.

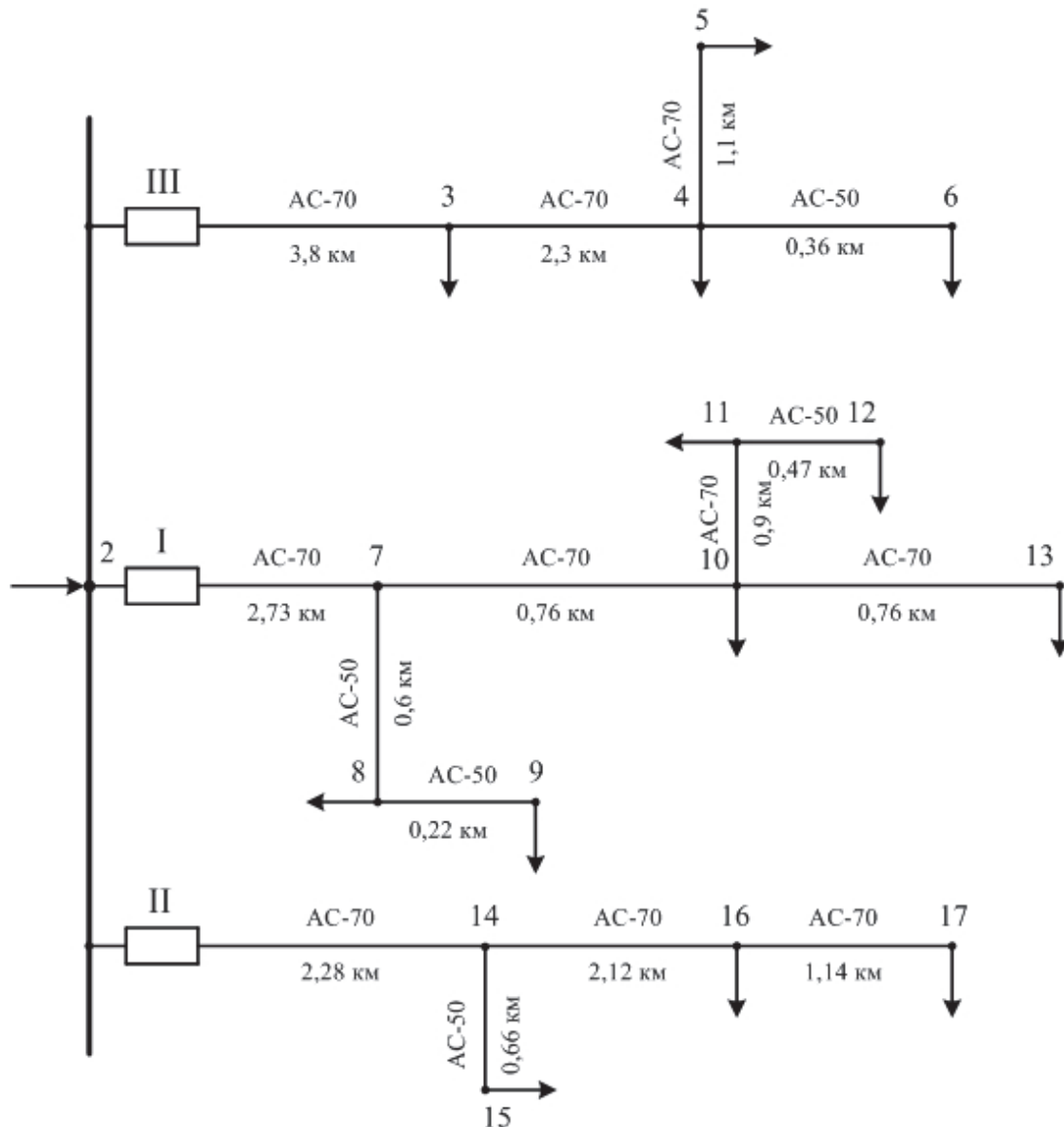


Рис. 1. Фрагмент схеми електричної мережі напругою 10 кВ

1. Параметри ділянок мережі

Ділянка мережі	Номинальна напруга, кВ	Марка проводу	L, км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	b ₀ , мкСм/км	R, Ом	X, Ом	K, в.о.
2-3	10	АС-70	3,8	0,428	0,4	-	1,63	1,52	-
3-4	10	АС-70	2,3	0,428	0,4	-	0,98	0,92	-
4-5	10	АС-70	1,1	0,428	0,4	-	0,47	0,44	-
4-6	10	АС-50	0,36	0,63	0,4	-	0,23	0,14	-
2-7	10	АС-70	2,73	0,428	0,4	-	1,17	1,09	-
7-8	10	АС-50	0,6	0,63	0,4	-	0,38	0,24	-
8-9	10	АС-50	0,22	0,63	0,4	-	0,14	0,09	-
7-10	10	АС-70	0,76	0,428	0,4	-	0,33	0,3	-
10-11	10	АС-70	0,9	0,428	0,4	-	0,39	0,36	-
11-12	10	АС-50	0,47	0,63	0,4	-	0,3	0,19	-
10-13	10	АС-70	0,76	0,428	0,4	-	0,33	0,3	-
2-14	10	АС-70	2,28	0,428	0,4	-	0,98	0,91	-
14-15	10	АС-50	0,66	0,63	0,4	-	0,42	0,26	-
14-16	10	АС-70	2,12	0,428	0,4	-	0,91	0,85	-
16-17	10	АС-70	1,14	0,428	0,4	-	0,49	0,46	-

2. Вузові навантаження мережі в максимальному режимі

№ вузла	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P, кВт	220	194	68	88	490	229	193	305	180	170	235	313	186	308	186
Q, кВАр	75	63	32	42	180	82	94	126	85	90	110	142	92	140	92

Результати розрахунку режиму максимального навантаження у вигляді вузових напруг наведено в табл. 3.

3. Розрахункові значення вузових напруг схеми

№ вузла	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
U, кВ	10,38	10,33	10,33	10,33	10,21	10,19	10,19	10,17	10,15	10,14	10,16	10,36	10,35	10,30	10,29

Втрати активної потужності в режимі максимального навантаження фрагменту електричної мережі становили $\Delta P = 69,06$ кВт.

Результати дослідження та їх обговорення.

1. На основі результатів розрахунку режиму максимального навантаження фрагменту схеми проведений розрахунок вектора вузових питомих транспортних витрат, результати якого наведено в табл. 4.

Вузові питомі транспортні витрати у наступних відгалуженнях схеми визначалися з урахуванням економічно доцільної потужності, розрахованої у попередніх відгалуженнях.

4. Результати розрахунку питомих транспортних витрат

Номер вузла схеми	Напруга вузла системного електропостачання	
	10,5 Кв	
	Величини похідних	
	$\frac{\partial \pi}{\partial P_i}$	$\frac{\partial \pi}{\partial Q_i}$
3	-0,00826	-0,01490
4	-0,01397	-0,01636
5	-0,00501	0,08274
6	0,00121	-0,00654
7	0,00045	-0,00512
8	0,00066	-0,00357
9	0,00089	-0,00570
10	0,00657	0,00005
11	0,00563	-0,00638
12	0,00089	-0,00839
13	-0,00040	-0,00002
14	-0,00912	-0,00302
15	-0,00924	-0,00061
16	0,00722	0,01088
17	0,00261	0,00924

При цьому максимуму $\frac{\partial \pi}{\partial P_i}$ відповідають вузол 10 відгалуження I, вузол 16 відгалуження II і вузол 6 відгалуження III, що відповідає умовам для розташування в них ДРГ.

2. Використовуючи модифікований метод Ньютона [5], проведені експериментальні дослідження щодо визначення економічних величин генерації активної потужності у вузлах 10, 16 і 6 фрагменту схеми електричної мережі в порядку зменшення в них питомих транспортних витрат, але найбільших у відповідному відгалуженні схеми. Експериментальні розрахунки показали, що найбільш ефективним є визначення економічної величини активної генерації ДРГ при рівності вузлових напруг у місцях розташування джерела живлення, включаючи місце системного електропостачання.

Виходячи з рівності напруг джерел живлення економічні величини активної генерації у вузлах 10, 16 і 6 фрагменту схеми електричної мережі визначалися при напрузі вузла системного електропостачання рівній 10,5 кВ. При цьому величина активної генерації у вузлі 10 становила 1604,34 кВт, реактивної 687,73 кВАр, а втрати активної потужності в мережі зменшилися з 69,06 кВт до 24,83 кВт. Для додаткових розташувань ДРГ у вузлах 16 і 6 величини активної генерації у вузлах 16 і 6 становили 752,18 кВт і 460,02 кВт, реактивної 353,47 кВАр і 167,99 кВАр зі зменшенням втрат активної потужності, відповідно, до 12,52 кВт та 6,22 кВт. Загальна величина економії становить 69,06 кВт – 6,22 кВт = 62,84 кВт. Величини реактивних потужностей ДРГ визначались відповідно до рівності модулів

вузлових напруг, а їх коефіцієнти потужностей становлять для вузла 10 – 0,92, для вузла 16 – 0,9 і для вузла 6 – 0,94 знаходяться в границях 0,9–0,95, що відповідає технічним характеристикам перетворювачам сонячної та вітрової енергії.

Експериментальні дослідження також показали, що зміна місць розташування ДРГ або збільшення чи зменшення визначеної активної генерації у вузлах з найбільшими питомими транспортними витратами по активній потужності призводять до збільшення втрат активної потужності в мережі, що свідчить про оптимальність визначених місць розташування та величин активних потужностей ДРГ для заданих умов експлуатації розподільної електричної мережі.

Для наочності основні результати наведених вище експериментальних розрахунків, згідно з вибраним для досліджень фрагментом схеми електричної мережі, наведені в табл. 5.

5. Основні результати експериментальних розрахунків щодо визначення місць розташування та величини потужності ДРГ

Порядок впровадження ДРГ	Місця розташування (вузли)	Модуль напруги, кВ	Генерація активної потужності, кВт	Генерація реактивної потужності, кВАр	$\cos \varphi$	Втрати ΔP_{Σ} по схемі, кВт
1	10	10,5	1604,34	687,73	0,92	24,83
2	16	10,5	752,18	353,47	0,9	12,52
3	6	10,5	460,02	167,99	0,94	6,22

3. Розрахунки проведені з використанням реальної схеми розподільної мережі напругою 10 кВ (фрагмент схеми електричної мережі в районі підстанції «Лісна» 35/10 кВ Городищенського РЕМ, Черкаської області) об'ємом 78 вузлів і 77 ділянок з п'ятьма відгалуженнями, що живляться від шин підстанції «Лісна» 35/10 кВ підтвердили результати проведених експериментів на основі фрагменту вибраної для досліджень (рис. 1) схеми щодо ефективності підходу в два етапи по виборі економічних місць розташування та величин потужності ДРГ в розподільних мережах, що живляться від системного електропостачання.

Крім того, у результаті досліджень було виявлено, що використання принципу рівності напруг джерел живлення надає можливість отримувати оптимальні значення активних потужностей впроваджених в розподільну електричну мережу ДРГ при зміні експлуатаційного режиму вузлового навантаження мережі в процесі експлуатації, що за наявності «зеленого тарифу» дає змогу відмовитися від складних традиційних методів оптимізації активних потужностей.

Висновки і перспективи. 1. Використання методу питомих транспортних витрат надає можливість розробки простих і достатньо ефективних моделей для визначення економічно обґрунтованих місць

розташування ДРГ в розподільних електричних мережах, що живляться від системного електропостачання.

2. Для визначення економічно доцільних потужностей ДРГ з розташуванням їх в економічно обґрунтованих місцях пропонується використовувати модифікований метод Ньютона з визначенням поправок до невідомих на кожному кроці ітераційного процесу вирішення системи лінеаризованих рівнянь методом найменших квадратів.

3. Модифікований метод Ньютона, який полягає в доповненні матриці частинних похідних похідними $\frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i}$, $\frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i}$, $\frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i}$ та $\frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i}$ надає можливість використовувати вузлові характеристики P_i , Q_i , θ_i і U_i в різних комбінаціях відомих та пошукових вузлових величин.

4. Експериментальні дослідження показали, що при визначенні потужностей ДРГ в розподільних мережах 10 кВ, найбільш доцільним є рівність напруги величиною 10,5 кВ в місцях приєднання виробників електроенергії, включаючи місце системного живлення.

Проводяться дослідження щодо використання питомих транспортних витрат по реактивній потужності $\frac{\partial \pi}{\partial Q_i}$ та модифікованого методу Ньютона для вибору оптимальних місць розташування та величини джерел реактивної потужності для її компенсації в розподільних електричних мережах.

Планується використання методики щодо економічного обґрунтування місць розташування і величин потужності ДРГ та їх оптимізація в розподільних електричних мережах при зміні графіків повузлового споживання.

Список літератури

1. Зміни встановленої потужності ОЕС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.
2. Кирик В. В. Сенсорний метод пошуку місця встановлення джерела розподіленого генерування / В. В. Кирик, О. С. Губатюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6. – С. 136–140.
3. Козирський В. В. Рекомендації щодо вибору потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах сільських регіонів / В. В. Козирський, О. В. Гай, В. М. Бодунов // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2012. – Вип. 174 (2). – С. 24–30.
4. Скрипник А. М. Моделювання оптимальних місць розташування та величини потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах напругою 10 кВ в умовах їх експлуатації / А. М. Скрипник, Д. П. Кожан // Енергетика і автоматика. – 2016. – № 4. (30). – С. 185 – 193.
5. Скрипник А. Н. Модификация метода Ньютона и ее использование при расчетах режимов распределительных электрических сетей напряжением до 110 кВ / А. Н. Скрипник, Д. П. Кожан, В. В. Ковалева // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – Вып. 4 (14). – С. 14–20.

6. Бартоломей, П. И. Анализ влияния распределенной генерации на свойства ЭЭС / П. И. Бартоломей, Т. Ю. Паниковская, Д. А. Чечушков // Объединенный симпозиум в рамках проекта АТЭС. Энергетические связи между Россией и Восточной Азией: стратегии развития в XXI веке. – Иркутск, 2010. – С. 4–5.

7. Яндульський О. С. Визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі / О. С. Яндульський, Г. О. Труніна // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2014. – № 4.

8. Jegadeesan, M. Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach / M. Jegadeesan, V. Keerthana // International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – P. 358–364.

References

1. Changes in the installed capacity of the UES of Ukraine. Available at : http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.

2. Kyryk, V. V., Hubatiuk, O. S. (2015). Sensornyi metod poshuku mistisia vstanovlennia dzherela rozpodilenoho heneruvannia [Sensory method of searching for the location of the source of distributed generation]. Visnyk of the Vinnytsia Polytechnic Institute, 6, 136–140.

3. Kozyrskiy, V. V., Hai, O. V., Bodunov, V. M. (2012). Rekomendatsii shchodo vyboru potuzhnosti dzherel rozpodilenoї heneratsii v rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh silskykh rehioniv [Recommendations on the choice of power of distributed generation sources in distributive electric networks of rural regions]. Scientific visnyk of NUBiP of Ukraine. Series: Technique and Power Engineering of Agroindustrial Complex, 174 (2), 24–30.

4. Skrypnyk, A. M., Kozhan, D. P. (2016). Modeliuvannia optimalnykh mistis rozdashuvannia ta velychyny potuzhnosti dzherel rozpodilenoї heneratsii v rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh napruhoiu 10 kV v umovakh yikh ekspluatatsii [Simulation of optimal do placements and the magnitude of power of sources distributed generation in distribution electric networks with voltage 10 kV in conditions their operation]. Power engineering and automatics, 4 (30), 185–193.

5. Skripnik, A. N., Kozhan, D. P., Kovaleva, V. V. (2015). Modifikatsiya metoda Nyutona i eye ispolzovaniye pri raschetakh rezhimov raspredelitelnykh elektricheskikh setey napryazheniyem do 110 kV [Modification of the method of Newton and its use in modes calculation electricity distribution networks with voltage up to 110 kV]. Innovations in agriculture, 4 (14), 14–20.

6. Bartolomey, P. I., Panikovskaya, T. Yu., Chechushkov, D. A. (2010). Analiz vliyaniya raspredelennoy generatsii na svoystva EES [Analysis distributed generation effect on the properties of EES]. Joint symposium within the framework of the APEC project. Energy ties between Russia and East Asia: Development Strategy in the XXI century. Irkutsk, 4–5.

7. Yandulskiy, O. S., Trunina, H. O. (2014). Vyznachennia zon efektyvnoho rehuliuвання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі [Determination of zones of effective regulation of voltage by sources of dispersed generation with inverter connection in the distribution electric network]. Scientific works of Vinnitsa National Technical University, 4.

8. Jegadeesan, M., Keerthana, V. (2014). Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach. International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology, 3, 358–364.

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОИСКА ЭКОНОМИЧНЫХ МЕСТ
РАСПОЛОЖЕНИЯ И ВЕЛИЧИН МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКОВ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ, КОТОРЫЕ ПИТАЮТСЯ
ОТ СИСТЕМОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**А. Н. Скрипник,
Д. П. Кожан**

Аннотация. *Предлагается простой и достаточно эффективный подход относительно определения экономических мест расположения и величин мощности источников распределенной генерации (ИРГ) при внедрении их в распределительных электрических сетях, которые питаются от узлов централизованного системного электроснабжения (далее системное электроснабжение) с приведением соответствующих экспериментальных исследований.*

Ключевые слова: *распределительная электрическая сеть, системное электроснабжение, источник распределенной генерации, градиентный метод, вектор – градиент, удельные транспортные расходы*

**SUGGESTIONS ON SEARCH OF ECONOMIC PLACES
OF LOCATION AND THE MAGNITUDES OF POWER THE SOURCES OF
DISTRIBUTED GENERATION IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS,
WHICH ARE POWERED BY THE SYSTEMIC ELECTRICITY SUPPLY**

**A. M. Skrypnyck,
D. P. Kozhan**

Abstract. *Suggested a simple and fairly effective approach about determine the economic places of location and size of power of sources of distributed generation (SDG) at their introduction in distribution electric networks, which are fed from the nodes of the centralized systemic electricity supply (onward the systemic electricity supply) to bringing the relevant experimental studies.*

Keywords: *distribution electrical network, systemic electricity supply, the source of distributed generation, the gradient method, vector – gradient, specific transport costs*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПАРАФІНІВ ТА ЇХ СУМІШЕЙ З НАНОЧАСТИНКАМИ МЕТАЛІВ ОПТИЧНИМ МЕТОДОМ

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри теплоенергетики
**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

Ю. М. НАСЄКА, кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова
E-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Розглянуто можливість підвищення робочих характеристик акумуляторів теплоти на основі фазоперехідних акумулюючих матеріалів. Досліджено параметри структурно-фазових перетворень парафінів та їх сумішей з наночастинками металів оптичним методом, який є безконтактним та неруйнівним методом відображення процесів кристалізації для аналізу термодинамічних властивостей, а також взаємодії в молекулярних ланцюгах досліджуваних зразків. Як вихідний матеріал було використано парафін марки ТЗ.

Для того, щоб методично правильно проаналізувати вплив даних порошків на динаміку фазових переходів у суміші парафіну з конкретним порошком, спочатку було проведено дослідження структурних та коливних властивостей вихідних порошків. Отримано температурні залежності спектрів КРС і структурних параметрів для чистих парафінів та їх сумішей з металічними теплопровідними наповнювачами.

Встановлено, що додавання останніх не впливає на частотне положення основних смуг, що характеризують коливання у парафіні, та покращує теплопровідні властивості парафіну з наповнювачами. Досліджено підвищення теплопровідності, більш рівномірний розподіл теплового поля та зниження температури основних фазових переходів у підсилених теплоакumuлюючих речовинах. Встановлено та пояснено різницю у динаміці структурно-фазових перетворень чистих (вихідних) парафінів і підсилених теплопровідними наповнювачами.

Ключові слова: акумулятор теплоти, акумулюючий матеріал, фазовий перехід, наночастинки металів, КРС (раманівська спектроскопія)

Актуальність. Обмеженість традиційних паливно-енергетичних ресурсів (газоподібного, рідкого і твердого палива), постійне зростання цін на них, а також негативний вплив продуктів їх згоряння на навколишнє середовище, свідчать про необхідність більш раціонального їх

використання, яке може бути досягнуто як за рахунок використання сучасного енергозберігаючого обладнання, так і створення й практичного застосування акумуляторів енергії різних типів, що дасть змогу не тільки підвищити ефективність використання теплової та електричної енергії, а й знизити її вартість.

Відомо, що з усіх типів існуючих конструкцій теплоакумуляторів найбільш перспективними є акумулятори теплоти з фазовими або хімічними перетвореннями акумуляуює матеріалу, які дозволяють забезпечити високу щільність накопиченої енергії та стабільну температуру на виході з теплового акумулятора. Однак, аналіз робіт [1–4] свідчить, що такі апарати мають певні недоліки, тому необхідне проведення нових досліджень, спрямованих на пошук шляхів підвищення робочих характеристик таких теплоакумуляторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Беручи до уваги розвиток сфери нанотехнологій, які передбачають також синтез та дисперсію високо- теплопровідних частинок мікронного та нанометрового розміру та введення їх в акумуляуючий матеріал, згадані проблеми [1–4] у теплоакумуляторах на основі фазоперехідних матеріалів можуть бути вирішені. Проте, ряд питань стосовно залежностей теплопровідності й теплового коефіцієнта дифузії від концентрації, виду та розмірів введених наночастинок залишаються на сьогодні дослідженими недостатньо.

Для розв'язання задач з оптимізації технології виготовлення вітчизняних вискоефективних теплових акумуляторів на основі фазоперехідних матеріалів (парафінів) необхідно: дослідити структуру й термодинамічну поведінку парафінів та їх сумішей з різними за хімічним складом твердотільними нано- та мікрочастинками; оцінити їх вплив на ефективність зазначених процесів.

Мета дослідження – аналіз параметрів структурно-фазових перетворень парафінів та їх сумішей з наночастинок металів оптичним методом.

Матеріали і методи дослідження. Для встановлення впливу температури та домішок на структурні перетворення теплоакумуляуючих речовин експериментальним шляхом, застосовано метод спектроскопії комбінаційного розсіяння світла (КРС, або в закордонній літературі – раманівська спектроскопія), який є безконтактним та неруйнівним методом відображення процесів кристалізації для аналізу термодинамічних властивостей, а також взаємодії в молекулярних ланцюгах досліджуваних зразків. Як вихідний матеріал було використано парафін марки ТЗ.

Результати дослідження та їх обговорення. Для підвищення теплопровідності у досліджуваному парафіні було вибрано 3 види вуглецевих порошків, які випускаються вітчизняною промисловістю. Для того, щоб методично правильно проаналізувати вплив даних порошків на динаміку фазових переходів у суміші парафіну з конкретним порошком, спочатку було проведено дослідження структурних та коливних властивостей вихідних порошків. На рис. 1 подано спектри КРС трьох видів порошків, які відрізняються фракцією – 0.5, 0.2 та 0.1 мм.

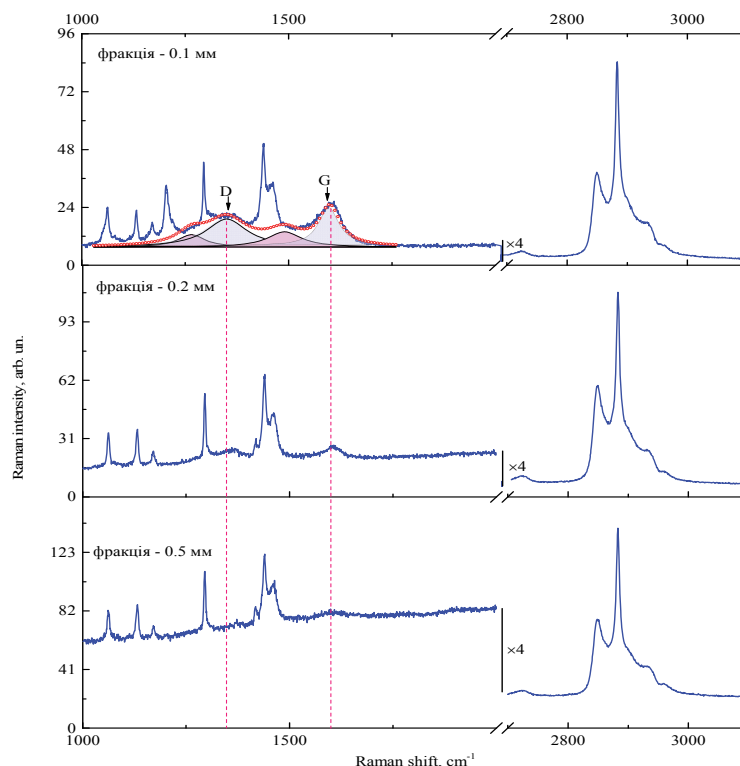


Рис. 1. Спектри КРС сумішей парафіну Т3 з наповнювачами (металевими порошками різної фракції)

Як свідчить рис.1, у спектрах КРС сумішей парафіну з порошками спостерігаються коливні смуги, пов'язані з коливаннями атомів вуглецю у графітій матриці. Зокрема, можна чітко виокремити смуги близько 1200 та 1515 cm^{-1} . Як видно, вуглецеві наповнювачі по-різному розподіляються в об'ємі парафіну. Слід зазначити, що найбільша кількість порошку входить в об'єм основної речовини, та найбільш рівномірно розподіляється тоді, коли даний порошок має найменшу фракцію. При ретельному порівнянні частотних положень відповідних коливних смуг у спектрах КРС вихідного парафіну Т3 та його сумішах із наповнювачами, було встановлено, що додавання теплопровідних наповнювачів не впливає на частотне положення основних смуг, що характеризують коливання у парафіні. Останнє свідчить про те, що порошки хімічно не реагують із матеріалом основної матриці. Хоча у коливних спектрах КРС смуги, пов'язані з наявністю вуглецю, спостерігалися. Це пояснюється тим, що частинки вуглецю мали достатній розмір та кількість речовини, щоб дати достатній сигнал.

У спектрах КРС сумішей з порошками, які мали фракції 0.2 мм і більше, сигнал, який свідчить про наявність порошку, зменшувався зі збільшенням температури. Тобто, частинки осідали на дно кювети після розплавлення парафіну. Тому в даній роботі відображено результати експериментів з порошками, які не мали ефекту осідання. Такі ефекти, на нашу думку, є шкідливими, адже після декількох робочих циклів теплового акумулятора буде відбуватися нагромадження частинок наповнювача у

місцях, де температура робочої речовини була меншою, або взагалі на дні резервуару акумулятора.

Рис. 2 відображує порівняння температурних залежностей параметрів $S_{lateral}$ (параметр, який характеризує ступінь латерального внутрішньоланцюгового порядку та локалізованого конформаційного порядку) для чистого парафіну та підсиленого теплопровідними наповнювачами.

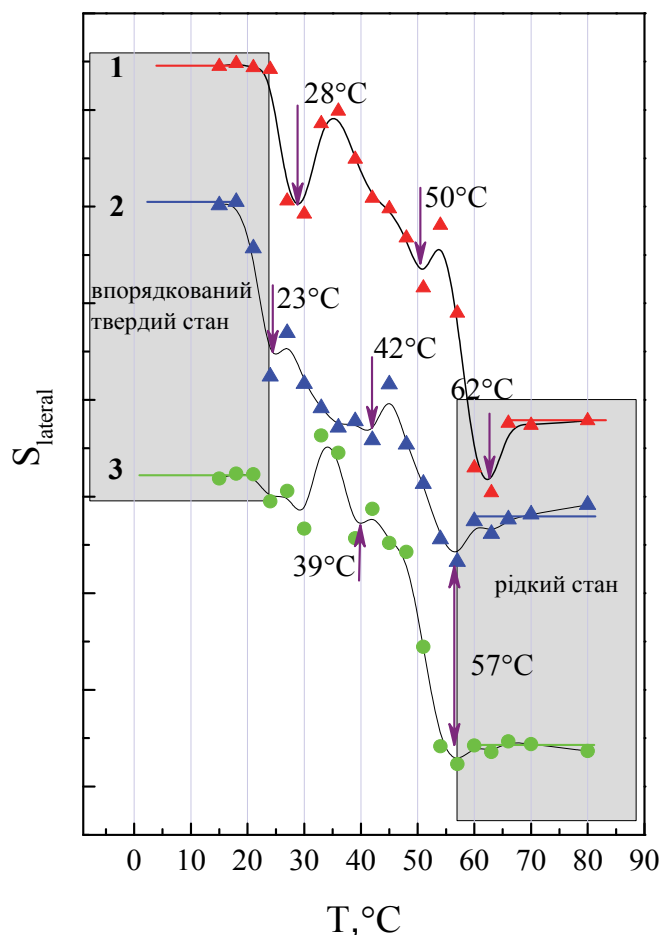


Рис. 2. Зіставлення температур структурно-фазових переходів парафіну T3 (1), суміші парафіну T3 з теплопровідним наповнювачем із фракцією 0.1 мм (2) та мідним наповнювачем (3)

На даному рисунку можна спостерігати зміщення температур основних структурно-фазових переходів для суміші парафіну T3 з вуглецевим наповнювачем фракції 0.1 мм. Як видно, у випадку використання мідного наповнювача, також спостерігається зміщення положень перегину отриманої залежності структурного параметру $S_{lateral}$ при збільшенні температури теплоакумулюючого матеріалу параметру $S_{lateral}$, навіть більшою мірою, ніж при використанні вуглецевих наповнювачів. Такі зміни свідчать про збільшення теплопровідності акумулюючого матеріалу.

Зазначені зміни можна пояснити двояко. По-перше, при внесенні теплопровідного наповнювача у парафін, у його структурі формується теплопровідна протяжна мережа. Тобто, у робочому об'ємі, коли теплове поле (фронт розплаву) підходить до теплопровідної частинки, частинка

нагрівається і плавить парафін у своєму okolí. Таким чином, фронт проходить до наступної частинки і т. д. По-друге, покращення теплопровідних властивостей парафіну з наповнювачами пояснюється теплостимульованими процесами утворення хімічних зв'язків між молекулами наповнювача і парафіною матрицею, тобто, має місце зменшення термоопору на інтерфейсі частинки наповнювача і основної парафінової матриці.

Висновки і перспективи. У результаті проведених досліджень встановлено, що додавання теплопровідних наповнювачів не впливає на частотне положення основних смуг, що характеризують коливання у парафіні, та покращує теплопровідні властивості парафіну з наповнювачами. Зокрема:

1. Отримано температурні залежності спектрів КРС та структурних параметрів для чистих парафінів та їх сумішей металічними теплопровідними наповнювачами. Аналіз зазначених залежностей дав змогу визначити температури основних фазових переходів, як у чистих технічних парафінах, так і підсилених теплопровідними частинками різного хімічного складу субміліметрових розмірів.

2. Встановлено та пояснено різницю у динаміці структурно-фазових перетворень чистих (вихідних) парафінів і підсилених теплопровідними наповнювачами.

3. Досліджено підвищення теплопровідності, більш рівномірний розподіл теплового поля та зниження температури основних фазових переходів у підсилених теплоакумуючих речовинах.

Список літератури

1. Антипов Е. А. Экспериментальное исследование процессов фазового перехода в теплоаккумулирующих материалах органического происхождения / Е. А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 3 (20). – С. 44–49.

2. Антипов Є. О. Експериментальне дослідження ефективності нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу / Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 253–257.

3. Антипов Е. А. Исследование процессов тепло- и массопереноса в низкотемпературных аккумуляторах теплоты при фазовых превращениях аккумулирующего материала / Е. А. Антипов // Праці ТДАУ. – 2015. – Вип. 15. – Т. 2. – С. 131–135.

4. Антипов Е. А. Экспериментальное исследование эффективности разрядных характеристик аккумулятора теплоты фазового перехода с гладкой теплообменной поверхностью / Е. А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 1 (16). – С. 196–200.

References

1. Antypov, I. O. (2015). Eksperimental'noye issledovaniye protsessov fazovogo perekhoda v teploakkumuliruyushchikh materialakh organicheskogo proiskhozhdeniya [Experimental studies of phase transition in the heat storage materials of organic origin]. Bulletin of ARIEA, 3 (20), 44–49.

2. Antypov, I. O. (2015). Eksperymental'ne doslidzhennya efektyvnosti novoyi konstruktsiyi akumul'yatora teploty fazovoho perekhodu [Experimental study of

the effectiveness of the new design of heat power phase transition]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 209 (2), 253–257.

3. Antypov, I. O. (2015). Issledovaniye protsessov teplo- i massoperenosa v nizkotemperaturnykh akkumulyatorakh teploty pri fazovykh prevrashcheniyakh akkumuliruyushchego materiala [Investigation of heat and mass transfer in low-temperature heat accumulators at phase changes of the storage material]. Proceedings of TASU, 15 (2), 131–135.

4. Antypov, I. O. (2016). Eksperimental'noye issledovaniye effektivnosti razryadnykh kharakteristik akkumulyatora teploty fazovogo perekhoda s gladkoy teploobmennoy poverkhnost'yu [Experimental study of the efficiency of the battery discharge characteristics of heat of phase transition with a smooth heat exchange surface]. Bulletin of ARIEA, 1 (16), 196–200.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПАРАФИНОВ И ИХ СМЕСЕЙ С НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Е. А. Антипов,
Ю. Н. Насека**

Аннотация. Рассмотрена возможность повышения рабочих характеристик аккумуляторов теплоты на основе фазопереходных аккумулирующих материалов. Исследованы параметры структурно-фазовых превращений парафинов и их смесей с наночастицами металлов оптическим методом, который является бесконтактным и неразрушающим методом отображения процессов кристаллизации для анализа термодинамических свойств, а также взаимодействия в молекулярных цепях исследуемых образцов. В качестве исходного материала использован парафин марки ТЗ.

Для того, чтобы методически правильно проанализировать влияние данных порошков на динамику фазовых переходов в смеси парафина с конкретным порошком, сначала было проведено исследование структурных и колеблющихся свойств исходных порошков. Получены температурные зависимости спектров КРС и структурных параметров для чистых парафинов и их смесей с металлическими теплопроводными наполнителями.

Установлено, что добавление последних не влияет на частотное положение основных полос, характеризующих колебания в парафине, и улучшает теплопроводные свойства парафина с наполнителями. Исследовано повышение теплопроводности, более равномерное распределение теплового поля и снижения температуры основных фазовых переходов в усиленных теплоаккумулирующих веществах. Установлена и объяснена разница в динамике структурно-фазовых превращений чистых (выходных) парафинов и усиленных теплопроводными наполнителями.

Ключевые слова: аккумулятор теплоты, аккумулирующий материал, фазовый переход, наночастицы металлов, КРС (рамановская спектроскопия)

**STUDY OF PARAMETERS OF STRUCTURAL-PHASE
TRANSFORMATIONS OF PARAFFINS AND THEIR MIXTURES
WITH NANOPARTICLES OF METALS BY THE OPTICAL METHOD**

**Ye. O. Antypov,
Yu. M. Nasieka**

Abstract. *The possibility of improving battery performance heat from accumulating phase change material. Parameters studied structural phase transitions paraffins and mixtures of nanoparticles of metals optical method that is non-contact and non-destructive method of mapping crystallization processes for the analysis of thermodynamic properties and interactions in molecular chains of the samples. As source material used paraffin brand T3.*

To correct systematically analyze the impact of these powders on the dynamics of phase transitions in a mixture of paraffin with a specific powder, was originally studied structural and vibrational properties of the initial powders. The temperature dependence of Raman spectra and structural parameters for pure waxes and their mixtures with metallic heat conductive fillers.

It was established that the addition of the latter does not affect the frequency bands of the main provisions of characterizing variations in paraffin and paraffin improves heat conducting properties of the excipients. Investigated enhance thermal conductivity, more even distribution of thermal field and lowering the temperature of the main phase transitions in reinforced heat accumulating substances. Established and explained the difference in the dynamics of structural phase transitions net (source) paraffins and reinforced heat conductive fillers.

Keywords: *accumulator of heat, accumulating material, phase transition, metal nanoparticles, Raman spectroscopy*

ВПЛИВ СИЛОВОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ КОРОННОГО РОЗРЯДУ НА ПОКАЗНИКИ СИПКОСТІ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ

Ю. М. БЕРЛІНЕЦЬ, науковий співробітник
**Національний науковий центр «Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства» НААН України**
E-mail: berlinec_yura@ukr.net

Анотація. Визначено вплив силової дії електричного поля коронного розряду на показники сипкості насіння пшениці.

У полі коронного розряду змінюються фізико-механічні властивості насінневих мас сільськогосподарських культур: збільшується кут внутрішнього тертя та початковий опір зсуву.

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ, та товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, збільшення кута внутрішнього тертя насінневої маси пшениці знаходиться в межах від 1,26 до 1,47. Найбільшого значення $34^{\circ}9'$ кут внутрішнього тертя насіння пшениці досягає при напрузі джерела живлення 26 кВ і товщині шару насіння 0,028 м.

Встановлено, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ, та товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, початковий опір зсуву насінневої маси насіння збільшується в межах від 2,36 до 5,34. Найбільше значення початкового опору зсуву $164,4 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ насінневої маси пшениці досягає при напрузі джерела живлення 30 кВ і товщині шару насіння 0,028 м.

Ключові слова: сипкість, кут внутрішнього тертя, початковий опір зсуву, електричне поле, коронний розряд, транспортування насіння сільськогосподарських культур

Актуальність. У системі післязбиральної та передпосівної підготовки важливе місце займають транспортуючі засоби. Разом з тим, на їх долю припадає до 80 % усього травмованого зерна в процесі підготовки [1, 2]. Основною причиною травмування зерна під час переміщення є механічна взаємодія окремих зернівок з кромками робочих органів транспортуючих засобів.

Встановлено можливість використання сил електричної природи, які діють на зернівки в полі коронного розряду, для транспортування насіння сільськогосподарських культур стрічковим конвеєром [3]. При цьому робочим органом виступає електричне поле, завдяки чому відсутня силова взаємодія зернівок з кромками робочих органів машин, які спричиняють їх травмування. Проте, для створення та ефективного

використання транспортуючого засобу з використанням сил електричного поля коронного розряду необхідно дослідити вплив дії сил електричного поля коронного розряду на фізико-механічні властивості насіннєвого матеріалу, а саме: на показники сипкості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Велике значення для вибору технологічного процесу та конструкції машин мають фізико-механічні властивості зерна. Здебільшого, вони значною мірою впливають на якість післязбиральної та передпосівної обробки [4]. Важливою фізико-механічною властивістю насіннєвої маси, яка безпосередньо впливає на рівень її механічного пошкодження, є сипкість. Сипкість характеризується залежністю (рис. 1) граничних дотичних напружень τ' від нормальних напружень σ в товщі насіннєвої маси, яку будують по експериментальних даних за результатами випробувань сипких матеріалів на трибометрі [5, 6].

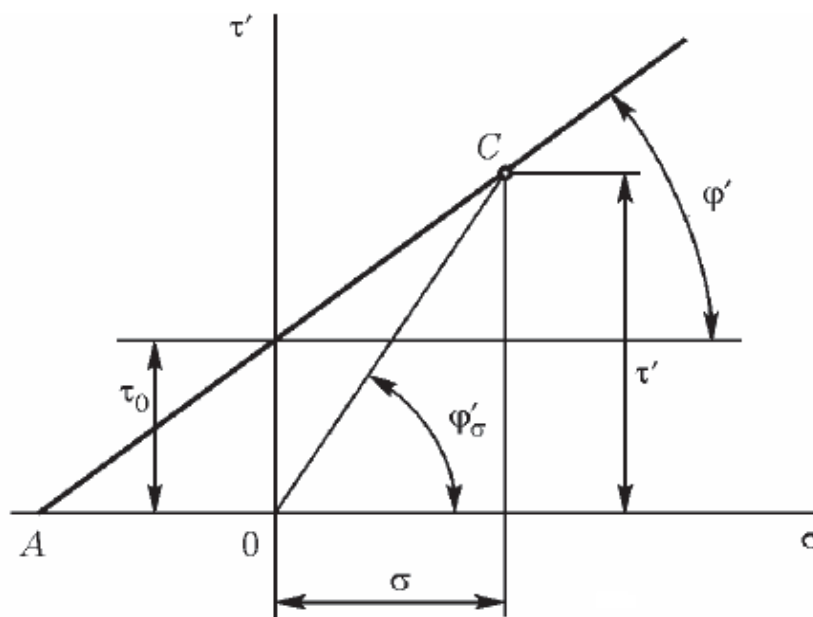


Рис. 1. Залежність граничного дотичного напруження τ' від нормального напруження σ в товщі насіннєвої маси

В електричному полі зернівки насіння отримують заряд і силову дію поля. Така силова дія електричного поля впливає на фізико-механічні властивості насіннєвої маси як сипкого середовища. При цьому, в результаті виникнення більш тісного контакту між окремими зернівками, змінюються показники сипкості, що зумовлює встановлення залежності впливу дії сил електричного поля коронного розряду на ці показники.

Мета дослідження – встановлення впливу силової дії електричного поля коронного розряду на показники сипкості насіння пшениці.

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження впливу силової дії електричного поля коронного розряду на фізико-механічні властивості насіння сільськогосподарських культур використовувався розроблений метод, який базується на використанні трибометра. На рис. 2. показана схема розробленої установки.

У нерухомий жолоб 7 засипають насіння до рівня нижньої площини рухомої рамки 6, в яку також засипають насіння до рівня потрібної товщини шару насіння. Після подачі напруги на електродну систему, при постійній висоті розташування вістря голок електродної системи 4 над осаджуючим електродом 3 і постійній напрузі джерела живлення 1, збільшуючи масу наважок в вантажній чашці 8, визначається їх маса, яка необхідна для зсуву рамки 6. Для регулювання висоти зрізу насінневої маси використовують вставки 10, які по черзі дістають з нерухомого жолоба 7, при цьому корегуючи рівень товщини шару насіння в рухомій рамці 6. Визначення граничних дотичних і нормальних напружень у кожній площині зсуву проводиться не менше, ніж 4 рази.

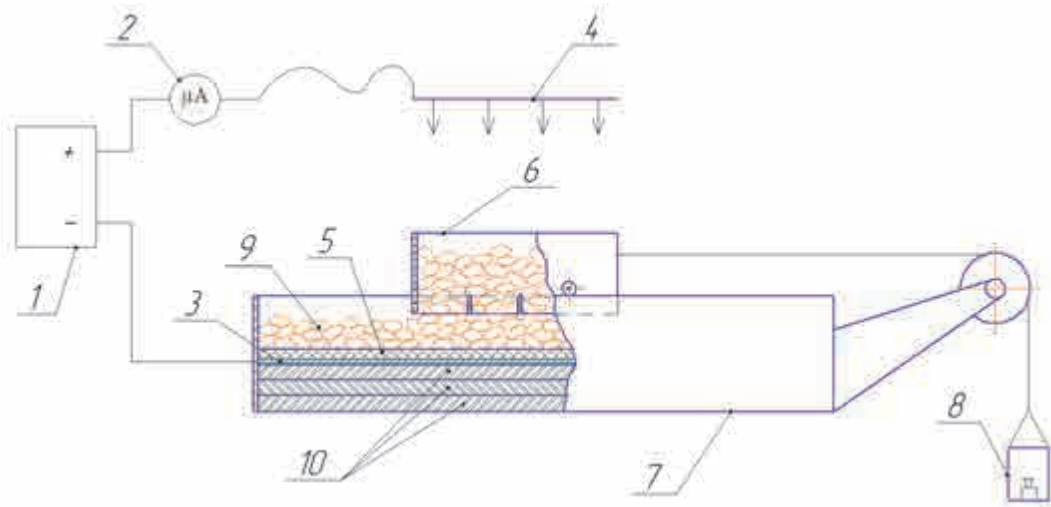


Рис. 2. Схема установки для дослідження впливу силової дії електричного поля коронного розряду на фізико-механічні властивості насіння сільськогосподарських культур:

- 1 – джерело високої напруги; 2 – мікроамперметр; 3 – осаджуючий електрод;
- 4 – коронуючий електрод; 5 – фрагмент конвеєрної стрічки;
- 6 – рухома рамка з перегородками; 7 – нерухомий жолоб; 8 – вантажна чашка;
- 9 – насіння сільськогосподарської культури, що досліджується;
- 10 – вставки для регулювання висоти зрізу насінневої маси

Результати експерименту використовуються для визначення залежності граничного дотичного напруження від нормального напруження в товщі насінневого середовища з силовою дією поля коронного розряду. При цьому, дотичні й нормальні напруження i -го експерименту в площині зсуву насінневої маси розраховуються за формулами

$$\tau'_i = \frac{F_i + F_0}{S_p}, \quad (1)$$

$$\sigma_i = \frac{m_i \cdot g}{S_p}, \quad (2)$$

де τ'_i – граничні дотичні напруження в площині зсуву насіннєвої маси i -го експерименту, $\text{H} \cdot \text{м}^{-2}$;

F_i – сила зсуву рамки з насінням i -того експерименту, H ;

F_0 – сила зсуву рамки без насіння, H ;

S_p – площа зсуву (площа рухомої рамки), м^2 ;

σ_i – граничні нормальні напруження в площині зсуву насіннєвої маси i -го експерименту, $\text{H} \cdot \text{м}^{-2}$;

m_i – маса насіння в рухомій рамці i -го експерименту, кг .

За отриманими експериментальними даними граничних дотичних і нормальних напружень, розрахованих за формулами (1) і (2), знаходяться їх середні значення, по яких проводять пряму граничних дотичних напружень АС (рис. 1), яка апроксимується лінійною залежністю виду:

$$\tau' = a_1 \cdot \sigma + b_1, \quad (3)$$

де a_1 , b_1 – коефіцієнти лінійної апроксимації отриманих середніх значень граничних дотичних і нормальних напружень у насіннєвій масі, яка знаходиться в полі коронного розряду.

Визначений таким чином кутівий коефіцієнт a_1 лінійної залежності (3), є тангенсом кута внутрішнього тертя досліджуваної насіннєвої маси, а вільний член b_1 – початковим опором зсуву з урахуванням дії поля коронного розряду.

Оброблення експериментальних даних проводилося в спеціалізованому програмному середовищі RegMod та Microsoft Office Excel.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами експериментальних досліджень отримано залежність граничного дотичного напруження від нормального напруження в товщі насіння пшениці без силової дії поля коронного розряду з достовірністю апроксимації $R^2 = 0.9993$, яку графічно подано на рис. 3.

$$\tau' = 0,4337 \cdot \sigma + 30,78, \quad (4)$$

де τ' – граничне дотичне напруження в площині зсуву насіннєвої маси, $\text{H} \cdot \text{м}^{-2}$;

σ – граничне нормальне напруження в площині зсуву насіннєвої маси, $\text{H} \cdot \text{м}^{-2}$.

Аналіз залежності (4) свідчить, що початковий опір зсуву досліджуваної насіннєвої маси пшениці, становить $30,78 \text{ H} \cdot \text{м}^{-2}$, а тангенс кута внутрішнього тертя, відповідно, $0,4337$, що становить $23^\circ 27'$.

Наступним етапом досліджень було проведення серії факторного експерименту для визначення цих самих показників, але при силовій дії електричного поля коронного розряду.

План факторного експерименту наведено в таблиці.

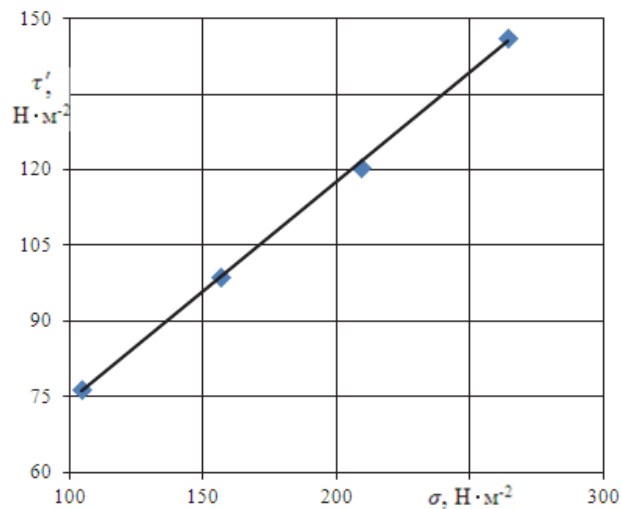


Рис. 3. Залежність граничного дотичного напруження від нормального напруження в товщі насіння пшениці без силової дії поля коронного розряду

План факторного експерименту для визначення залежності граничного дотичного напруження від нормального напруження в товщі насіння пшениці з силовою дією поля коронного розряду

Рівні варіювання факторів	Фактори	
	Напруга джерела живлення електродної системи U , кВ	Товщина шару насіння h , м
Верхній	30	0,042
Середній	25	0,035
Нижній	20	0,028

У результаті опрацювання експериментальних даних було отримано рівняння регресії другого порядку, яке адекватно при ймовірності $P = 0.9$ та коефіцієнтом множинної детермінації $D = 0.987$, залежності кута внутрішнього тертя насіння пшениці із силовою дією поля коронного розряду від напруги джерела живлення електродної системи й товщини його шару:

$$\varphi_{ел.} = 39,967 + 1,401 \cdot U - 1256,67 \cdot h - 0,027 \cdot U^2 + 14285,7 \cdot h^2, \quad (5)$$

де U – напруга джерела живлення електродної системи, кВ;

h – товщина шару насіння пшениці, м.

Графічно залежність (5) показана на рис. 4.

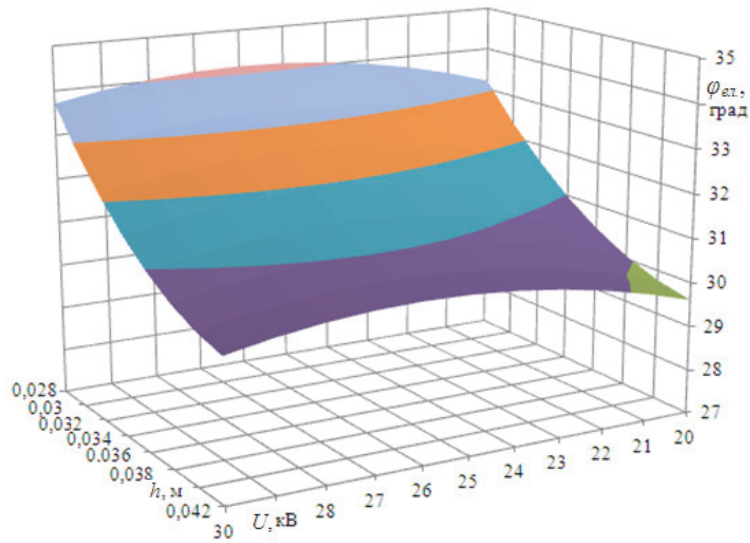


Рис. 4. Графічна залежність кута внутрішнього тертя насіння пшениці із силовою дією поля коронного розряду від напруги джерела живлення електродної системи й товщини його шару

Аналіз графічної залежності (рис. 4) свідчить, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ й товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, кут внутрішнього тертя насіннєвої маси пшениці змінюється в межах від 29°37' до 34°9'. Максимального значення кут внутрішнього тертя набуває при напрузі джерела живлення 26 кВ й товщині шару насіння 0,028 м.

Також, у результаті опрацювання експериментальних даних отримана залежність початкового опору зсуву насіннєвої маси пшениці від напруги джерела живлення електродної системи й товщини її шару, яка адекватна при ймовірності $P = 0.95$ та коефіцієнтом множинної детермінації $D = 0.982$.

$$\tau_{0_{ел.}} = 161,97 + 3,713 \cdot U - 3893,05 \cdot h, \quad (6)$$

де U – напруга джерела живлення електродної системи, кВ;

h – товщина шару насіння пшениці, м.

Графічно залежність (6) показана на рис. 5. Аналізуючи її бачимо, що при зростанні напруги джерела живлення та зменшенні товщини шару насіння пшениці її початковий опір зсуву збільшується. У межах напруги джерела живлення від 20 до 30 кВ і при зміні товщини шару від 0,042 м до 0,028 м початковий опір зсуву насіннєвої маси пшениці змінюється від 72,7 Н·м⁻² до 164,4 Н·м⁻².

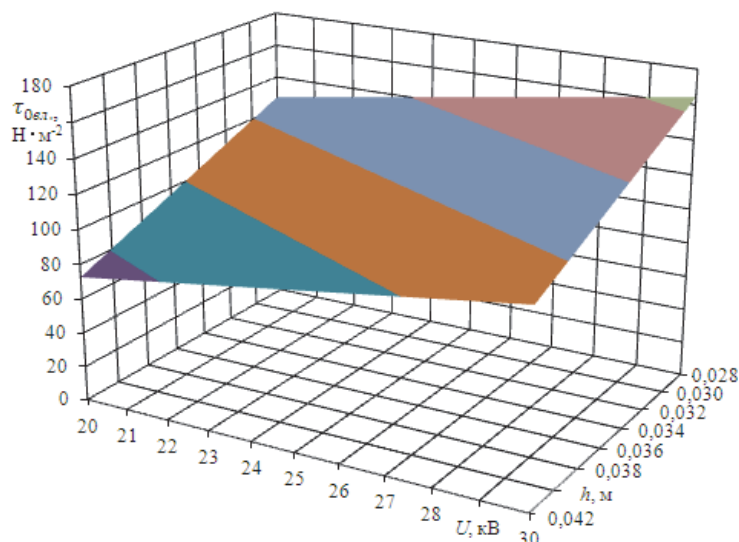


Рис. 5. Графічна залежність початкового опору зсуву насіннєвої маси пшениці з силовою дією поля коронного розряду від напруги джерела живлення електродної системи й товщини її шару

Порівнюючи показники сипучості насіннєвої маси пшениці при силевій дії електричного поля коронного розряду та без неї встановлено, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ й товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, кут внутрішнього тертя збільшується в межах від 1,26 до 1,47 раза, а початковий опір зсуву цієї маси збільшується в межах від 2,36 до 5,34 раза.

Висновки і перспективи. У полі коронного розряду змінюються фізико- механічні властивості насіннєвих мас сільськогосподарських культур: збільшується кут внутрішнього тертя та початковий опір зсуву.

Встановлено, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ та товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, збільшення кута внутрішнього тертя насіннєвої маси пшениці знаходиться в межах від 1,26 до 1,47 раза. Найбільшого значення $34^{\circ}9'$ кут внутрішнього тертя насіння пшениці досягає при напрузі джерела живлення 26 кВ і товщині шару насіння 0,028 м.

Встановлено, що при зміні напруги джерела живлення електродної системи від 20 кВ до 30 кВ та товщині шару насіння від 0,028 м до 0,042 м, початковий опір зсуву насіннєвої маси насіння збільшується в межах від 2,36 до 5,34 раза. Найбільше значення початкового опору зсуву $164,4 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ насіннєва маса пшениці досягає при напрузі джерела живлення 30 кВ і товщині шару насіння 0,028 м.

Список літератури

1. Зінченко О. І. Рослинництво : підруч. / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко ; за ред. О. І. Зінченка. – К. : Аграрна освіта, 2001. – 591 с. : іл.
2. Тарасенко А. П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А. П. Тарасенко. – Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2003. – 331 с.

3. Герасимчук Ю. В. Перспективи використання електричного поля для зниження травмування насіння в процесах передпосівної підготовки / Ю. В. Герасимчук, В. Г. Сахневич // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2012. – Вип. 96. – С. 444–453.

4. Пугачев А. Н. Повреждения зерна машинами / А. Н. Пугачев. – М. : Колос, 1976. – 320 с. с ил.

5. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов // 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 432 с. : ил.

6. Царенко О. М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : підруч. / О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін. ; за ред. С. С. Яцуна. – К. : Мета, 2003. – 448 с. : іл.

References

1. Zinchenko, O. I., Salatenko, V. N., Bilonozhko, M. A. (2001). Roslynnytstvo [Plant growing]. Kyiv, Ahrarna osvita, 591.

2. Tarasenko, A. P. (2003). Snizheniye travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoy obrabotke [Reduction of seed injuries during harvesting and post-harvest processing]. Voronezh, FGOU VPO VGU, 331.

3. Gerasimchuk, Y. V., Sakhnevich, V. G. (2012). Perspektivy ispol'zovaniya elektricheskogo polya dlya snizheniya travmirovaniya semyan v protsessakh predposevnoy podgotovki [Prospects of using electric field to reduce the trauma of seeds in the processes of pre-sowing preparation]. Mechanization and electrification of agriculture, 96, 444–453.

4. Pugachev, A. N. (1976). Povrezhdeniya zerna mashinami [Damage to grain by machines]. Moscow: «Kolos», 320.

5. Zenkov, R. L., Ivashkov, I. I., Kolobov, L. N. (1987). Mashiny nepreryvnogo transporta [Continuous transport machines]. Moscow: Mashinostroyeniye, 432.

6. Tsarenko, O. M., Voytyuk, D. H., Shvayko, V. M. (2003). Mekhaniko-tekhnologichni vlastyvosti sil's'kohospodars'kykh materialiv [Mechanical-technological properties of agricultural materials]. Kyiv: Meta, 448.

ВЛИЯНИЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ПОКАЗАТЕЛИ СЫПУЧЕСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

Ю. Н. Берлинец

Аннотация. *Определено влияние силового воздействия электрического поля коронного разряда на показатели сыпучести семян пшеницы.*

В поле коронного разряда изменяются физико-механические свойства семенных масс сельскохозяйственных культур: увеличивается угол внутреннего трения и начальное сопротивление сдвигу.

На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что при изменении напряжения источника питания электродной системы от 20 кВ до 30 кВ и толщине слоя семян от 0,028 м

до 0,042 м, увеличение угла внутреннего трения семенной массы пшеницы находится в пределах от 1,26 до 1,47. Наибольшее значение 34°9' угол внутреннего трения семян пшеницы достигает при напряжении источника питания 26 кВ и толщине слоя семян 0,028 м.

Установлено, что при изменении напряжения источника питания электродной системы от 20 кВ до 30 кВ и толщине слоя семян от 0,028 м до 0,042 м, начальное сопротивление сдвигу семенной массы семян увеличивается в пределах от 2,36 до 5,34. Наибольшее значение начального сопротивления сдвигу 164,4 Н·м⁻² семенная масса пшеницы достигает при напряжении источника питания 30 кВ и толщине слоя семян 0,028 м.

Ключевые слова: сыпучесть, угол внутреннего трения, начальное сопротивление сдвигу, электрическое поле, коронный разряд, транспортировка семян сельскохозяйственных культур

INFLUENCE OF THE POWER ACTION OF THE ELECTRIC FIELD OF THE CORONA DISCHARGE ON THE INDICATORS OF FLOWABILITY OF WHEAT SEEDS

Yu. M. Berlinets

Abstract. The aim of the research was to determine the influence of the power action of the electric field of the corona discharge on the indicators of flowability of wheat seeds.

In the field of corona discharge, the physical and mechanical properties of seed crops of agricultural crops change: the angle of internal friction and the initial displacement resistance increase.

On the basis of undertaken experimental studies it is set that at the change of tension of source of feed of the electrode system from 20 kV to 30 kV and to the thickness of layer of seed from a 0,028 m a to 0,042 m, an increase of corner of internal friction of seminal mass of wheat is in limits from 1,26 to 1,47.

A most value a 34°9' corner of internal friction of seed of wheat arrives at tension of source of feed of 26 kV and to the thickness of layer of seed 0,028 m.

It is set that at the change of tension of source of feed of the electrode system from 20 kV to 30 kV and the thickness of the seed layer from 0.028 m to 0.042 m, the initial resistance of the shift of seed mass of the seed increases in the range from 2.36 to 5.34.

Most value of initial resistance of change 164,4 N·m⁻² seminal mass of wheat reaches at a voltage of 30 kV and a thickness of the seed layer of 0.028 m.

Keywords: flowability, corner of internal friction, initial resistance of change, electric field, corona discharge, transporting of seed of agricultural cultures

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

М. В. БРАГІДА, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Зварювальні трансформатори потребують удосконалення системи регулювання струму зварювання. У більшості з них регулювання здійснюється зміною повітряного проміжку в магнітопроводі (розсіювання магнітного потоку). При такому способі регулювання параметри магнітопроводу розраховують на мінімальний струм зварювання, отже, масогабаритні показники завищені. До того ж, є ненадійна механічна система регулювання, яка потребує додаткової уваги.

Метою дослідження є визначення меж та режимів роботи зварювального трансформатора з плавним регулюванням струму зварювання, описаного в [4]. У лабораторних умовах проведено дослідження основних характеристик та виявлено деякі закономірності регулювання в насичених магнітних системах.

Важливим виявився той факт, що регулювання в бік зменшення струму зварювання здійснюється до певної величини. Подальше збільшення струму регулювання веде до збільшення струму зварювання.

Ключові слова: зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання струму зварювання, первинна обмотка, вторинна обмотка, регулювальна характеристика, характеристика короткого замикання

Актуальність. Зварювальні трансформатори потребують удосконалення системи регулювання струму зварювання. Нині для цього існує кілька різних способів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередніх працях [2, ст.131–135; 3, ст. 96–99] розглянуто методику визначення параметрів системи регулювання струму зварювання, а саме: параметри магнітопроводу та кількість витків обмотки регулювання.

Лабораторні дослідження показали, що обмоткою, яка розміщується на магнітопроводі регулювання, можна регулювати струм зварювання в бік його зменшення. Це означає, що розрахунок його параметрів виконується на максимально допустимий струм зварювання $I_{2\max}$.

$$X_{\text{дп}} = \omega L_{\text{дп}} \approx \frac{U_2}{I_{2\text{max}}} \quad (1)$$

Тоді індуктивний опір його зменшиться, а отже, зменшаться його масогабаритні показники. Це важливо, адже у зварювальних трансформаторах класичного виконання, де струм зварювання регулюється зміною величини повітряного проміжку магнітопроводу, мінімальна його величина буде при відсутньому повітряному проміжку. Індуктивний опір, згідно з (1) буде більший, а отже, розміри його збільшаться.

Мета дослідження – визначення меж та режимів роботи зварювального трансформатора, а також експериментальна перевірка електромагнітних процесів у трансформаторі і обґрунтування прийнятого діапазону регулювання струму зварювання.

Матеріали і методи дослідження. Лабораторні дослідження показали також обмеженість діапазону регулювання струму за умови, що вся вторинна обмотка охоплює магнітопровід регулювання. Це пояснюється великою напруженістю магнітного поля (насичення сталі). Максимальним струмом зварювання задаємося і він визначається й залежить від параметрів магнітопроводу регулювання [2, ст.131–135]. МРС магнітопроводу та напруженість його магнітного поля зв'язані виразом:

$$I_{2\text{max}} \cdot W_2 = H_p \cdot l_p \quad (2)$$

де $I_{2\text{max}}$ – максимальний струм зварювання, А;
 W_2 – кількість витків вторинної обмотки, вит;
 H_p – напруженість магнітного поля магнітопроводу регулювання, А/вит;
 l_p – середня довжина кола магнітопроводу, м.

При великих струмах зварювання 200÷250 А та кількості витків 60÷80, діаметрі трансформатора 250 мм напруженість поля сягає 18000÷25000 А/м. Діапазон регулювання струму буде незначним навіть при збільшенні числа витків обмотки регулювання.

Результати дослідження та їх обговорення. Доцільно вторинну обмотку виконати розподіленою, тобто частина обмотки мотається безпосередньо по основному магнітопроводу, а друга її частина охоплює як основний магнітопровід, так і магнітопровід регулювання. Тоді вираз (2) матиме вигляд

$$I_{2\text{max}} \cdot W_{2\text{ф}} = H_p \cdot l_p \quad (3)$$

де $W_{2\text{ф}}$ – кількість витків вторинної обмотки, що охоплюють магнітопровід регулювання, вит.

Збільшаться габарити (висота) магнітопроводу, а отже, зростуть його магнітні можливості.

Проведені лабораторні дослідження показали, що у насичених системах магнітопроводів для визначення струму зварювання можна скористатися виразом

$$I_2 = \frac{I_{2max} \cdot W_{2p} - I_p \cdot W_p}{W_{2p}}. \quad (4)$$

Похибка становить до 2,5% у бік завищення у насичених магнітопроводах (рис. 1), а в слабонасичених (рис. 2) вона зростає до 5% теж у бік завищення. На графіку (рис. 2) характерна точка, коли крива, отримана дослідним шляхом та розрахункова перетинаються.

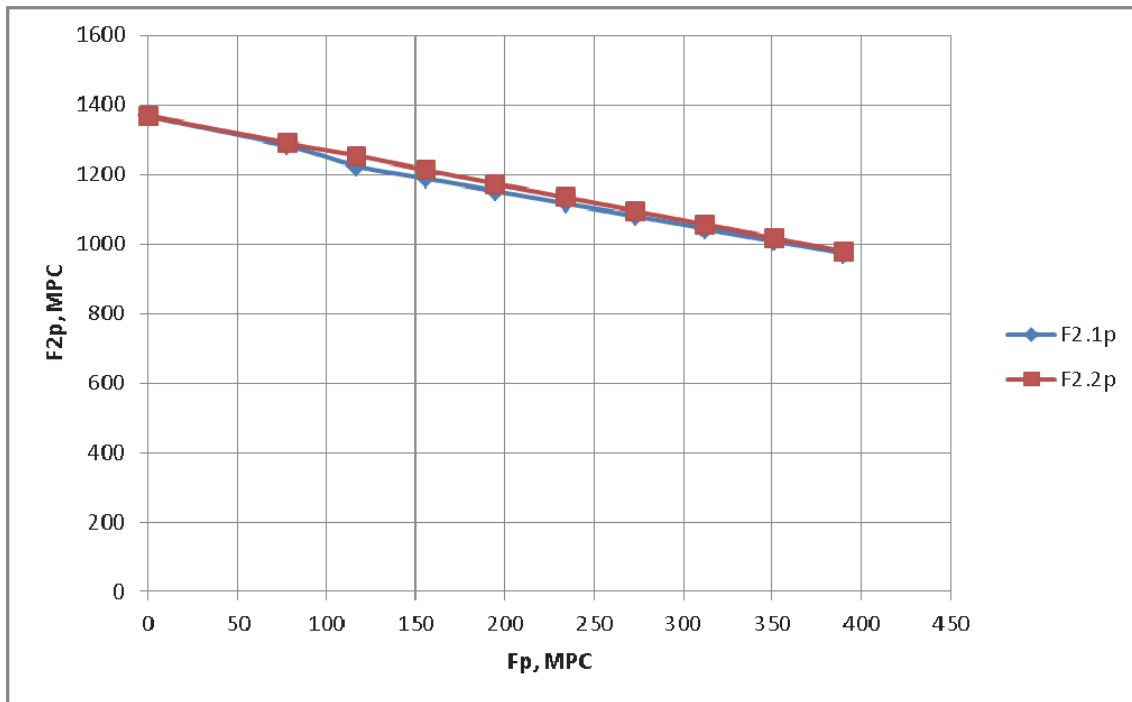


Рис. 1. Залежність МРС вторинної обмотки F_{2p} від МРС обмотки регулювання F_2

$F_{2.1p}$ – дослідні значення; $F_{2.2p}$ – розрахункові значення

Це точка ентропії магнітного поля даного магнітопроводу. Подальше збільшення струму регулювання веде до збільшення струму первинної (вторинної) обмотки. Ефективне регулювання струму можна здійснювати тільки до цього значення.

Це підтверджує і регульовальна характеристика зварювального трансформатора (рис. 3). Регульовальна характеристика – залежність струму первинної (вторинної) обмотки трансформатора від струму регулювання при постійній напрузі.

Характеристики при різних напругах наведені на рис. 3.

Якщо сталь магнітопроводу регулювання струму зварювання насичена, то зі збільшенням струму регулювання струм у первинній обмотці зменшується практично лінійно (рис. 3, верхня крива). При меншому насиченні сталі (нижня крива) характеристика має мінімальне значення до якого зменшується струм первинної обмотки при збільшенні струму в обмотці регулювання. Подальше збільшення струму регулювання приводить до збільшення струму первинної обмотки.

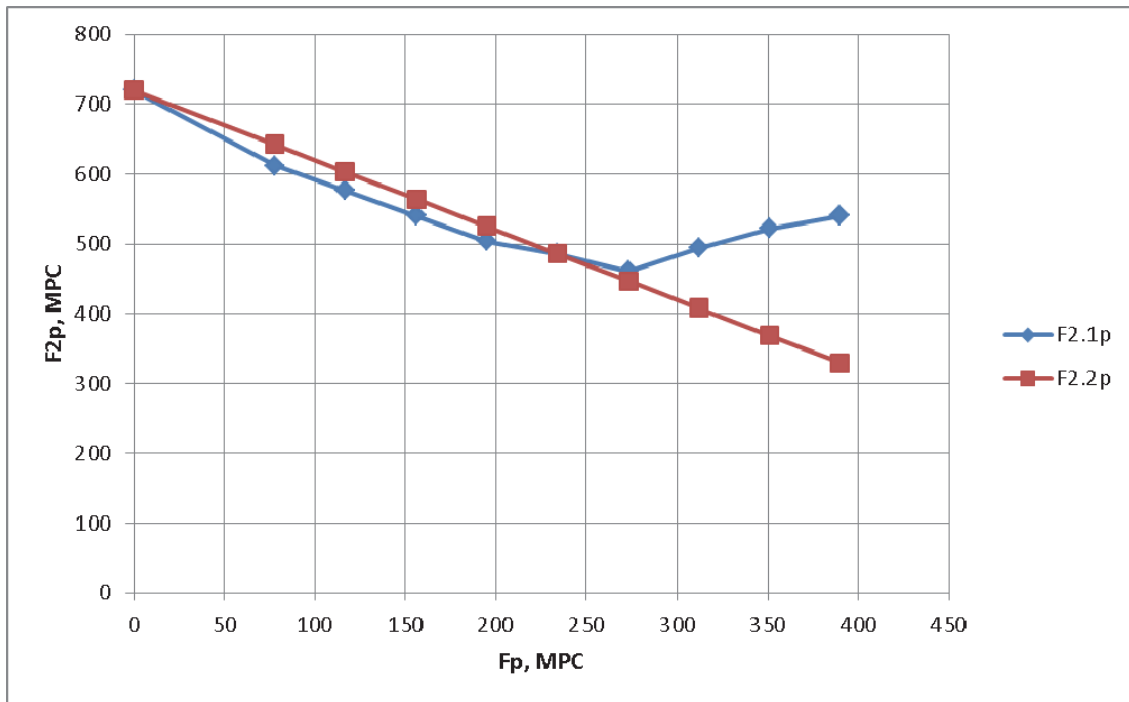


Рис. 2. Залежність MPC вторинної обмотки F_{2p} від MPC обмотки регулювання F_2

$F_{2.1p}$ – дослідні значення; $F_{2.2p}$ – розрахункові значення

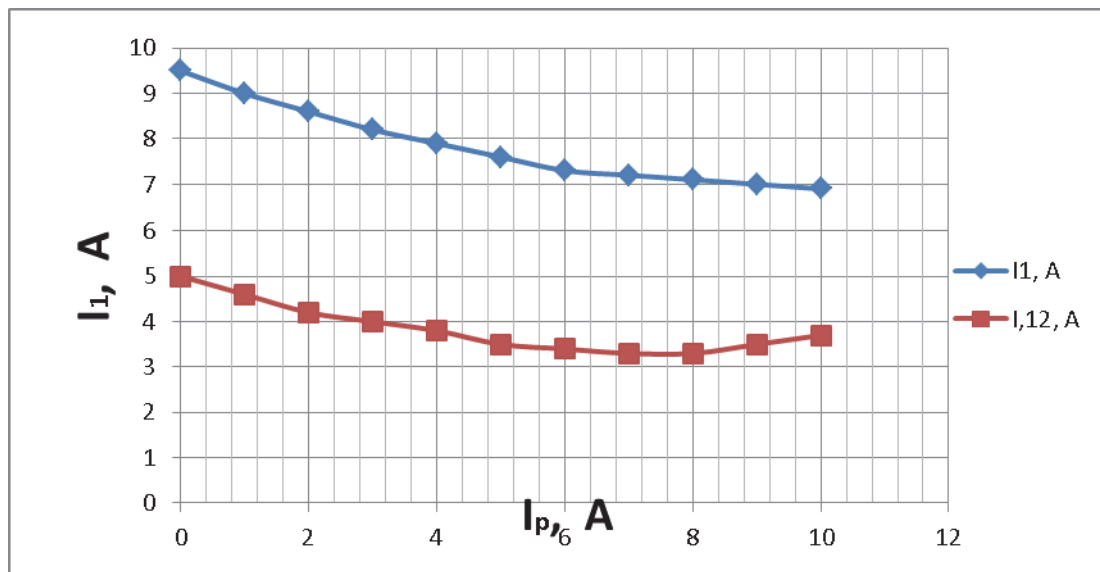


Рис. 3. Регульовальні характеристики зварювального трансформатора

I_1 – при напрузі 100 В; $I_{1,2}$ – при напрузі 85 В

Для неї теж характерне значення мінімуму при певних струмах регулювання. У слабонасичених магнітопроводах ця точка проявляється при менших значеннях струму регулювання, у насичених – при більших, а для ненасичених характерне збільшення струму первинної (вторинної) обмотки при збільшенні струму регулювання.

Заслужують на увагу характеристики короткого замикання. У такого типу зварювальних трансформаторів маємо сімейство характеристик короткого замикання, які залежать від струму регулювання.

Якщо обмотка регулювання розімкнена, то залежність $U_1=f(I_1)$ при короткозамкненій вторинній обмотці має виражений індуктивний опір (рис. 4). Явно виражене насичення магнітопроводу регулювання струму зварювання.

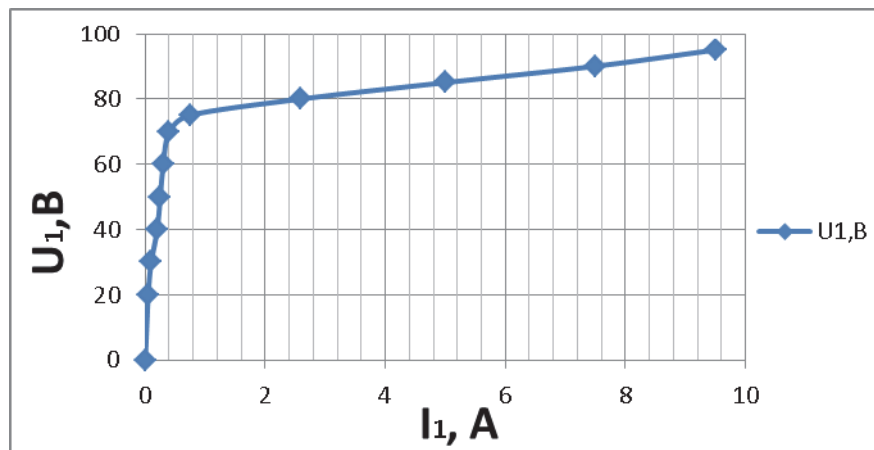


Рис. 4. Характеристика короткого замикання при $I_p = 0$.

При замиканні обмотки регулювання струму зварювання на опір маємо сімейство характеристик з меншим насиченням сталі магнітопроводу (рис. 5), а при певному струмі регулювання можна отримати майже лінійну характеристику.

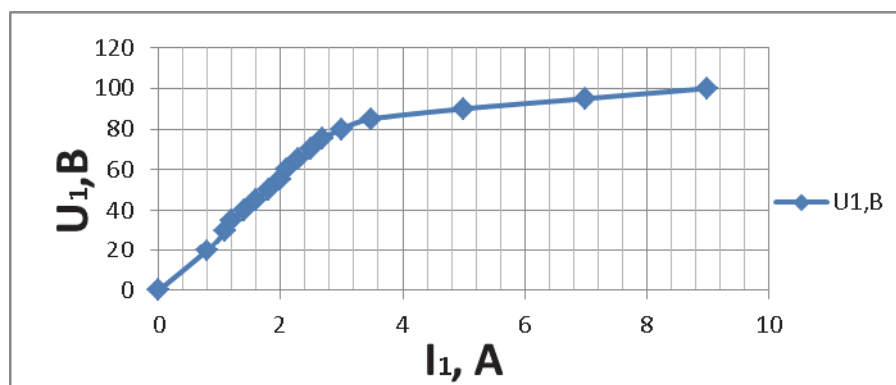


Рис. 5. Характеристика короткого замикання при $I_p = 10 A$.

Висновки і перспективи

1. У насичених магнітопроводах електромагнітне регулювання струму можливе в бік зменшення. Ефективність діапазону регулювання обмежується певним значенням МРС магнітопроводу.
2. Значення цієї МРС визначається дослідним шляхом.

Список літератури

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1973. – 750 с.
2. Брагіда М. В. Зварювальний трансформатор із плавним регулюванням струму зварювання / М. В Брагіда, І. С. Зубков // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 224. – С.131–135.
3. Брагіда М. В. Розрахунок параметрів обмотки регулювання струму зварювання / М. В Брагіда, І. С. Зубков // Науковий вісник НУБіП України. – 2016. – Вип. 252. – С. 96–99.
4. Пат. 72397 України МПК Н 01 F 30/06/ Трансформатор для зварювання / Васьковський Ю. М., Брагіда М. В., Чуєнко Р. М., Брагіда Є. М. ; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – №201014661 ; заявл. 06. 12. 10 ; опубл. 27. 08 12, Бюл. №16.

References

1. Bessonov, L. A. (1973). Teoretichni osnovy elektrotechniky [Theoretical bases electrical engineers]. Moscow, Russia: Vishcha shkola, 750.
2. Bragida, M. V., Zubkov, I. S. (2015). Svarochnyi transformator z plavnym rehulyuvannyam strumu zvaruvannya [The welding transformer with smooth regulating of a welding current] Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 224, 131–135.
3. Bragida, M. V., Zubkov, I. S. (2016). Rozrakhunok parametriv obmotky rehuliuвання strumu zvaryvannya [Calculation of welding current regulation winding parameters] Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 252, 96–99.
4. Vaskovskyi, Ju. M., Bragida, M. V., Chuenko R. M., Bragida E. M. (2012). The transformer for welding. Patent of Ukraine for useful model. H 01 F 30/06. № 72397; declared 06.12.2010; published 27.08.2012, № 16.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

М. В. Брагида

Аннотация. Сварочные трансформаторы требуют усовершенствования системы регулирования тока сваривания. Регулирование осуществляется изменением воздушного зазора в магнитопроводе (рассеивание магнитного потока). При таком способе регулирования параметры магнитопровода рассчитывают на минимальный ток сваривания, а значит, массогабаритные показатели завышены.

Целью исследования есть определение границ и режимов работы сварочного трансформатора с плавным регулированием тока сваривания, описанного в [4]. Проведены исследования характеристик и определены закономерности регулирования в насыщенных магнитных системах.

Ключевые слова: сварочный трансформатор, тороид, магнитопровод, обмотка регулирования, вторичная обмотка, первичная обмотка, регулировочная характеристика, характеристика короткого замыкания

EXPERIMENTAL STUDY ON THE WELDING TRANSFORMER MODES

M. V. Bragida

Abstract. *Welding transformers require the improvement of the welding current control system. Regulation is carried out by changing the air gap in the magnetic circuit (magnetic flux dissipation). With this method of regulation, the parameters of the magnetic circuit are calculated for the minimum welding current, and hence the mass-dimensional parameters are overestimated.*

The purpose of the study is to determine the boundaries and operating modes of a welding transformer with a smooth regulation of the welding current described in [4]. The study of characteristics has been carried out, and the regularities of regulation in saturated magnetic systems have been determined.

Keywords: *welding transformer, toroid, magnetic core, regulation winding, secondary winding, primary winding, control characteristic, short circuit characteristic*

УДК 631.3:621.1

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОНАПІРНОЇ БАШТИ З ВИКОРИСТАННЯМ НАГРІВАЛЬНИХ КАБЕЛІВ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук
E-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. *Визначено особливості визначення й розрахунку температурного режиму водонапірної башти за негативних температур навколишнього повітря на прикладі дослідження теплового потоку через циліндричну стінку. Застосування даного методу в технологічному процесі баштової системи водопостачання в сільській місцевості дозволяє визначати тепловий баланс водонапірної башти, що дасть змогу визначати час охолодження води у водонапірній башті до самого моменту замерзання.*

Показано графіки залежності товщини льоду, що утворився на внутрішній стінці водонапірної ємкості башти, від часу. Встановлено взаємозв'язки величини товщини льоду від конструктивно-режимних параметрів роботи водонапірної вежі, що забезпечують її працездатність за негативних температур навколишнього повітря і коли порушується робота систем автоматичного регулювання рівня води (датчиків рівнів), знижується корисний об'єм башти і, зрештою, відбувається її механічне руйнування.

© В.Є. Василенков, 2017

EXPERIMENTAL STUDY ON THE WELDING TRANSFORMER MODES

M. V. Bragida

Abstract. *Welding transformers require the improvement of the welding current control system. Regulation is carried out by changing the air gap in the magnetic circuit (magnetic flux dissipation). With this method of regulation, the parameters of the magnetic circuit are calculated for the minimum welding current, and hence the mass-dimensional parameters are overestimated.*

The purpose of the study is to determine the boundaries and operating modes of a welding transformer with a smooth regulation of the welding current described in [4]. The study of characteristics has been carried out, and the regularities of regulation in saturated magnetic systems have been determined.

Keywords: *welding transformer, toroid, magnetic core, regulation winding, secondary winding, primary winding, control characteristic, short circuit characteristic*

УДК 631.3:621.1

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОНАПІРНОЇ БАШТИ З ВИКОРИСТАННЯМ НАГРІВАЛЬНИХ КАБЕЛІВ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук
E-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. *Визначено особливості визначення й розрахунку температурного режиму водонапірної башти за негативних температур навколишнього повітря на прикладі дослідження теплового потоку через циліндричну стінку. Застосування даного методу в технологічному процесі баштової системи водопостачання в сільській місцевості дозволяє визначати тепловий баланс водонапірної башти, що дасть змогу визначати час охолодження води у водонапірній башті до самого моменту замерзання.*

Показано графіки залежності товщини льоду, що утворився на внутрішній стінці водонапірної ємності башти, від часу. Встановлено взаємозв'язки величини товщини льоду від конструктивно-режимних параметрів роботи водонапірної вежі, що забезпечують її працездатність за негативних температур навколишнього повітря і коли порушується робота систем автоматичного регулювання рівня води (датчиків рівнів), знижується корисний об'єм башти і, зрештою, відбувається її механічне руйнування.

© В.Є. Василенков, 2017

Встановлено, що за температури повітря -10°C температура в башті буде становити 5°C через 5,5 год, а товщина льоду через 140 год буде близько 45 см; за -30°C температура в башті буде становити 5°C через 2 год, при цьому та сама товщина льоду буде вже через 40 хв.

Ключові слова: *система водопостачання, витрата води, башта Рожновського, тепловий режим, циліндрична стінка*

Актуальність. У сільському господарстві на різні технологічні потреби необхідна значна кількість води. Тому організація надійного безперебійного водопостачання сільськогосподарських споживачів є одним із найважливіших завдань сільськогосподарського виробництва.

Нині більшість систем водопостачання на селі організована з використанням відносно дешевих металевих водонапірних веж Рожновського. Їх істотним недоліком є обмерзання внутрішньої поверхні стінок у зимовий період.

Слід також зазначити, що останнім часом значно скоротилося як сільське населення, так і кількість сільськогосподарських тварин, тобто споживання води зменшилося, а башти було спроектовано й запущено в експлуатацію раніше. У баштах почався процес застою води, при цьому втрачається якість води, а в зимовий період вода замерзає, і, як результат, – вихід з ладу башт.

Таким чином, запобігання надмірному обмерзання башт Рожновського нині є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливість проблеми впливає з відомого факту, що діяльність (а саме: життя людей і тварин) неможлива без води. Люди і тварини можуть тижнями бути без їжі, а без води – тільки 2–3 дні. Тому, порушення водопровідної мережі з баштами Рожновського призводить до важких наслідків. Особливо небезпечне розмерзання цієї мережі в умовах суворих зим останніх років для Київської області, коли мінімум від'ємної температури сягав максимуму $-25 - 32^{\circ}\text{C}$, для південно-східної частини нашої держави – нижче за -40°C . Відомо, що за температури нижче за 4°C , об'єм води починає збільшуватися приблизно на 10 %, при замерзанні – тиск у замкненому просторі сягає 250 МПа [1]. Під дією високого тиску відбувається розрив (розморожування) найбільш стійких трубопроводів і башт. Розморожена водяна система, як правило, не підлягає ремонту і потребує повної заміни.

При цьому, насамперед, порушується робота систем автоматичного регулювання рівня води (датчиків рівнів), знижується корисний об'єм башти і, зрештою, відбувається її механічне руйнування [2, 3]. Як показала практика, застосування захисту башти від обмерзання за допомогою її теплоізоляції в деяких господарствах неефективне, оскільки потребує значних додаткових витрат, що зводять тим самим нанівець головну перевагу башти Рожновського – її дешевизну, при цьому прискорюється корозія стінок башти при потряптанні між ними й теплоізоляцією вологи. Також важко виявити і згодом усунути можливі затікання. Разом з тим, відомі випадки істотного

підвищення стійкості водонапірної башти до обмерзання шляхом повнішого використання тепла води, що надходить зі свердловини.

Незважаючи на те, що явища розморожування водяних систем давно відомі та добре відомі катастрофічні наслідки цих явищ, як показав літературно-патентний пошук, проблема захисту водопровідної мережі від розмерзання ще далека від свого задовільного практичного вирішення.

Мета дослідження – визначення конструктивно-режимних параметрів роботи водонапірної вежі Рожновського, що забезпечують її працездатність за негативних температур навколишнього повітря.

Матеріали і методи дослідження. Використовується методика теплового потоку через циліндричну стінку, диференціальні та інтегральні методи підрахунків.

Результати дослідження. Тепловий потік через циліндричну стінку розраховуємо за виразом:

$$Q = \frac{\pi l (T_{\text{в}} - T_{\text{пов}})}{\frac{1}{\alpha_1 d_{\text{зов}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{зов}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{л}}} \ln \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн.л}}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{\text{вн.л}}}}, \quad (1)$$

де Q – тепловий потік, Вт;

l – висота циліндра, м;

$T_{\text{в}}$ – температура води в башті, °С;

$T_{\text{пов.}}$ – температура навколишнього повітря, °С;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від води до крижаної стінки;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коефіцієнт теплопровідності сталевих стінок;

$\lambda_{\text{л}}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки льоду;

$d_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр сталевих стінок, м;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр сталевих стінок, м;

$d_{\text{вн.л}}$ – внутрішній діаметр стінки льоду, м.

З іншого боку, енергію, яка повинна надходити в башту щомиті з водою зі свердловини, знайдемо за виразом:

$$Q = c \rho V \Delta T, \quad (2)$$

де c – питома теплоємність води, кДж/кг°С;

ρ – густина води, кг/м³;

V – об'єм води, що надійшла в башту зі свердловини за секунду, м³/с;

ΔT – різниця температур води в башті й у свердловині, °С.

Рівняння теплового балансу запишемо так:

$$-C l dT = (T_1 - T_{\text{пов}}) \alpha_1 S_1 dt \quad (3)$$

$$-CldT = 2\pi\lambda_{cm}l \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{R_1}{R_2}} dt \quad (4)$$

$$-CldT = (T_{води} - T_2)\alpha_2 S_2 dt, \quad (5)$$

де C – теплоємність маси води в циліндрі заввишки 1 м, Дж/(м·°K);

dt – проміжок часу, с;

T_1 – температура зовнішньої стінки, °C;

T_2 – температура внутрішньої стінки, °C;

dT – зміна температури води за час dt , °C;

R_1 – радіус зовнішньої поверхні, м;

R_2 – радіус внутрішньої поверхні, м;

S_1 – площа зовнішньої поверхні стінки, м²;

S_2 – площа внутрішньої поверхні стінки, м².

Перетворюючи рівняння (3) – (5) та інтегруючи, отримаємо:

$$t = K \ln \frac{T_{поч} - T_{нов}}{T_{кін} - T_{нов}}, \quad (6)$$

де $T_{поч}$ – початкова температура води, °C;

$T_{кін}$ – кінцева температура води, °C;

$$K = -\frac{c\rho R_2^2}{2} \left(\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2 R_2} \right). \quad (7)$$

За залежністю (6) можна визначити час охолодження води t у водонапірній башті від $T_{поч}$ до $T_{кін}$. На рис. 1 показано залежності, отримані за рівнянням (6) роботи [4].

На рис. 2 показано отримані графіки залежності товщини льоду, що утворився на внутрішній стінці водонапірної ємності башти, від часу.

Запропоновано спосіб захисту водонапірної башти з нагрівальними кабелями для датчиків рівня води електродного типу. Підігрів води навколо вертикально розташованих у вежі електродів можна здійснити саморегульованими нагрівальними проводами температурою 65 °C – 110 °C.

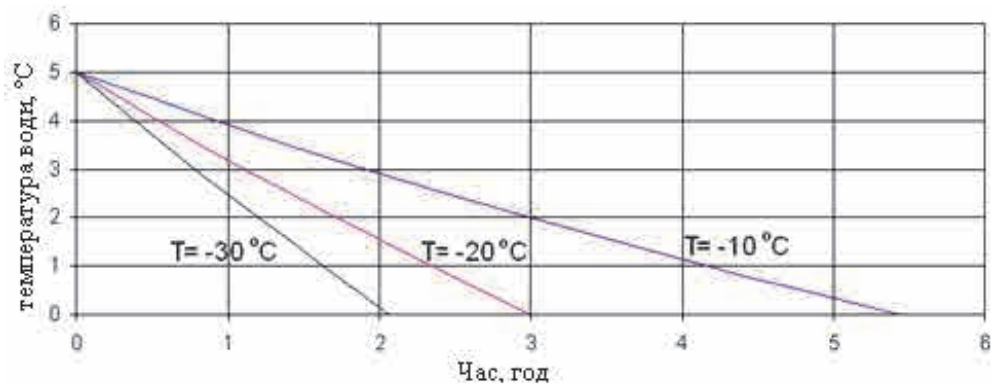


Рис. 1. Залежність температури води від часу

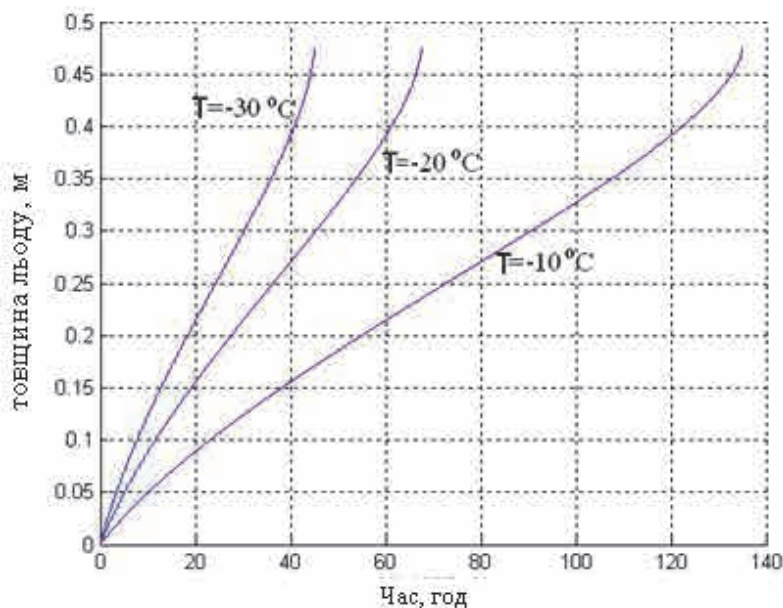


Рис. 2. Залежність товщини льоду, що утворився на внутрішній стінці водонапірної ємкості башти, від часу

Провід відрізується відповідно до довжини занурених електродів, при цьому їх характеристики, наведені в таблиці, не змінюються. Крім того, дроти не перегріваються при роботі на повітрі і при укладанні з само перетинаються. За потреби їх можна згинати в необхідних місцях.

Двожильні проводи 2 (рис. 3) розташовуються вертикально і паралельно з кожним з трьох металевих електродів 1 (загальним, верхнього і нижнього рівнів) у вежі Рожновського 4. Підключення проводів до напруги (220В) та їх кріплення, так само як і кріплення електродів, здійснюється на ізоляційній панелі 3 у верхній частині башти, недоступній для вологи і захищеній кришкою.

Нижні обрізані торці проводів слід ізолювати, щоб струмовідні жили не могли стикатися з водою і корпусом башти.

Кількість проводів і відстань їх по відношенню до електродів вибираються з практичних міркувань на місці залежно від типу проводів, конструкції електродів і передбачуваних зимових мінусових значень температури.

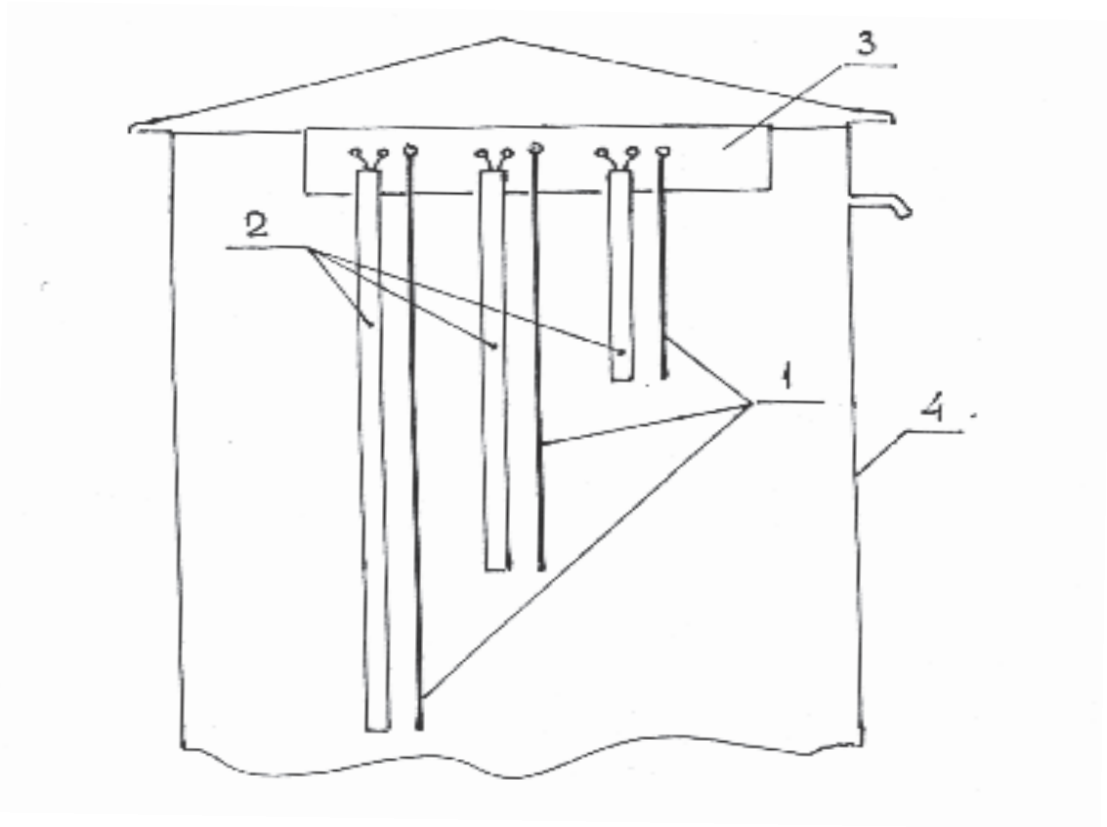


Рис. 3. Схема підключень нагрівальних проводів для підігріву води навколо електродних датчиків рівня в баштах Рожновського:

1 – металеві електроди; 2 – двожильні нагрівальні проводи; 3 – клемна дошка;
4 – башта Рожновського

Висновки і перспективи. 1. У результаті проведеного аналізу роботи водонапірних башт Рожновського в зимовий період встановлено, що за температури повітря -10°C температура в башті буде становити 5°C через 5,5 год, а товщина льоду через 140 год буде близько 45 см; за -30°C температура в башті буде становити 5°C через 2 год, при цьому та сама товщина льоду буде вже через 40 хв.

2. Підвищення її стійкості до обмерзання може бути досягнуте за рахунок модернізації конструкції водонапірної башти, а саме: використання нагрівальних кабелів, розташованих біля датчиків рівня.

3. Економічний ефект за рахунок зниження частоти відмов при використанні нагрівальних кабелів і, як результат, підвищення надійності водопостачання становить 5194 грн на одну башту за цінами 2012 р.

Список літератури

1. Новиков Ю. В. Вода и жизнь на земле / Ю. В. Новиков, М. М. Сайфутдинов. – М. : Наука, 1981.–184 с.
2. Петько В. Г. Незамерзаюча водонапірна вежа / В. Г. Петько, А. Б. Рязанов // Сільський механізатор. – 2008. – № 2. – С. 32.

3. Петько В. Г. Усовершенствование конструктивных параметров водонапорных башен Рожновского для повышения стойкости к обмерзанию / В. Г. Петько, А. Б. Рязанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 4. – С. 85–86.

4. Рязанов А. Б. Исследования динамики охлаждения воды в водонапорной башне Рожновского / А. Б. Рязанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1. – С. 50–51.

References

1. 1. Novikov, Yu. V., Sayfutdinov, M. M. (1981). Water and life on earth [Voda y` zhy`zn` na zemle.]. Moscow: Nauka, 184.

2. Petko, V. G. (2008). Non-freezing water tower [Nezamerzayucha vodonapirna vezha]. Kyiv: Rural machine, № 2, 32.

3. Petko, V. G. (2009). Improvement of the design parameters of the Rozhnovsky water towers to increase the stability of the bone to icing [Usovershenstvovaniye konstrukty`vny`h parametrov vodonaporny`h bashen Rozhnovskogo dlya povysheny`ya stojkosty` k obmerzany`yu]. – Moscow. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, № 4, 85–86.

4. Ryazanov, A. B. (2011). Investigations of the dynamics of water cooling in the water tower of Rozhnovsky [Y`ssledovany`ya dy`namy`ky` ohlazhdeny`ya vody v vodonapornoj bashne Rozhnovskogo]. Moscow: Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, № 1. 50–51.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

В. Е. Василенков

Аннотация. *Определены особенности определения и расчета температурного режима водонапорной башни при отрицательных температурах окружающего воздуха на примере исследования теплового потока через цилиндрическую стенку. Применение данного метода в технологическом процессе башенной системы водоснабжения в сельской местности позволяет определять тепловой баланс водонапорной башни, позволит определять время охлаждения воды в водонапорной башне до самого момента замерзания.*

Показаны графики зависимости толщины льда, образовавшегося на внутренней стенке водонапорной емкости башни, от времени. Установлены взаимосвязи величины толщины льда от конструктивно режимных параметров работы водонапорной башни, обеспечивающих ее работоспособность при отрицательных температурах окружающего воздуха и при нарушении работы систем автоматического регулирования уровня воды (датчиков уровней), снижается полезный объем башни и, наконец, происходит ее механическое разрушение.

Установлено, что при температуре воздуха -10 ° С температура в башне будет составлять 5 ° С через 5,5 ч, а толщина льда через 140 ч будет около 45 см; при -30 ° С температура в башне будет составлять 5 ° С через 2 ч, при этом та же толщина льда будет уже через 40 мин.

Ключевые слова: система водоснабжения, расход воды, башня Рожновского, тепловой режим, цилиндрическая стенка

MODERNIZATION OF THE CONSTRUCTION OF THE WATERPOWER TOWER WITH THE USE OF HEATING CABLES

V. Ye. Vasilenkov

Abstract. *Specific features of determining and calculating the temperature regime of the water tower at negative ambient temperatures are exemplified by the example of studying the heat flow through a cylindrical wall. The application of this method in the technological process of the tower system of water supply in rural areas allows to determine the heat balance of the water tower, will allow to determine the time of water cooling in the water tower until the moment of freezing.*

Graphs of the dependence of the ice thickness, formed on the inner wall of the tower's water capacity from time, are shown. The interrelations between ice thickness values and design parameters of the water tower functioning ensure its operability at negative ambient temperatures and when the operation of automatic water level control systems (level gauges) is disrupted, the useful volume of the tower is reduced and, in the end, its mechanical destruction occurs.

It has been established that at an air temperature of -10°C , the temperature in the tower will be 5°C after 5.5 hours, and the ice thickness after 140 hours will be about 45 cm and at -30°C the temperature in the tower will be 5°C through 2 h, while the same thickness of ice will reach as early as 40 minutes.

Keywords: *water supply system, water consumption, Rozhnovsky tower, thermal regime, cylindrical wall*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

В. В. МОМОТЮК, здобувач*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

Анотація. Розроблено та апробовано методологію використання когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату з метою економії фінансових ресурсів на виробництво продукції, із використанням спеціалізованого програмного забезпечення компанії «Синапс». Враховано можливість управляти включенням обладнання у часи мінімальної вартості електроенергії. Розроблено систему автоматичного регулювання температурного режиму в котельні, за якою можливо визначити, чи достатня для нормального режиму функціонування котельні кількість теплової енергії, яку виробляє когенераційна установка.

Розроблено методику управління генерацією та розподілом енергетичних ресурсів хлібокомбінату згідно з добовою зонною вартістю електроенергії (споріднена «Smart Grid»-концепції), що дало змогу підвищити економічну ефективність використання когенераційного обладнання до 10%.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, енергоефективність, когенераційна установка

Актуальність. Додатково до існуючої номенклатури технологічного обладнання хлібокомбінату встановлюється когенераційна установка, що викликано можливістю генерації та споживання як тепла, так і електроенергії.

Завдання такого обладнання – передача теплової енергії (гарячої води чи пари) у котельню підприємства та генерація економічно обґрунтованих обсягів електроенергії для виробничих споживачів цього енергетичного ресурсу.

Такий підхід відповідає концепції розподіленої генерації («Smart Grid»-технологіям), що дозволяє розраховувати на такі ефекти:

1. Підвищення споживчої надійності.
2. Енергобезпеку – за рахунок розширення видів палива, залучення місцевих енергоресурсів.
3. Оптимізацію керування навантаженням і резервуванням.
4. Забезпечення функції гнучкості «розумних мереж» (у частині генерації).

5. Енергоефективність – оптимізація графіка навантаження, зниження втрат у процесі передачі / розподілу енергії, розширення когенерації тощо.

6. Зниження навантаження на довкілля (викидів CO₂).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Запропоноване рішення можна віднести до технології «Smart Grid» за наступними інноваційними властивостями, що відповідають новим потребам електротехнічних комплексів та систем, серед яких можна виокремити такі:

- активна двонаправлена схема взаємодії в реальному масштабі часу інформаційного обміну між елементами і учасниками мережі, від генераторів енергії до кінцевих пристроїв енергоспоживання;

- охоплення всього технологічного ланцюжка електроенергетичної системи, від енерговиробників (як центральних, АЕС, ТЕЦ, ГЕС, так і автономних – когенераційної установки);

- забезпечення інформаційного обміну даними в «Smart Grid» передбачено використання цифрових комунікаційних мереж та інтерфейсів обміну даними.

Мета дослідження – розробка та апробація методології використання когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату з метою економії фінансових ресурсів на виробництво продукції.

Матеріали і методи дослідження. Однією з найважливіших цілей «SmartGrid» є забезпечення практично безперервного керованого балансу між попитом і пропозицією енергії. Для цього елементи мережі повинні постійно обмінюватися між собою інформацією про параметри енергії, режими споживання і генерації, кількість споживаної енергії та плановане споживання, комерційною інформацією. Тоді комплексне завдання системи управління електротехнологічним комплексом включатиме реалізацію двох каналів керування (рис. 1): виключення електротехнологічних агрегатів згідно з асортиментним завданням із врахуванням зонності тарифікації; регулювання передачі теплоносіїв у котельню.



Рис. 1. Схема функціонування системи управління електротехнологічним комплексом хлібокомбінату

Керування включенням обладнання, згідно з асортиментним завданням та зонним тарифом, забезпечується інтелектуальною системою. Відповідно, було розроблено систему автоматичного регулювання температурного режиму в котельні за якою можливо визначити, чи достатня для нормального режиму функціонування котельні та кількість теплової енергії, що виробляється когенераційною установкою.

Вибір типу й потужності когенераційної установки здійснюється на основі проведеного обстеження об'єкта енергопостачання з метою визначення його теплового навантаження в гарячій воді і парі, а також обсягу споживання електричної енергії.

При виборі електричної потужності когенераційної установки використовують такі підходи:

- виходячи з теплового навантаження об'єкта енергопостачання;
- виходячи з необхідного обсягу електричної енергії, тобто з електричного навантаження.

Для подальшого розрахунку необхідно визначити максимальне, мінімальне і середньогодинне навантаження когенераційної установки. Визначення максимального та мінімального навантажень встановлюється в результаті обстеження або при проектуванні об'єкта.

Середньогодинні навантаження визначаються таким чином:

$$Q_{\text{час}} = Q_{\text{рік}} / T_{\text{рік}}, \text{ Гкал/год}, \quad (1)$$

$$\text{Або } E_{\text{час}} = E_{\text{рік}} / T_{\text{рік}}, \text{ кВт год}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{час}}$ – середньодобове теплове навантаження, Гкал/год;

$Q_{\text{рік}}$ – річне споживання теплової енергії, Гкал;

$E_{\text{час}}$ – середнє електричне навантаження, кВт год;

$T_{\text{рік}}$ – число годин роботи за рік, годин.

Виходячи з отриманих даних, вибирають когенераційну установку (дві або більше) для покриття частини максимального теплового навантаження (приблизно 85%). При цьому для покриття пікового теплового навантаження використовується зазвичай додатково поставлений котел. Із середньогодинного і мінімального навантаження визначаємо необхідну кількість когенераційних установок з метою забезпечення максимального числа годин використання встановленої потужності.

Число використання встановленої потужності:

$$T_{\text{вст}} = Q_{\text{рік}} \cdot 0,95 / Q_{\text{вст}}, \quad (3)$$

де $Q_{\text{вст}}$ – встановлена теплова потужність прийнятої за аналог когенераційної установки, Гкал/год (при поправочному коефіцієнті на використання пікового навантаження водогрійного котла – 0,95).

Для розрахунку економії палива при впровадженні когенераційних установок необхідно знати витрати палива на виробництво електричної і теплової енергій на ній.

Для цього потрібно:

1. За паспортними даними обраного аналога когенераційної установки визначити коефіцієнт корисної дії при виробництві електричної енергії за конденсаційним циклом і розрахувати питому витрату палива на її виробництво:

$$b_e = 123 / \eta_e \cdot 100, \text{ г у.п./кВт год}, \quad (4)$$

де η_e – коефіцієнт корисної дії когенераційної установки за конденсаційним циклом, %.

Для перевірки можна використовувати представлені підприємствами-виробниками когенераційних установок витрати природного газу на установку.

2. Визначення годинної витрати умовного палива на виробництво електроенергії за конденсаційним циклом:

$$B_e = b_e \cdot N_{вст} / 1000, \text{ кг у.п./год}, \quad (5)$$

де $N_{вст}$ – встановлена електрична потужність когенераційної установки, кВт.

3. Для спрощення розрахунків при порівнянні витрат на вироблення електроенергії на класичних електростанціях і витрат на комбіновану генерацію електроенергії на когенераційних установках, питома витрата палива на відпуск теплової енергії приймається на рівні питомої витрати палива котельні, що працює на газі, $b_{me} = 165 \text{ кг у.п. / Гкал}$ і визначається витрата палива на відпуск теплової енергії:

$$B_{те} = b_{me} \cdot Q_{вст}, \text{ кг у.п./год}. \quad (6)$$

4. Визначення часової витрати умовного палива на вироблення електроенергії на обраній когенераційній установці за комбінованим циклом:

$$B_{еє} = B_e - B_{me}, \text{ кг у.п.} \quad (7)$$

5. Визначення питомої витрати палива на виробництво електричної енергії на когенераційній установці:

$$b_{еє} = B_{еє} / N_{вст} \cdot 1000, \text{ г у.п. / кВт год}. \quad (8)$$

6. Визначення виробленої електроенергії на когенераційній установці за рік:

$$E_{ген} = N_{вст} \cdot T_{вст}, \text{ кВт год}. \quad (9)$$

7. Визначення кількості електроенергії, відпущеної когенераційною установкою:

$$E_{в\text{іл}}^{КГУ} = E_{ген} \cdot (1 - \alpha_{ен}^{ЕЕ}), \text{ кВт год}, \quad (10)$$

де $\alpha_{еп}^{EE}$ – коефіцієнт споживання електроенергії на власні потреби когенераційної установки (на пускові пристрої та інше електричне обладнання), (0,2–1,0).

8. Необхідна кількість електроенергії, відпущеної з шин електростанцій, з урахуванням втрат в електричних мережах на її транспортування до введів струмоприймачів підприємства:

$$E_{від}^{EM} = E_{ген}^{KГУ} \cdot (1 + \Delta E_{вт}), \text{ кВт год}, \quad (11)$$

де $E_{ген}^{KГУ}$ – електроенергія, відпущена турбогенератором і спожита підприємством, кВт год;

$\Delta E_{вт}$ – коефіцієнт втрат в електричних мережах на транспортування електроенергії.

9. Визначення економії палива від застосування обраної когенераційної установки:

$$\Delta B^{KГУ} = E_{ген}^{EM} \cdot b_{еe}^{cp} - B_{еп}, \text{ кг у.п.}, \quad (12)$$

де $E_{ген}^{EM}$ – кількість електроенергії, відпущеної з шин електростанцій, з урахуванням втрат в електромережах на транспортування електроенергії, тис. кВт год;

$b_{еe}^{cp}$ – питома витрата палива на відпуск електроенергії г у.п. / кВт год.

Визначення укрупнених капіталовкладень на впровадження когенераційних установок на підприємствах включає теж ряд етапів:

1. Вартість обраної когенераційної установки визначається за даними підприємства-виробника аналога, прийнятого для розрахунку.

2. Вартість електротехнічних пристроїв становить орієнтовно 10–15% від вартості когенераційної установки.

3. Вартість тепломеханічної частини (підведення води, трубопроводи технічної води тощо) – 15–20% від вартості когенераційної установки.

4. Вартість будівельно-монтажних робіт залежно від: розміщення когенераційної установки в уже існуючій будівлі – 15–20% від вартості обладнання; розташування когенераційної установки в окремій будівлі – 20–30% від вартості обладнання.

5. Вартість проектно-розвідувальних робіт – 5–10% від вартості будівельно-монтажних робіт.

6. Вартість пусконаладжувальних робіт – 3–5% від вартості обладнання.

7. Вартість обладнання:

$$B_{обл} = B_{мг} + (0,1 - 0,15) \cdot B_{мг} + (0,15 - 0,2) \cdot B_{мг}, \text{ грн.} \quad (13)$$

8. Капіталовкладення в проект:

$$K_{тг} = B_{обл} + (0,05 - 0,1) \cdot B_{бмр} + (0,15 - 0,3) \cdot B_{обл} + (0,03 - 0,03) \cdot B_{обл}, \text{ грн.} \quad (14)$$

9. Визначення терміну окупності проекту:

$$T_{\text{окуп}} = K_{\text{мг}} / (\Delta B^{\text{КГУ}} - B_{\text{пал}}), \text{ років,} \quad (15)$$

де $K_{\text{мг}}$ – капіталовкладення в захід, грн.;

$B_{\text{пал}}$ – вартість т у.п., уточнюється на момент складання розрахунку.

Виходячи з такої послідовності (1–15), з урахуванням можливості управляти включенням обладнання у часи мінімальної вартості електроенергії та з використанням спеціалізованого програмного забезпечення компанії «Синапс», досліджуємо економічні аспекти експлуатації когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату, прийнявши такі початкові дані:

- потреби в електроенергії – 3690 кВт/добу;
- потреба у тепловій енергії (хлібопекарські печі) – 340 м³/добу природного газу (принята мінімальна теплота згорання – 8169 ккал/м³);
- тариф за електроенергію – тризонний;
- тарифи станом на січень 2017 року;
- для виконання завдання генерації тепла та електричної енергії вибрали три когенераційні установки німецької фірми GE JENBACHER (JMS-320) із електричним ККД – 40,78%, тепловим ККД – 45,64%, сумарним – 86,42%;
- обслуговуючий персонал – 4 чол. (середня заробітна плата 300 євро);
- амортизаційна норма – 6%.
- У процесі теоретичних досліджень розраховували:
- економію витрат на оплату за електроенергію;
- прибуток від впровадження когенераційного обладнання.

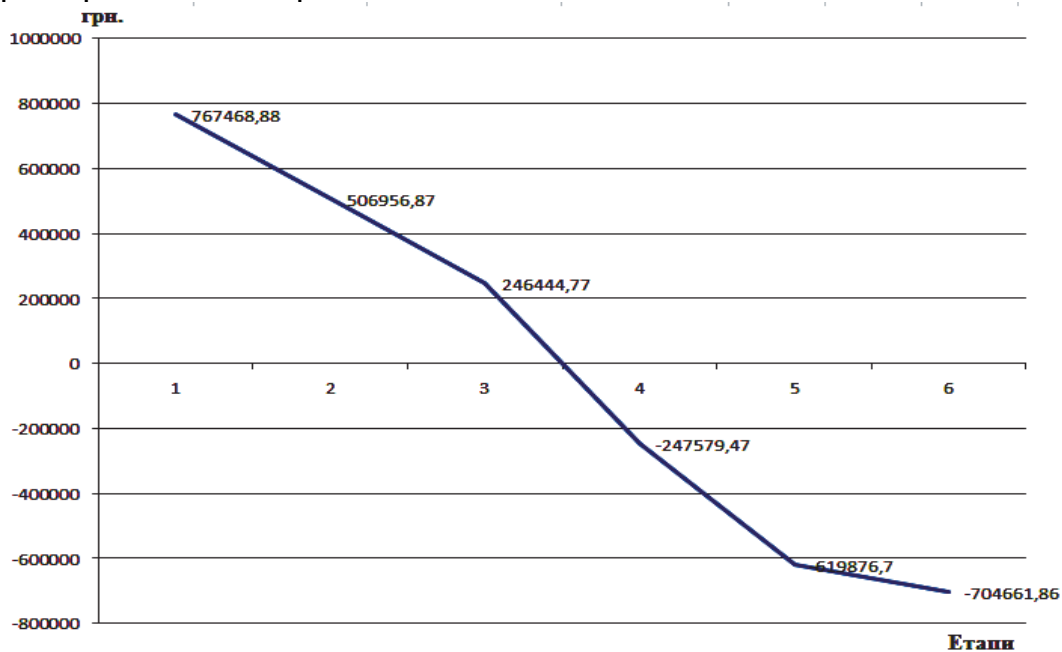
Моделювання включало ряд етапів, завданням яких було виявлення наявності впливу зонної вартості електроенергії на економічну ефективність використання когенераційної установки (табл.1).

Результати дослідження та їх обговорення.

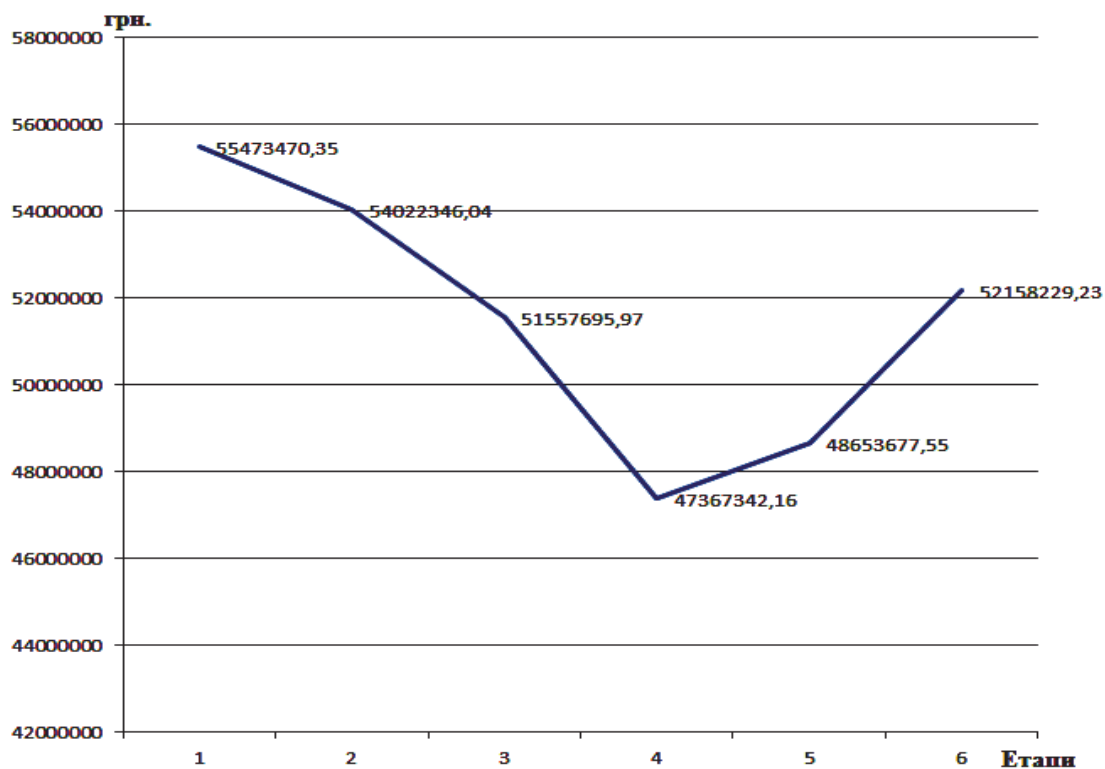
1. Вхідні дані дослідження впливу зонної тарифікації на ефективність використання когенераційного обладнання в електротехнологічному комплексі хлібокомбінату

№ етапу	Відсоток споживання електроенергії в кожну зону доби		
	1,8 тарифу, %	1,02 тарифу, %	0,25 тарифу, %
1	33,33	33,33	33,33
2	30,3	33,3	36,4
3	26,66	33,3	40,04
4	20	33,33	46,67
5	16,67	36,66	46,77
6	16,67	39,99	43,34

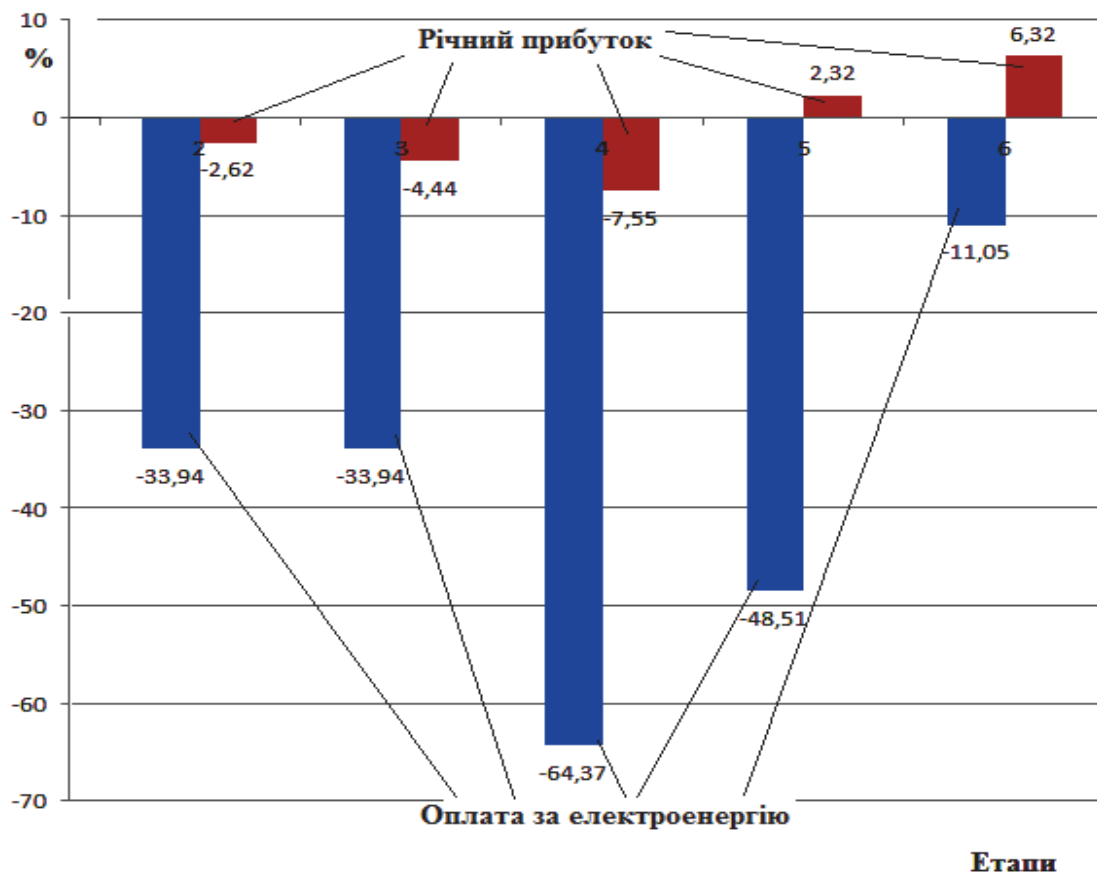
У результаті ми отримали характеристики впливу часу роботи електротехнологічного обладнання виробництва хлібобулочної продукції в різні добові тарифні зони, які продемонстрували техніко-економічну доцільність інтелектуального управління включенням агрегатів, які є енергоспоживачами (рис. 2). Тобто, концептуальний підхід «Smart Grid»-технологій доцільно використовувати і при забезпеченні енерго- та ресурсоефективного виробництва на хлібокомбінаті.



А)



Б)



В)

Рис. 2. Дослідження впливу часу функціонування обладнання електротехнологічного комплексу хлібокомбінату в різні добові зони вартості електроенергії на техніко-економічну ефективність використання когенераційного обладнання згідно з етапами табл. 1:

А – динаміка економії річних витрат на оплату електроенергії (нульове значення – без використання когенераційної установки); Б – річний прибуток від впровадження когенераційного обладнання (нульове значення – без використання когенераційної установки); В – відносні зміни економії витрат електроенергії та річного прибутку (порівняно з першим етапом досліджень)

Аналізуючи результати досліджень (рис. 2) стосовно електротехнологічного комплексу виробництва хлібобулочної продукції, можна констатувати, що при корегуванні включення обладнання у різні добові зони, навіть при збільшенні вартості оплати за споживану електроенергію (зменшення ефективності по генерації електроенергії) можна досягти збільшення загальної економічної ефективності проекту за рахунок збільшення рентабельності виробництва теплової енергії для хлібопекарської печі.

Наприклад, на 5 та 6 етапах досліджень при від'ємних значеннях економії витрат по електроенергії (відповідно -48,51% та -11,05%) загальна рентабельність була додатною – 2,32% та 6,32%.

Висновки і перспективи. Використання когенераційного обладнання дає змогу значно економити фінансові ресурси (зі строком окупності таких проектів 2–3 роки – див. рис. 2 Б).

Розроблена методика управління генерацією та розподілом енергетичних ресурсів хлібокомбінату згідно з добовою зонною вартістю електроенергії (споріднена «Smart Grid»-концепції), дає змогу підвищити економічну ефективність використання когенераційного обладнання до 10% (див. рис. 2 В).

Список літератури

1. Романова О. С. Процессное управление предприятиями хлебопекарной промышленности / О. С. Романова. – М. : Хлебпродинформ, 2006. – 256 с.
2. Барков В. М. Когенераторные технологии: возможности и перспективы / В. М. Барков // «ЭСКО» Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2004. – № 7.

References

1. Romanova, O. S. (2006). Protsessnoye upravleniye predpriyatiyami khlebopekarnoy promyshlennosti [Process management of bakery enterprises]. – Moscow: Khlebprodinform, 256.
2. Barkov, V. M. (2004). Kogeneratornyye tekhnologii: vozmozhnosti i perspektivy [Cogeneration technologies: opportunities and perspectives]. «ESKO» Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologicheskiye sistemy», 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. Момотюк

Аннотация. Разработана и апробирована методология использования когенерационного оборудования в составе электротехнологического комплекса хлебкомбината с целью экономии финансовых ресурсов на производство продукции, с использованием специализированного программного обеспечения компании «Синапс». Учтена возможность управлять включением оборудования во времена минимальной стоимости электроэнергии. Разработана система автоматического регулирования температурного режима в котельной, по которой можно определить, достаточно ли для нормального режима функционирования котельной количество тепловой энергии, вырабатываемой когенерационной установкой.

Разработана методика управления генерацией и распределением энергетических ресурсов хлебкомбината согласно суточной зонной стоимости электроэнергии (родственная "Smart Grid"-концепции), что позволило повысить экономическую эффективность использования когенерационного оборудования до 10%.

Ключевые слова: электротехнологический комплекс, энергоэффективность, когенерационная установка

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF ELECTROTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF BREEDING PRODUCTS USING COGENERATION EQUIPMENT

V. V. Momotyuk

Abstract. *The methodology of the use of cogeneration equipment in the composition of the electrotechnical complex of the bread-baking plant was developed and tested in order to save financial resources for the production of products, using the specialized software of the company "Synapse". The possibility of controlling the inclusion of equipment during the time of the minimum cost of electricity is taken into account. A system of automatic temperature control in the boiler house has been developed, which allows one to determine whether the boiler operation is normal for normal operation and the amount of heat energy produced by the cogeneration unit.*

The methodology for managing the generation and distribution of energy resources of the bread-baking plant according to the daily band electricity cost (similar to the "Smart Grid"-concept) has been developed, which allowed to increase the cost-effectiveness of the use of cogeneration equipment up to 10%.

Keywords: *electrotechnology complex, energy efficiency, cogeneration unit*

УДК 621.762

ВПЛИВ ОКИСЛІВ МЕТАЛІВ НА ЕРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

А. М. МРАЧКОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: amrachkovskyi@mail.ru

С. О. БУРЛАКА, студентка

E-mail: burlaka.sv.7@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. *Проаналізовано вплив окислів металів на величину ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутованого струму для контактних пар, виготовлених з однойменних і різнойменних матеріалів. Електричну ерозію і механічний знос контактів можна контролювати структурою матеріалів. Приведені результати досліджень на електроерозійну стійкість нового контактного матеріалу на основі срібла з добавками оксидів металів підвищують зносостійкість досліджуваного матеріалу в 1,5 раза. Також забезпечується високий ступінь екологічної чистоти матеріалу.*

© А. М. Мрачковський, С. О. Бурлака, 2017

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF ELECTROTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF BREEDING PRODUCTS USING COGENERATION EQUIPMENT

V. V. Momotyuk

Abstract. *The methodology of the use of cogeneration equipment in the composition of the electrotechnical complex of the bread-baking plant was developed and tested in order to save financial resources for the production of products, using the specialized software of the company "Synapse". The possibility of controlling the inclusion of equipment during the time of the minimum cost of electricity is taken into account. A system of automatic temperature control in the boiler house has been developed, which allows one to determine whether the boiler operation is normal for normal operation and the amount of heat energy produced by the cogeneration unit.*

The methodology for managing the generation and distribution of energy resources of the bread-baking plant according to the daily band electricity cost (similar to the "Smart Grid"-concept) has been developed, which allowed to increase the cost-effectiveness of the use of cogeneration equipment up to 10%.

Keywords: *electrotechnology complex, energy efficiency, cogeneration unit*

УДК 621.762

ВПЛИВ ОКИСЛІВ МЕТАЛІВ НА ЕРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

А. М. МРАЧКОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: amrachkovskyi@mail.ru

С. О. БУРЛАКА, студентка

E-mail: burlaka.sv.7@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. *Проаналізовано вплив окислів металів на величину ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутованого струму для контактних пар, виготовлених з однойменних і різнойменних матеріалів. Електричну ерозію і механічний знос контактів можна контролювати структурою матеріалів. Приведені результати досліджень на електроерозійну стійкість нового контактного матеріалу на основі срібла з добавками оксидів металів підвищують зносостійкість досліджуваного матеріалу в 1,5 раза. Також забезпечується високий ступінь екологічної чистоти матеріалу.*

© А. М. Мрачковський, С. О. Бурлака, 2017

Зображено залежність електричної ерозії контакт-деталей від кількості комутацій. Здійснено оцінку електроерозійної стійкості та надійності контактування нових матеріалів.

Ключові слова: *срібло, нікель, псевдосплав, ерозійний знос, робоча поверхня, катод, анод, мостиковий перенос, електронно-мікроскопічне дослідження*

Актуальність. Срібло та його сплави широко використовуються, як матеріал для контактів електричних апаратів напругою до 1000В. У зв'язку з дефіцитністю та дороговизною срібла існує необхідність підвищення електроерозійної стійкості контактів на основі срібла [1].

Відомі спечені електроконтактні матеріали на основі срібла типу AgKdIn та КМК А-10 мають недостатню електроерозійну стійкість та високу токсичність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Електричну ерозію і механічний знос контактів можна контролювати структурою матеріалів. Принципи структуроутворення для розривних контактів передбачають наявність в електропровідній і теплопровідній матриці добавок з відмінними фізико-механічними властивостями. Такі добавки можуть виконувати різні функції: зміцнювати матрицю, гасити дугу, змінювати роботу виходу електрону, яка впливає на рухливість основи дуги. При переміщенні дуги з одного окремо взятого включення на інше відбувається дисипація енергії дуги, зменшується кількість енергії, яка поглинається контакт-деталлями. Така структура перешкоджає утворенню розплавленого кратера і знижує викидання матеріалу при дії електричної дуги [2–5].

Основним критерієм добавок є висока термодинамічна стабільність, яка характеризується відсутністю хімічної взаємодії з матричним металом і малою схильністю до коалесценції, коли виникає розчинно-осадовий процес матеріалу при високих температурах. Цим вимогам відповідають окисли металів [6, 7].

Мета дослідження – аналіз фізичних процесів на робочих поверхнях комутаційних апаратів.

Матеріали і методи дослідження. Приведені результати досліджень на електроерозійну стійкість нового контактного матеріалу на основі срібла з добавками оксидів металів підвищують зносостійкість досліджуваного матеріалу в 1,5 раза порівняно з серійним, типу КМК-А10.

Дослідження нового композиційного матеріалу на основі срібла з добавками оксидів олова, вольфраму, індію отримали методом порошкової металургії. Технологія виготовлення композиційного матеріалу включає такі операції: змішування порошку срібла з порошками інших добавок: оксидів олова, індію та металу цирконію; відновлення суміші срібла з добавками в середовищі водню за температури 650°C, час витримки 2 години; отримані порошки сплавів срібло – олово, срібло – олово – індію і порошок цирконію піддавалися внутрішньому окисленню за температури 750°C протягом 2 годин; до отриманих порошків додавали порошок триоксиду вольфраму (WO_3) і пресували контактні заготовки.

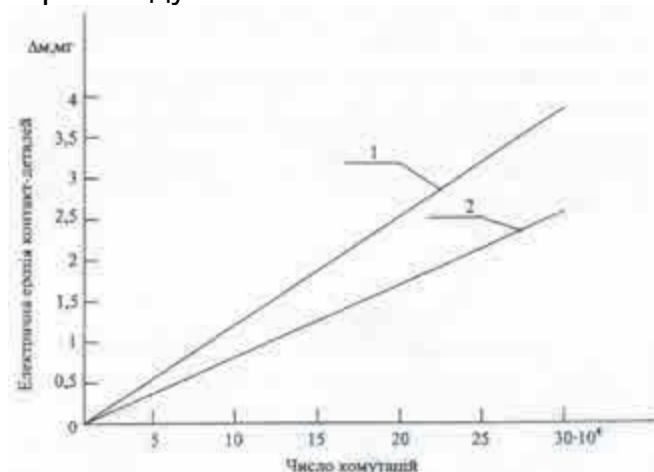
Випробування на електроерозійну стійкість проводили при змінному струмі 100А, напрузі 380В, коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,35$, числі комутацій 3000.

Результати дослідження та їх обговорення. Результати випробувань показали, що при введенні в срібну матрицю перелічених інгредієнтів з вилученням токсичного оксиду кадмію, електроерозійна стійкість контакт-деталей підвищується в 1,5 раза (див. рисунок) і забезпечується високий ступінь екологічної чистоти матеріалу. Це досягається позитивним впливом на контактні властивості оксидів металів, які вводяться в срібну матрицю. Оксиди металів мають такі властивості: у широкому інтервалі концентрацій сплавляються зі сріблом, мають високий тиск і легке сублімування, щоб не утворювати на контактній поверхні накопичень оксидів, у широкому діапазоні складу сплавів мають здатність до внутрішнього окислення, не сприяють повторному запалюванню електричної дуги.

Унаслідок відносно високої твердості оксиду олова (SnO_2), що становить ($H_v=60 \text{ кгс/мм}^2$) порівняно зі сріблом (Ag) – ($H_v=25 \text{ кгс/мм}^2$), підвищується твердість срібної матриці за рахунок розташування дрібних частинок SnO_2 усередині зерен Ag .

Введення оксиду індію (In_2O_3) сприяє протіканню внутрішнього окислення контактного матеріалу, прискорює дифузію олова в срібло, унаслідок чого рівномірно розподіляються частинки олова по всьому об'єму матеріалу, тим самим підвищуючи міцність і твердість матеріалу в цілому.

Введення цирконію (Zr) у контактний матеріал дисперсно змінює срібну матрицю, оскільки твердість ($H_v=150 \text{ кгс/мм}^2$) у шість разів перевищує твердість срібла ($H_v=25 \text{ кгс/мм}^2$). Також цирконій поглинає кисень із розплавленого срібла, розчинність якого становить близько 20 об'ємів розплаву. При зниженні температури кисень, який виділяється бурхливо з розплаву, поглинається цирконієм, а це знижує розбризкування рідкого срібла та час горіння електричної дуги.



Залежність електричної ерозії контакт-деталей від кількості комутацій:

1 – серійний контактний матеріал з наступними інгредієнтами: 85% Ag , 15% CdO ; 2 – дослідний контактний матеріал з наступними інгредієнтами: оксид олова (SnO_2) – 11,5%, оксид індію (In_2O_3) – 4%, оксид вольфраму (WO_3) – 0,5%, цирконій (Zr) – 2%, срібло (Ag) – 82%

Добавки оксиду вольфраму (WO_3) добре змочують і обволочують тверді частинки оксидів SnO_2 , які залишаються в завислому стані в масі срібла, що розплавилася під дією електричної дуги. Це дало можливість частинкам SnO_2 залишитись у розплавленій масі срібла, підвищити його в'язкість, яка позитивно впливає на зносостійкість. Даний розроблений матеріал характеризується високим ступенем екологічної безпеки, достатнім рівнем контактних властивостей, порівняно низькою собівартістю і рекомендується для заміни серійних контактів типу КМК А-10.

Висновки і перспективи

1. Встановлена нелінійна залежність зміни електричної ерозії від сили струму, характеру навантаження, числа комутацій, фізико-механічних властивостей матеріалу та його мікроструктури для матеріалів на основі срібла.

2. Оцінка електроерозійної стійкості та надійності контактування нових матеріалів здійснювалася шляхом обґрунтування вмісту інгредієнтів з необхідними фізико-механічними властивостями та дослідження тривалості горіння дуги й закономірностей зміни мікроструктури. Електроерозійна стійкість нових композиційних матеріалів на основі срібла перевищує стійкість серійних матеріалів у 1,5 раза.

Список літератури

1. Хольм Р. Электрические контакты / Хольм Р. – М. : Издательство иностранной литературы, 1961. – 464 с.
2. Исследование эрозии металлокерамических контактов на основе серебра и никеля при коммутации малых токов. Электрические контакты / [Бейлис И. И., Братерская Г. Н., Раховский В. Н., Теодорович О. К.]. – М. : Энергия, 1987. – 305 с.
3. Белкин Г. С. Исследование электрической эрозии металлокерамических аппаратов / Г. С. Белкин, М. Е. Данилов // Электричество. – 1972. – № 2. – С. 12–18.
4. Намитов К. К. Электроэрозионные явления / Намитов К. К. – М. : Энергия, 1978. – 456 с.
5. Намитов К. К. Расчет электрического сопротивления многоточечного контакта / К. К. Намитов, В. Б. Красовицкий // Научно-технический реферативный сборник «Электрофизические и электрохимические методы обработки». – 1973. – Вып. 8. – С. 4–7.
6. Омельченко В. Т. Тепловая теория мостиковой эрозии контактов : автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук / В. Т. Омельченко ; Х. : ХПИ, 1966. – 24 с.
7. Radko I. P. Contacts with increased environmental safety in low-voltage switching devices / I. P. Radko, S. P. Kokhanivskiy, T. V. Shcherbak // Published works of Lublin University. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – 2011. – Vol. 13 D.

References

1. Khol'm, R. (1961). Elektricheskiye kontakty [Electrical contacts]. Moskow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 464.
2. Beylis, I. I., Braterskaya, G. N., Rakhovskiy, V. N., Teodorovich, O. K. (1987). Issledovaniye eroziyi metallokeramicheskikh kontaktov na osnove serebra i

nikelya pri kommutatsiyi malykh tokov. Elektricheskiye kontakty [Study of the erosion of metal-ceramic contacts based on silver and nickel for commutation of low currents. Electrical contacts]. – Moscow: Energiya, 305.

3. Belkin, G. S., Danilov, M. E. (1972). Issledovaniye elektricheskoy eroziyi metallokeramicheskikh apparatov [Study of electrical erosion of metal-ceramic devices]. Elektrichestvo, 2, 12–18.

4. Namitkov, K. K. (1978). Elektroerozionnyye yavleniya [Electroerosion phenomena]. Moscow.: Energiya, 456.

5. Namitkov, K. K., Krasovitskiy, V. B. (1973). Raschet elektricheskogo soprotivleniya mnogotochechnogo kontakta [Calculation of the electrical resistance of a multipoint contact]. Nauchno-tehnicheskiiy referativnyy sbornik «Elektrofizicheskiye i elektrokhimicheskiye metody obrabotki», 8, 4–7.

6. Omel'chenko, V. T. (1966). Teplovaya teoriya mostikovoy eroziyi kontaktov [Thermal theory of bridge erosion of contacts]. Avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni d-ra tekhn. nauk. Khar'kov: KhPI, 24.

7. Radko, I. P., Kokhanivskiy, S. P., Shcherbak, T. V. (2011). Contacts with increased environmental safety in low-voltage switching devices. Published works of Lublin University “Motoryzacia i energetyka rolnictwa”, 13 D.

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛОВ МЕТАЛЛОВ НА ЭРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ КОНТАКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**А. Н. Мрачковский,
С. А. Бурлака**

Аннотация. Проанализировано влияние окислов металлов на величину эрозионного износа контактных материалов от количества срабатываний и величины коммутируемого тока для контактных пар, изготовленных из одноименных и разноименных материалов. Электрическую эрозию и механический износ контактов можно контролировать структурой материалов.

Приведены результаты исследований на электроэрозионную устойчивость нового контактного материала на основе серебра с добавками оксидов металлов повышают износостойкость изучаемого материала в 1,5 раза. Также обеспечивается высокая степень экологической чистоты материала. Изображена зависимость электрической эрозии контакт-деталей от количества коммутаций. Осуществлена оценка электроэрозионной устойчивости и надежности контакта новых материалов.

Ключевые слова: серебро, никель, псевдосплав, эрозионный износ, рабочая поверхность, катод, анод, мостиковый перенос, электронно-микроскопическое исследование

THE INFLUENCE OF METAL OXIDES ON EROSION STABILITY OF CONTACTS OF ELECTRIC DEVICES

**A. M. Mrachkovskiy,
S. O. Burlaka**

Abstract. The influence of metal oxides on the amount of erosion wear of contact materials from the number of actions and the value of the commutated current for contact pairs, made of the same names and different names are analyzed. Electrical erosion and mechanical wear of the contacts can be controlled by the structure of materials.

The results of researches on the electroerosive stability of a new contact material on the basis of silver with the addition of metal oxides increase the durability of the investigated material in 1,5 times. It also provides a high degree of environmental cleanliness of the material. Shows the dependence of the electrical erosion contact details on the number of commutations. The estimation of spark stability and reliability of contacting new materials.

Keywords: silver, nickel, pseudoalloy, erosive wear, work surface, cathode, anode, bridged transfer, electronic-microscopic research

УДК 621.3.067

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ФУНКЦИЕЙ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

И. М. ГОЛОДНЫЙ, кандидат технических наук, доцент
*Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины*

А. В. ТОРОПОВ, кандидат технических наук, доцент
*Национальный технический университет Украины "КПИ
им. И. Сикорского"*

E-mail: toropovtosha@ukr.net
golodnyi@ukr.net

Аннотация. В последнее время все большее применение находят дождевальные машины, питающиеся от автономных источников электрической энергии, в частности дизельных генераторов. Эффективным подходом по снижению достаточной мощности дизельной установки для обеспечения бесперебойной работы дождевальной машины является применение системы "тиристорный плавный пускатель – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором".

Цель исследования – снижение пускового тока электропривода насоса дождевальной установки с использованием системы "устройство плавного пуска – асинхронный двигатель" для реализации функции линейного нарастания тока статора.

Исследования переходных процессов электропривода насоса дождевальной установки с плавным пуском проводились с использованием

Abstract. The influence of metal oxides on the amount of erosion wear of contact materials from the number of actions and the value of the commutated current for contact pairs, made of the same names and different names are analyzed. Electrical erosion and mechanical wear of the contacts can be controlled by the structure of materials.

The results of researches on the electroerosive stability of a new contact material on the basis of silver with the addition of metal oxides increase the durability of the investigated material in 1,5 times. It also provides a high degree of environmental cleanliness of the material. Shows the dependence of the electrical erosion contact details on the number of commutations. The estimation of spark stability and reliability of contacting new materials.

Keywords: silver, nickel, pseudoalloy, erosive wear, work surface, cathode, anode, bridged transfer, electronic-microscopic research

УДК 621.3.067

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ФУНКЦИЕЙ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

И. М. ГОЛОДНЫЙ, кандидат технических наук, доцент
*Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины*

А. В. ТОРОПОВ, кандидат технических наук, доцент
*Национальный технический университет Украины "КПИ
им. И. Сикорского"*

E-mail: toropovtosha@ukr.net
golodnyi@ukr.net

Аннотация. В последнее время все большее применение находят дождевальные машины, питающиеся от автономных источников электрической энергии, в частности дизельных генераторов. Эффективным подходом по снижению достаточной мощности дизельной установки для обеспечения бесперебойной работы дождевальной машины является применение системы "тиристорный плавный пускатель – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором".

Цель исследования – снижение пускового тока электропривода насоса дождевальной установки с использованием системы "устройство плавного пуска – асинхронный двигатель" для реализации функции линейного нарастания тока статора.

Исследования переходных процессов электропривода насоса дождевальной установки с плавным пуском проводились с использованием

положения теории электропривода и статических методов обработки результатов исследований компьютерной модели в системе MatLab.

Функция линейного нарастания тока реализована в устройствах плавного пуска с тремя регулируемыми фазами. Для анализа динамических характеристик электротехнических комплексов широко применяется математический пакет MATLAB и его приложение Simulink.

Применение УПП позволяет снизить значения пусковых токов до значений не более $2,1I_H$. Так, в условиях легкого пуска насоса без существенного момента холостого хода пуск асинхронного двигателя дождевальной установки происходит за 2,5 секунды.

Разгон двигателя по скорости при вентиляторном характере нагрузки в случае реализации функции линейного изменения тока осуществляется равномерно без существенных скачков и колебаний в процессе разгона.

Реальное значение начального угла отпирания рекомендуется устанавливать на уровне 2 радиан, поскольку при меньшем угле двигатель не может сдвинуть нагрузку и только греется.

Максимальная потребляемая полная мощность в процессе пуска насоса не превышает $1,7P_H$ двигателя. При условии, что перегрузочная способность дизель-генераторов составляет 150%, для обеспечения гарантированного пуска достаточно использовать автономный источник энергии лишь на ступень больше, по отношению к двигателю.

Ключевые слова: **устройство плавного пуска, электродвигатель, насос, пусковой ток, компьютерная модель, динамические характеристики**

Актуальность. В последнее время все большее применение находят дождевальные машины, питающиеся от автономных источников электрической энергии, в частности дизельных генераторов [1]. Такие машины могут работать на значительном удалении от низковольтных линий электропередачи, что повышает их применимость в условиях Украины, в особенности, в условиях отключений электричества и снижения качества электроэнергии.

Одной из существенных проблем применения автономных источников питания в дождевальных машинах является их ограниченная мощность, по сравнению с линиями электропередачи. Это приводит к необходимости установки дизельных установок существенно большей мощности для обеспечения работоспособности системы при пуске насоса подачи воды и механизмов перемещения. Возрастает вес машины в целом, увеличивается ее энергопотребление, снижается долговечность работы электродвигателей при прямых пусках. Эффективным подходом по снижению достаточной мощности дизельной установки для обеспечения бесперебойной работы дождевальной машины является применение системы "тиристорный плавный пускатель – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором". Такие системы электропривода существенно дешевле, нежели, например, с преобразователями частоты аналогичной мощности. Они позволяют снизить потребляемую мощность

во время пуска, обеспечивают защиту двигателя от перегрева, механических и электрических пиковых перегрузок [2].

В то же время, корректность работы установки в целом и такого полупроводникового пускателя в значительной степени определяется выбранной функцией изменения напряжения при разгоне электродвигателя.

Анализ последних исследований и публикаций. Практически все устройства плавного пуска (УПП) для асинхронных двигателей в своем функционале содержат две функции разгона [2, 5, 6]:

- функция линейного либо параболического увеличения выходного напряжения;
- функция ограничения предельного значения тока статора.

Применение функции линейного изменения напряжения при питании от дизельных генераторов не позволяет в полной мере учесть величину потребляемой мощности. Токи в данном случае являются неконтролируемыми и полностью определяются нагрузкой на валу двигателя. Если момент сопротивления на валу двигателя достаточно велик, через УПП кратковременно будут протекать токи, близкие к токам короткого замыкания. При этом может заглохнуть дизель-генератор либо могут перегореть тиристоры полупроводникового пускателя.

Использование функции линейного изменения предельного тока статора при пуске асинхронного электродвигателя смотрится более предпочтительным решением. Использование задатчика интенсивности по изменению тока статора позволяет обеспечить безударное нарастание момента и плавное нарастание скорости. В этом случае, проектировщик сталкивается со сложной задачей подбора времени нарастания тока. С одной стороны, затягивание времени нарастания тока приведет к длительной перегрузке автономного источника энергии и значительному перегреву стоящего двигателя, а, с другой стороны, с уменьшением времени разгона существенно увеличивается величина пиковой электрической нагрузки при пуске.

Зачастую возможность длительного исследования режимов работы двигателя при различных мощностях дизель-генераторов на действующей дождевалке отсутствует. При этом наилучшим способом определения параметров задания тока является метод цифрового моделирования.

Цель исследования – снижение пускового тока электропривода насоса дождевальной установки с использованием системы "устройство плавного пуска – асинхронный двигатель" для реализации функции линейного нарастания тока статора.

Материалы и методы исследования. Исследования переходных процессов электропривода насоса дождевальной установки с плавным пуском проводились с использованием положения теории электропривода и статических методов обработки результатов исследований компьютерной модели в системе MatLab.

Результаты исследования и их обсуждение. Функцию линейного нарастания тока проще реализовать в устройствах плавного пуска с тремя регулируемыми фазами. Пуск электродвигателя с двумя регулируемыми

фазами практически не используется вследствие наличия постоянной составляющей тока статора на низких скоростях вращения вала двигателя, приводящего к дополнительному затормаживанию двигателя. Это, в свою очередь приводит к броскам тока статора и возможному отказу силовых тириستоров.

Для анализа динамических характеристик электротехнических комплексов широко применяется математический пакет MATLAB и его приложение Simulink [3]. В качестве исходной модели, учитывающей характер отпирания полупроводниковых ключей, используем готовую модель, приведенную [4].

Сразу следует отметить, что используемая в исходной модели система регулирования с ПИ-регулятором и обратной связью по скорости в реальных системах не используется. Контур регулирования тока статора в существующих устройствах плавного пуска, например [5] не содержит ПИ-регулятора выходной координаты, а работает в режиме пропорционального управления [6].

Алгоритм пуска с функцией ограничения тока происходит в следующей последовательности. Сигнал с датчика интенсивности нарастания тока статора сравнивается с реальным значением тока статора. Если задание по току превышает реальное значение, то происходит уменьшение угла отпирания и осуществляется разгон двигателя. При превышении током статора заданного значения угол отпирания фиксируется на своем последнем значении. Алгоритм запуска повторяется до окончания заданного процесса разгона и выхода на пиковое значение тока [5]. Схема системы "устройство плавного пуска – асинхронный двигатель", реализованная в приложении Simulink прикладного пакета MATLAB, представлена на рис.1. В качестве исследуемого двигателя насоса использовался двигатель мощностью 4 кВт, параметры которого имелись в блоке Asynchronous_machine_pu_units.

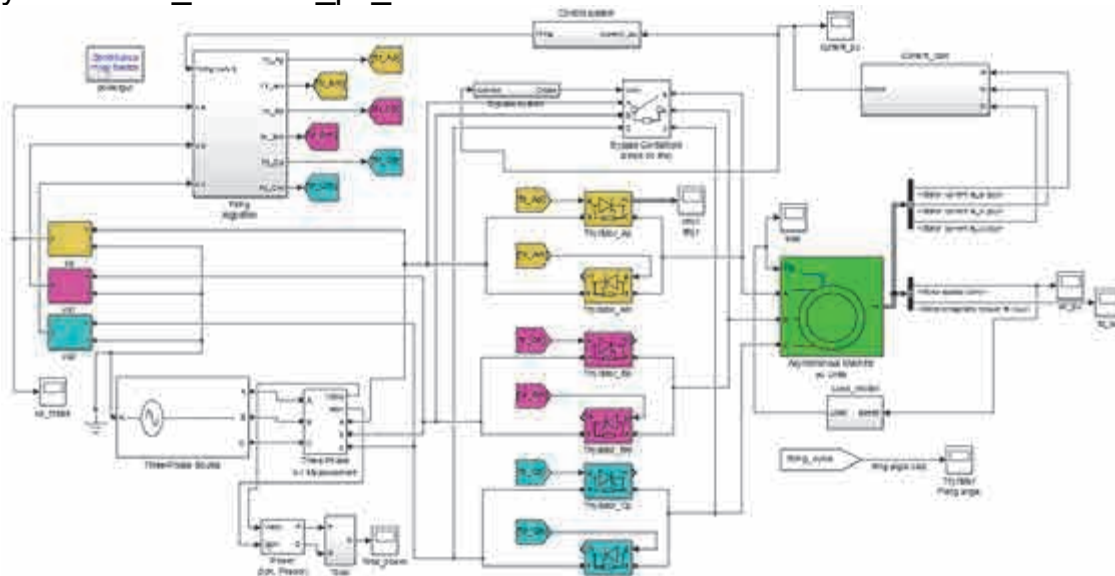


Рис. 1. Математическая модель системы "устройство плавного пуска – асинхронный двигатель" в приложении MATLAB с блоком вычисления полной потребляемой мощности

Особенностью представленной модели, в отличие от реализованной в [2], является реализация функции ограничения тока в блоке Control_system и вентиляторного характера нагрузки для асинхронного двигателя [3]. Вычисление тока статора производится по измеренным величинам тока во всех трех фазах и определению среднего значения. В используемой модели эту функцию выполняет блок current_calc. Вычисление полной потребляемой мощности осуществляется с помощью блока Total. Базовым значением при вычислении принимается номинальная полная мощность двигателя, то есть 5 кВА.

Зависимость нагрузки двигателя от его скорости представлена выражением:

$$M = M_{\text{пуск}} + k \cdot \omega^n,$$

где $M_{\text{пуск}}$ – начальное значение момента нагрузки;

k – коэффициент нагрузки компрессора;

ω – скорость вращения вала двигателя;

$n=2$ – коэффициент, определяющий изменение момента нагрузки центробежного насоса.

Блок линейного изменения тока реализован в виде схемы, представленной на рис. 2:

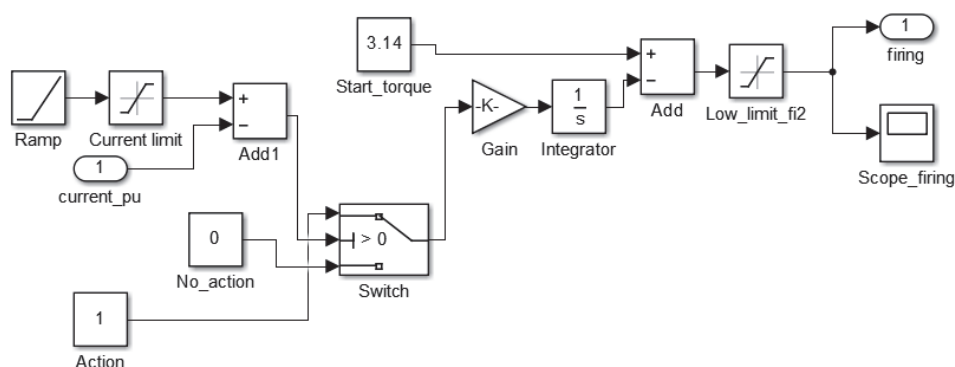


Рис. 2. Математическая модель блока линейного изменения тока статора при пуске асинхронного двигателя насоса

В блоке задания постоянной величины start_torque задается значение пускового момента в радианах и соответствует начальному углу отпирания тиристоров. Для исключения влияния начального броска тока и момента при моделировании это значение установлено равным нулю. Необходимое значение определяется эмпирическим способом во время пусконаладочных работ и зависит от начального момента нагрузки. Блок Low_limit_fi обеспечивает положительное значение угла отпирания после выхода двигателя на номинальный режим работы.

Значение предельного тока статора при пуске определяется в функциональном блоке Current_limit и определяется проектировщиком, в первую очередь, исходя из полной допустимой мощности автономного источника энергии. Поскольку мощность насоса дождевалки соизмерима с мощностью источника энергии, кратность пускового тока стремятся сделать минимальной. Для управления переходом на обходной контактор используется функциональный блок Bypass_control. Если по истечению,

установленного проектировщиком времени, ток статора спал до значения 1,01H, пуск считается выполненным и обходной контактор замыкается, снижая тепловую нагрузку открытые тиристоры. Время, установленное в модели для пуска насоса, составляет 5 секунд. Ограничение предельного значения тока статора при реализации плавного нарастания составляет 2. Начальный момент нагрузки установлен равным 0,1MH, то есть насос запускается в легком режиме.

Схема расчета полной мощности, потребляемой от дизель-генератора, представлена на рис. 3.

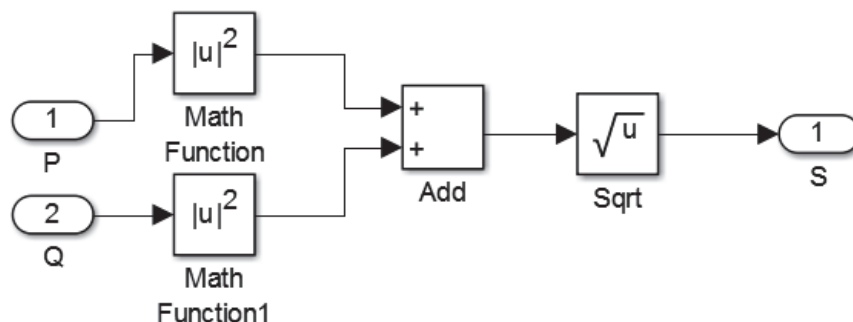


Рис. 3. Модель вычислителя полной мощности

Результаты исследований переходного процесса при пуске электропривода дождевальной установки представлены на рис. 4.

Выводы и перспективы. Исходя из результатов исследований переходных процессов по наиболее важным механическим и электрическим параметрам работы электродвигателя насоса с плавным пуском, можно сделать ряд важных заключений.

1. Применение УПП позволяет снизить значения пусковых токов до значений, не более 2,1H. Так, в условиях легкого пуска насоса без существенного момента холостого хода пуск асинхронного двигателя дождевальной установки происходит за 2,5 секунды.

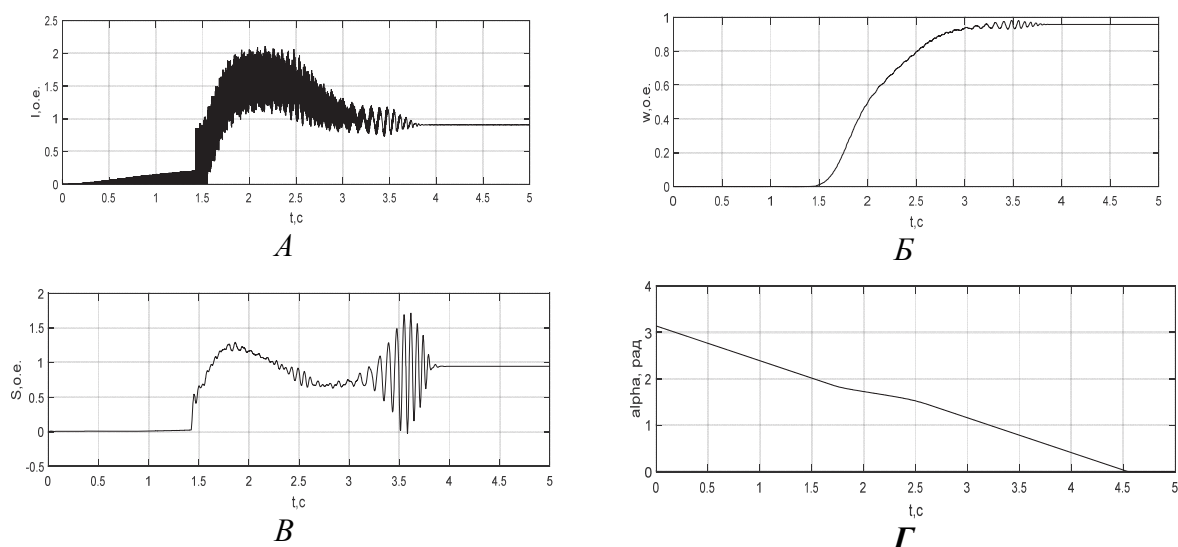


Рис. 4. Графики переходных процессов при пуске:

а – по току; *б* – по скорости; *в* – по полной потребляемой мощности; *г* – по углу отпирания полупроводниковых ключей

2. Разгон двигателя по скорости при вентиляторном характере нагрузки в случае реализации функции линейного изменения тока осуществляется равномерно без существенных скачков и колебаний в процессе разгона.

3. Реальное значение начального угла отпирания рекомендуется устанавливать на уровне 2 радиан, поскольку при меньшем угле двигатель не может сдвинуть нагрузку и только греется.

4. Максимальная потребляемая полная мощность в процессе пуска насоса не превышает $1,7P_n$ двигателя. При условии, что перегрузочная способность дизель-генераторов составляет 150%, для обеспечения гарантированного пуска достаточно использовать автономный источник энергии лишь на ступень больше по отношению к двигателю.

Список литературы

1. Дождевальная машина МДФП-70/130 [Электронный ресурс]. – URL: <http://khersonmash.com.ua/ru/catalog/goods/113>

2. Soft Starter Handbook 1SFC132060M0201 [Электронный ресурс] – URL: <https://library.e.abb.com/public/6b4e1a3530814df0c12579bb0030e58b/1SFC132060M0201.pdf>

3. Герман-Галкин С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

4. Soft Starter Induction Motor Model [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/49605-soft-starter-induction-motor-model>

5. Устройство плавного пуска SSW07-WEG. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw07-users-manual-0899.5832-manual-english.pdf>

6. Регулюваний електропривод : підруч. / [І. М. Голодний, Ю. М. Лаврінченко, В. В. Козирський та ін.] ; за ред. І. М. Голодного. – К. : Компрінт, 2015. – 509 с.

References

1. Dozhdeval'naya mashina MDFP-70/130: [Sprinkling machine MDFP-70/130]. Available at: <http://khersonmash.com.ua/ru/catalog/goods/113>.

2. Soft Starter Handbook 1SFC132060M0201 Available at: <https://library.e.abb.com/public/6b4e1a3530814df0c12579bb0030e58b/1SFC132060M0201.pdf>.

3. German-Galkin, S. G. (2008). Matlab & Simulink. Proektirovanie mehatronnyih sistem na PK [Matlab & Simulink. Designing mechatronic systems on a PC]. St. Petersburg: CROWN print, 368.

4. Soft Starter Induction Motor Model. Available at: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/49605-soft-starter-induction-motor-model>.

5. Ustroystvo plavnogo puska SSW07-WEG. Rukovodstvo polzovatelya. [Soft starter SSW07-WEG. User guide]. Available at: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw07-users-manual-0899.5832-manual-english.pdf>.

6. Golodnyi, I.M. ed. (2015). Rehulovanyi elektropriyvod [Adjustable Electric drive]. Kyiv: Ltd. "ZP "Kompriynt ", 509.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ДОЩУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ФУНКЦІЄЮ ОБМЕЖЕННЯ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ

І. М. Голодний,
А. В. Торопов

Анотація. Останнім часом знаходять дедалі більше застосування дощувальні машини, що живляться від автономних джерел електричної енергії, зокрема дизельних генераторів. Ефективним підходом щодо зниження достатньої потужності дизельної установки для забезпечення безперебійної роботи дощувальної машини є застосування системи "тиристорний плавний пускач – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором".

Мета дослідження – зниження пускового струму електропривода насоса дощувальної установки з використанням системи "пристрій плавного пуску – асинхронний двигун" для реалізації функції лінійного наростання струму статора.

Дослідження перехідних процесів електропривода насоса дощувальної установки з плавним пуском проводилося з використанням положення теорії електропривода і статичних методів опрацювання результатів досліджень комп'ютерної моделі в системі MatLab.

Функцію лінійного наростання струму реалізовано в пристроях плавного пуску з трьома регульованими фазами. Для аналізу динамічних характеристик електротехнічних комплексів широко застосовується математичний пакет MATLAB і його додаток Simulink.

Застосування УПП дозволяє знизити значення пускових струмів до значень, не більше $2,1I_n$. Так, в умовах легкого пуску насоса без істотного моменту холостого ходу пуск асинхронного двигуна дощувальної установки відбувається за 2,5 секунди.

Розгін двигуна за швидкістю при вентиляторному характері навантаження в разі реалізації функції лінійної зміни струму здійснюється рівномірно без істотних стрибків і коливань у процесі розгону.

Реальне значення початкового кута відкривання рекомендується встановлювати на рівні 2 радіан, оскільки при меншому куті двигун не може зрушити навантаження і тільки гріється.

Максимальна споживана повна потужність в процесі пуску насоса не перевищує $1,7P_n$ двигуна. За умови, що перевантажувальна здатність дизель-генераторів становить 150 %, для забезпечення гарантованого пуску достатньо використовувати автономне джерело енергії лише на ступінь більше відносно двигуна.

Ключові слова: пристрій плавного пуску, електродвигун, насос, пусковий струм, комп'ютерна модель, динамічні характеристики

INVESTIGATION OF ELECTRIC DRIVE START OF SPRINKLE MACHINE PUMP WITH FUNCTION OF LIMITATION OF POWER CONSUMPTION

I. M. Golodnyi,
A. V. Toropov

Abstract. *Recently there has been an increasing use of sprinkle machines; powered by autonomous sources of electrical energy, in particular diesel generators. An effective approach to reduce the sufficient capacity of the diesel generators to ensure the smooth operation of the sprinkle machine is the using of the "thyristor soft starter – an induction motor with squirrel-cage rotor" system.*

Aim of work. Reducing the starting current of the electric drive of the sprinkle machine pump using the system "soft starter – asynchronous motor" to realize the functions of stator current linear ramp.

Materials and methods of research. Research of the transient processes of the electric drive of a sprinkle machine pump with a smooth start were carried out using the statements of the electric drive theory and static methods for results processing of computer model investigations in the MatLab system.

The linear ramp function is implemented in soft starters with three regulated phases. To analyze the dynamic characteristics of electrical systems, the mathematical package MATLAB and its application Simulink are widely used. Using of soft starters allows to reduce starting current values to the values less than $2,1 I_N$. Also, during easy start of pump without significant idle moment, starting of the sprinkle machine induction motor is 2,5 seconds.

Speed acceleration of the motor with the fan load character in the case of the realization of the linear current ramp function is carried out evenly without significant jumps and oscillations during the acceleration process.

The actual value of the initial firing angle is recommended to be set at the level of 2 radians, because at a smaller firing angle value motor can not shift the load and only starts to heat.

The maximum consumed total power during pump start-up does not exceed $1,7 P_N$ of the motor. Provided that the overload capacity of diesel generators is 150% to ensure a guaranteed start-up, it is sufficient to use an autonomous power source only a step higher, relative to the motor.

Keywords: *softstarter, electric motor, pump, starting current, computing model, dynamic characteristics*

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАНО- І МІКРОПОРОШКІВ МЕТАЛІВ

А. В. ЖИЛЬЦОВ, доктор технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

В. В. КОРОБСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

С. О. ЛАПШИН, майстер виробничого навчання
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

E-mail: lapschinserega@ukr.net

В. В. ОЛІШЕВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
Національний університет харчових технологій

Анотація. Наведено огляд технологічних операцій отримання нано- і мікропорошків металів. Для отримання зазначених матеріалів використовуються технологічні рішення, одним з яких є підводна об'ємно-електроіскрова обробка матеріалів. Традиційні способи отримання порошкових матеріалів, а саме: фізичні та хімічні, мають ряд недоліків, одним з яких є відсутність широких технологічних можливостей.

Метою дослідження є створення технологічного комплексу об'ємного електроіскрового диспергування для отримання нано- і мікропорошків металів.

Дослідження електроіскрового синтезу продуктів диспергування гранул металів проводили на технологічному комплексі, основним елементом якого є генератор розрядних імпульсів, силова частина якого побудована на тиристорній елементній базі. Як накопичувачі енергії використовували конденсатори ємністю 50...600 мкФ. Напруга зарядки конденсатора становила 110...190В, частота розрядних імпульсів – 0,025...0,5 кГц.

Обробку результатів дослідження здійснювали методами математичної статистики з використанням пакету прикладних програм «Statistika» (версія 10.0).

Результати дослідження свідчать, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції досягається при миттєвих значеннях напруги 160 В, ємності робочого конденсатора – 600 мкФ та частоті 0,1 кГц.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, об'ємно-електроіскрова обробка матеріалів, дисперсність порошку, колоїдна фракція, нанокompозити

Актуальність. Розвиток сучасних індустріальних технологій знаходиться на порозі шостого технологічного укладу (технологічної революції). Сучасна парадигма використання матеріалів передбачає не тільки зниження вартості матеріалів, але й забезпечення цілого ряду його специфічних властивостей.

Очевидно, що подібні властивості можуть бути досягнуті за рахунок використання надзвичайних технологічних рішень, одним з яких є об'ємно-електроіскрова обробка металів для отримання дисперсних матеріалів [6]. Традиційні способи отримання таких матеріалів, а саме: фізичні та хімічні, потрібно переглянути та ревізувати, оскільки вони мають суттєві очевидні недоліки та не забезпечують широких технологічних можливостей [7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш простим у технологічному виконанні вважається механічне подрібнення речовини. Дисперсність порошку, що при цьому досягається, має обмеження завдяки особливості процесу.

Як один зі способів отримання порошкових матеріалів розглядається метод електричного вибуху провідника (ЕВП) [1]. За своєю природою ЕВП, як метод отримання мікропорошків, поєднує в собі фізичні явища, такі як вибухове плавлення провідника та випаровування під дією електричного струму. Реалізація даного методу призводить до ускладнення подальшого збору кінцевого продукту в об'ємі вибухової камери. Даний спосіб отримання не дозволяє синтезувати тверду фазу в промислових обсягах.

Як один із найбільш продуктивних методів отримання слід відзначити плазмохімічний синтез, в основу якого закладено процес плазмоутворення за допомогою електродугових плазмотронів [5]. Особливістю даного методу, є те, що утворюються частинки, які являють собою не металеву фазу, а переважно оксиди металів.

Крім того, для зазначених вище методів здебільшого після утворення мікро- і нанофракцій відбувається їх закономірна консолідація, що ускладнює їх застосування. Отже, для вирішення даної проблеми необхідно передбачати формування дисперсно-ізолюваного стану (можливо за рахунок пасивації поверхні), наприклад, за рахунок середовища диспергування.

Мета дослідження – створення технологічного комплексу об'ємного підводного електроіскрового диспергування для отримання нано- і мікрофракцій матеріалів.

Матеріали і методи дослідження. Як об'єкти дослідження використовувалися такі модельні метали: алюміній, мідь, залізо, а методологічне дослідження проводиться шляхом реєстрації осцилограм струму та напруги.

Дослідження електроіскрового синтезу продуктів диспергування гранул алюмінію проводили на технологічному комплексі, основним елементом якого є генератор розрядних імпульсів (рис. 1). Силова частина комплексу збудована на тиристорах типу ТБ-320. Як накопичувач енергії використовували конденсатори ємністю 50...600 мкФ типу К75-17. Подача імпульсного струму здійснювалася на електроди розрядних камер, які виготовлені з алюмінію, а робочий простір заповнений струмопровідним

шаром алюмінієвих гранул. Процес отримання передбачав об'ємно електроіскрове диспергування гранул в низькопровідному водному середовищі [3, 4].

Опрацювання результатів дослідження здійснювали методами математичної статистики з використанням пакета прикладних програм «Statistika» (версія 10.0).

Результати досліджень та їх обговорення. Для того, щоб об'єднати різні фізичні явища в один технологічний процес, було запропоновано використання підводного електроіскрового диспергування з отриманням колоїдної форми металу.

Суть об'ємного електроіскрового диспергування полягає у формуванні одночасно існуючих багатоканальних швидко мігруючих електроіскрових розрядів у шарі металевих гранул між електродами. Електроіскровий синтез продуктів диспергування гранул алюмінію проводився на технологічному комплексі, загальний вигляд якого наведено на рис. 1.



Рис. 1. Електротехнічний комплекс отримання нано- і мікропорошків металів:

1— генератор розрядних імпульсів; 2 — розрядна камера; 3 — осцилограф

Подача на електроди одного потужного розрядного імпульсу викликає одночасне іскріння між багатьма гранулами.

Іскріння призводить до електричної ерозії матеріалу гранул і утворення мікро- і наноструктурного порошку, який за рахунок гідродинамічної складової процесу або примусової механічної активації

розрядної зони виноситься з шару гранул. Кількість розрядів, їх потужність, тривалість і частота повторення впливають на продуктивність утворення порошку і його дисперсність [4].

У результаті опрацювання та аналізу дослідних даних можна констатувати наступне: вигляд поверхні відгуку свідчить про те, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції (K_{ϕ} , г/дм³) досягалося при миттєвих значеннях напруги $U=160$ В (рис. 2). Тривалість проведення обробки гранул закономірно збільшувало значення K_{ϕ} , проте визначальним фактором є напруга U на електродах розрядної камери, що описується рівнянням регресії:

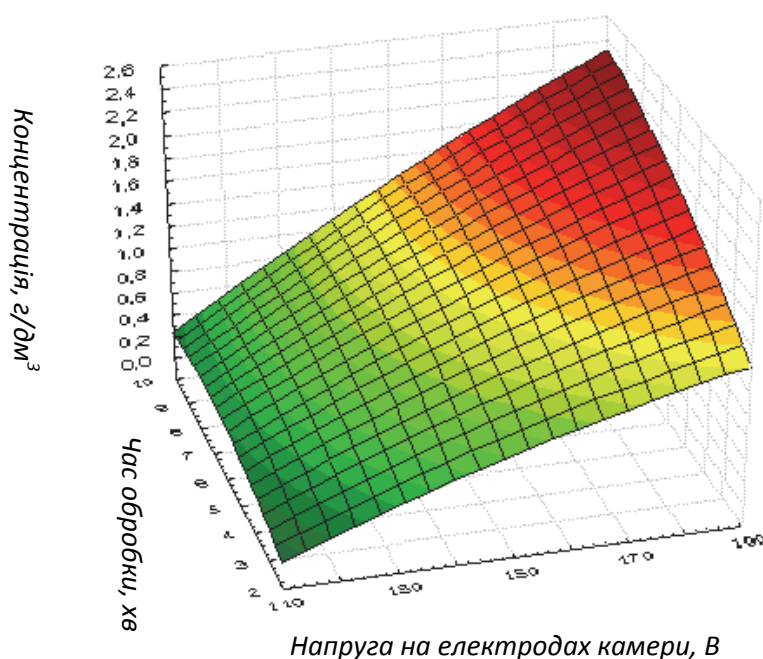


Рис. 2. Аналіз рівня регресії та поверхні відгуку

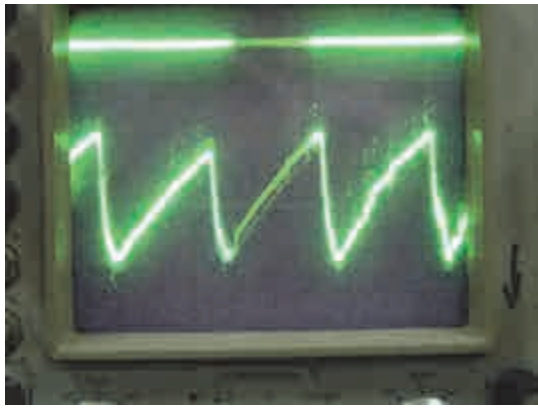
$$K_{\phi} = -2,7649 + 0,0297x - 0,0083y - 5,9375E-5x^2 + 0,0014xy - 0,0103y^2, \quad (1)$$

де x – тривалість проведення обробки гранул, хв.;

y – напруга на електродах камери, В.

Слід нагадати, що процес електроіскрової обробки проводиться в шарі струмопровідних гранул, які мають максимальну можливу кількість ступенів свободи, а, отже, існує висока ймовірність порушення загальної феноменології процесу.

Феноменологія даного процесу достатньо докладно викладена в роботі [3] та працях інших дослідників, проте деякі питання залишаються дискусійними і потребують свого подальшого дослідження. На підтвердження даного тезису, на рис. 3 наведені осцилограми напруги, які свідчать, що в процесі об'ємної електроіскрової ерозії в шарі алюмінієвих гранул, можуть спостерігатися два режими роботи: а – нормальний режим; б – режим гармонійних сплесків напруги. Ці сплески напруги зумовлені утворенням сплаву гранул, які можуть призвести до аварійних режимів роботи установки.



а



б

Рис. 3. Осцилограми напруги при отриманні гідроксиду алюмінію

Як видно з осцилограм, на початковій стадії накопичення заряду в конденсаторі миттєве значення напруги доходить до значення $U_0 = 160 \text{ В}$ і прямо пропорційно залежить від робочої ємності накопичувача енергії, тривалості його накопичення та коефіцієнта заповнення. У наступній стадії процесу настає пробій іскрового проміжку шару алюмінієвих гранул тривалістю приблизно 15^{-7} с , протягом якого формується канал розряду. Після цього спад напруги в каналі розряду різко сповільнюється за рахунок нелінійності його опору і спостерігається імпульс струму.

Висновки і перспективи. Завдяки проведеним дослідженням параметрів підводного електроіскрового розряду встановлено, що найбільше значення концентрації колоїдної фракції досягається при миттєвих значеннях напруги 160В, ємності робочого накопичувача енергії 600 мкФ, та частоті розрядних імпульсів 0,1 кГц.

Встановлено, що миттєве значення напруги прямо пропорційно залежить від робочої ємності накопичувача енергії та коефіцієнта заповнення.

Список літератури

1. Бурцев В. А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках / В. А. Бурцев, Н. В. Калинин, А. В. Лучинский. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 289 с.
2. Розрядно-імпульсна система виробництва іскроерозійних порошків металів з високою електропровідністю / В. В. Коробський, А. В. Жильцов, С. О. Лапшин, Г. А. Гранкін // Наук. вісн. НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". Вип. № 242. – 2016. – С. 210–217.
3. Синтез ультра- и наноразмерных частиц биогенных металлов методом объемного электроискрового диспергирования / К. Г. Лопатько, Е. Г. Афтандилианц, А. А. Щерба [и др.] // Вісник ХНТУ сільського господарства. – Х. : ХНТУ, 2010. – Вип. № 96. – С. 25–35.
4. Муратов В. А. Полупроводниковые преобразователи для питания технологических аппаратов электроэрозионного диспергирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12. – Муратов В. А. – К., 1986. – 279 с.
5. Екологічно чиста технологія плазмового диспергування електропровідних матеріалів з одностадійним циклом виготовлення суспензій

наночасток у широкому спектрі рідких основ / М. В. Новіков, Л. Д. Кістерська, В. В. Садохін [та ін.] // Порошкова металургія. – 2012. – №1/2. – С. 34–45.

6. Щерба А. А. Полупроводниковые адаптивные системы объемной электроискровой обработки материалов и сред / А. А. Щерба, С. Н. Захарченко // Праці інституту електродинаміки НАНУ. Електроенергетика. – Вип. № 2. – К. : Вид-во ін-ту електродинаміки НАНУ, 1999. – С. 66–73.

7. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / [Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др.] ; под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – Т.1. – 247 с.

References

1. Burtsev, V. A. (1990). Elektricheskiy vzryv provodnikov i yego primeneniye v elektrofizicheskikh ustanovkakh [Electrical explosion of conductors and its application in electrophysical installations]. Moscow, Russia: Energoatomizdat, 289.

2. Korobskyy, V. V., Zhiltsov, A. V., Lapshin, S. O., Hrankin, H. A. (2016). Rozryadno-impul'sna sistema virobnitstva iskroyeroziynikh poroshkiv metaliv z visokoyu yelektroprovodnistyu [Bit-width production system iskroeroziynyh powder with high conductivity]. Science Journal of NUBiP Ukraine. A series of "Technology and energy in agriculture", 242, 210–217.

3. Lopatko, K. G., Aftandilyants, E. G., Shcherba, A. A. [et al.] (2010). Sintez ul'tra- i nanorazmernykh chastits biogennykh metallov metodom ob'yemnogo elektroiskrovogo disperirovaniya [Synthesis of ultra and nano-sized particles of biogenic metals by the method of volumetric electric spark dissolution]. Bulletin KNTU agriculture. – Kharkov, Ukraine: KNTU Publishing, 96, 25–35.

4. Muratov, V. A. (1986). Semiconductor converters for power supply of technological devices of electroerosive dispersion: Dis. cand. tech. sciences: 05.09.12. – Muratov V. A. Kyiv, 279.

5. Novikov, M. V., Kisterska, L. D., Sadohin, V. V. [et al.] (2012). Ekologichno chysta tekhnolohiya plazmovoho dysperhuvannya elektroprovodnykh materialiv z odnostadiynym tsyklom vyhotovlennya cuspenziy nanochastok u shyrokomu spektri ridkykh osnov [Ecologically pure technology of plasma dispersion elektroprovodnyh materials with odnostadiynym cuspenziy cycle of nanoparticles in a wide range of liquid foundations]. Powder metallurgy, 1/2, 34–45.

6. Shcherba, A. A., Zakharchenko, S. N. (1999). Poluprovodnikovyye adaptivnyye sistemy obyemnoy elektroiskrovoy obrabotki materialov i sred [Semiconductor adaptive systems for volumetric electrospark processing of materials and media]. Proceedings of National Academy of Sciences Institute of electrodynamics. Electroenergy. – Vol. 2. – Kyiv, Ukraine: Publisher Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences, 66–73.

7. Artamonov, B. A., Volkov, Yu. S., Droshalova, V. I. [et al.] (1983). Elektrofizicheskiye i elektrokhimicheskiye metody obrabotki materialov [Electrophysical and electrochemical methods of material processing]. – Moscow, Russia: The Highest. School, 1, 247.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО- И МИКРОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ

**А. В. Жильцов,
В. В. Коробский,
С. А. Лапшин,
В. В. Олишевский**

Аннотация. Приведен обзор технологических операций получения нано- и микропорошков металлов. Для получения указанных материалов используются технологические решения, одним из которых является подводная объемно-электродисковая обработка материалов. Традиционные способы получения порошковых материалов, а именно: физические и химические, имеют некоторые недостатки, один из которых – отсутствие широких технологических возможностей.

Целью работы является создание технологической установки объемного подводного электродискового диспергирования для получения нано- и микропорошков металлов.

Исследование электродисковой синтеза продуктов диспергирования гранул металлов проводилось на технологическом комплексе, основным элементом которого является генератор разрядных импульсов, силовая часть которого построена на тиристорной элементной базе. В качестве накопителя энергии используются конденсаторы емкостью 50...600 мкФ. Напряжение зарядки конденсатора составляло 110...190 В, частота разрядных импульсов – 0,025...0,5 кГц.

Обработка результатов исследования осуществляется методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ «Statistika» (версия 10.0).

Результаты исследования свидетельствуют, что наибольшее значение концентрации коллоидной фракции достигается при мгновенных значениях напряжения 160 В и частоты 0,1 кГц.

Ключевые слова: электротехнологический комплекс, объемно-электродисковая обработка материалов, дисперсность порошка, коллоидная фракция, нанокompозиты

USE OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX FOR NANO AND MICROPOWDERS OF METALS

**A. V. Zhiltsov,
V. V. Korobskyy,
S. O. Lapshin,
V. V. Olishkevskyy**

Abstract. The review of technological operations for obtaining nano- and micropowders of metals is given. To produce these materials, technological solutions are used, one of which is underwater volumetric-spark treatment of materials. The traditional ways of obtaining powder materials, namely physical and chemical, have some drawbacks, one of which is the lack of broad technological capabilities.

The aim of the work is to create a technological installation of volumetric underwater electric spark disperse for the production of nano- and micropowders of metals.

The investigation of the electrosark synthesis of products of dispersion of metal granules was carried out on the technological complex, the main

element of which is a discharge pulse generator, the power part of which is built on a thyristor element base. As a storage device, capacitors of 50 ... 600 μF are used. The charging voltage of the capacitor was 110 ... 190 V, the frequency of the discharge pulses was 0.025 ... 0.5 kHz.

Processing of the research results is carried out using mathematical statistics using the "Statistika" software package (version 10.0).

The results of the study show that the highest concentration of colloidal fraction is achieved at instantaneous values of voltage 160 V and frequency 0,1 kHz.

Keywords: *electrotechnological complex, volumetric-electrospark processing of materials, powder dispersion, colloid fraction, nanocomposites*

УДК 536.21

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР СТРУМАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

А. О. КВІЦИНСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

В. Г. САНТОЦЬКИЙ, інженер НПЦР ОЕС України

Анотація. Допустиму тривалість однофазних замикань на землю (ОЗЗ) у мережах з ізольованою нейтраллю і струмами замикання на землю до 10 А в пострадянських країнах не встановлено. Мета даного дослідження – унормувати допустиму тривалість режиму ОЗЗ, яка не порушує термічної стійкості опор. Експериментальні дослідження виконувалися на полігонах інституту «Укрсільенергопроект». Показано, що ізольовану нейтраль мережі 6–20 кВ зі струмами ОЗЗ до 10 А не слід заземлювати через високоомний резистор. У мережах 20 кВ слід застосовувати компенсацію ємнісних струмів і обмежувати час існування ОЗЗ чотирма годинами. З метою зменшення кількості випадків ОЗЗ, на проміжних опорах повітряних ліній 20 кВ слід встановлювати стрижньові ізолятори, а на анкерних – підвісні.

Ключові слова: *залізобетонна опора, термічне ураження заземлювача, струм однофазного замикання на землю*

Актуальність. За протяжністю повітряні лінії (ПЛ) напругою 10 кВ у сільській місцевості на залізобетонних опорах зі струмами ОЗЗ до 10 А перевищують протяжність усіх разом узятих ПЛ напругою понад 1 кВ.

element of which is a discharge pulse generator, the power part of which is built on a thyristor element base. As a storage device, capacitors of 50 ... 600 μF are used. The charging voltage of the capacitor was 110 ... 190 V, the frequency of the discharge pulses was 0.025 ... 0.5 kHz.

Processing of the research results is carried out using mathematical statistics using the "Statistika" software package (version 10.0).

The results of the study show that the highest concentration of colloidal fraction is achieved at instantaneous values of voltage 160 V and frequency 0,1 kHz.

Keywords: *electrotechnological complex, volumetric-electrospark processing of materials, powder dispersion, colloid fraction, nanocomposites*

УДК 536.21

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР СТРУМАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

А. О. КВІЦИНСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

В. Г. САНТОЦЬКИЙ, інженер НПЦР ОЕС України

Анотація. Допустиму тривалість однофазних замикань на землю (ОЗЗ) у мережах з ізольованою нейтраллю і струмами замикання на землю до 10 А в пострадянських країнах не встановлено. Мета даного дослідження – унормувати допустиму тривалість режиму ОЗЗ, яка не порушує термічної стійкості опор. Експериментальні дослідження виконувалися на полігонах інституту «Укрсільенергопроект». Показано, що ізольовану нейтраль мережі 6–20 кВ зі струмами ОЗЗ до 10 А не слід заземлювати через високоомний резистор. У мережах 20 кВ слід застосовувати компенсацію ємнісних струмів і обмежувати час існування ОЗЗ чотирма годинами. З метою зменшення кількості випадків ОЗЗ, на проміжних опорах повітряних ліній 20 кВ слід встановлювати стрижньові ізолятори, а на анкерних – підвісні.

Ключові слова: *залізобетонна опора, термічне ураження заземлювача, струм однофазного замикання на землю*

Актуальність. За протяжністю повітряні лінії (ПЛ) напругою 10 кВ у сільській місцевості на залізобетонних опорах зі струмами ОЗЗ до 10 А перевищують протяжність усіх разом узятих ПЛ напругою понад 1 кВ.

Режим заземлення нейтралі таких електричних мереж є одним з питань, що активно обговорюються фахівцями впродовж останніх 10–15 років [1]. Допустиму тривалість ОЗЗ в мережах з ізолюваною нейтраллю і струмами замикання на землю до 10 А в пострадянських країнах не встановлено.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до [2], у мережах з ізолюваною нейтраллю можна допускати роботу повітряних і кабельних ліній електропередавання із замиканням на землю до ліквідації пошкодження. У такому випадку, до пошуку місця пошкодження персонал повинен приступати негайно і усунути його в найкоротший термін.

Час «найкоротшого терміну» не обумовлено. Іноді ОЗЗ існує в мережі набагато довше, ніж це допустимо за часом термічного ураження заземлювача опори. Це призводить до таких явищ, як термічне ураження природних заземлювачів залізобетонних опор на ПЛ, перегорання арматури в підземній частині опори, падіння опори, загибель людей. Поодинокі падіння залізобетонних опор, і через це загибель людей, виникають в Україні щорічно. Останніми роками вони були: у Гадяцькій філії ПАТ «Полтаваобленерго» (15.05.2015); Свердловському РЕМ ТОВ «Луганське енергетичне об'єднання» (08.05.2013 р.); Борщівському РЕМ ВАТ «Тернопільобленерго» (13.05.2013 р.); Каховському РЕМ ВАТ «Херсонобленерго»; Калинівських електромережах ВАТ «Вінницяобленерго»; ПАТ ЕК «Житомиробленерго».

Мета дослідження – залежно від опору заземлення і сили струму ОЗЗ унормувати допустиму тривалість режиму ОЗЗ, яка не порушує термічної стійкості опор.

Матеріали і методи дослідження. Розподіл ємнісних струмів замикання на землю в мережах 10 кВ у сільській місцевості визначено за даними 85 проектів, виконаних інститутом «Укрсільенергопроект». Процеси термічного ураження заземлювачів залізобетонних опор ПЛ 10 кВ експериментально досліджено на полігонах інституту «Укрсільенергопроект» в Іванківському і Кагарлицькому районах Київської області. Вимірювання опору заземлення залізобетонних опор в ненаселеній місцевості було виконано співробітниками інституту «Укрсільенергопроект».

Результати дослідження та їх обговорення. Розподіл ємнісних струмів замикання на землю таких ПЛ наведено на рис. 1.

У 78% випадків струми ОЗЗ в мережах становлять до 5 А. Це, як правило, мережі з повітряними лініями і незначними за довжиною кабельними вставками. Збільшення струмів ОЗЗ від 6 А до 10 А відбувається за рахунок кабельних вставок і окремих, незначних за довжиною, кабельних ліній.

Вимірюванням опору заземлення залізобетонних опор в ненаселеній місцевості встановлено, що він може бути від 20 Ом до 3000 Ом. Так, одностоякові проміжні опори, встановлені в піщаних ґрунтах Полісся (в районі сіл Коленці і Блідча) мали влітку опір заземлення ($R_{оп}$) від 400 до 1200 Ом на рівнинах і до 3000 Ом на піщаних косогорах і

штучних насипах, а в чорноземній зоні (Кагарлицький район) – від 25 до 45 Ом. Розрахункове значення опору природних заземлювачів (залізобетонних стояків) проміжних опор ПЛ напругою 6 – 20 кВ становить від $0,45\rho$ до $0,5\rho$, де ρ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м.

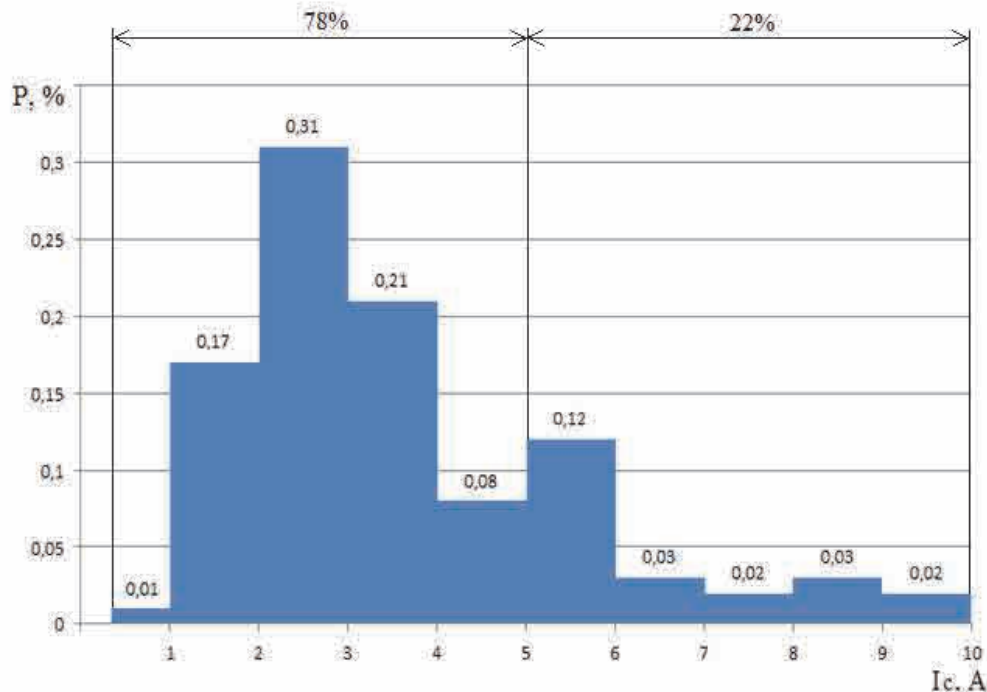


Рис. 1. Розподіл ємнісних струмів замикання на землю в мережах 10 кВ у сільській місцевості

За нашими дослідженнями, мінімальна початкова потужність, з якої може починатися і тривати до завершення процес термічного ураження підземної частини залізобетонної опори в мережах 6–20 кВ, становить:

а) 1,5–1,8 кВт – у разі встановлення опори в ґрунтах з $\rho_3 \leq 50$ Ом·м (чорноземи з вологістю 16%);

б) 4,5–5,0 кВт – у разі встановлення опори в ґрунтах з ρ_3 – від 1000 Ом·м до 1500 Ом·м (пісок з вологістю 3–4%).

За результатами експериментальних досліджень у процесі термічного ураження підземної частини опори виділено два етапи (рис. 2).

На першому етапі опір заземлення і напруга на опорі поступово зменшуються на 20–50%, а температура ґрунту безпосередньо біля опори підвищується до 50–70 °С. Наприкінці цього етапу опір заземлювача і напруга на опорі знову підвищуються до величин близьких до початкових, а температура ґрунту біля опори підвищується до 80–90 °С. З цього починається другий етап – опір заземлення і напруга на опорі по відношенню до землі починають стрімко підвищуватися і процес завершується повним термічним ураженням заземлювача – опора з ОЗЗ отримує потенціал близький до фазного.

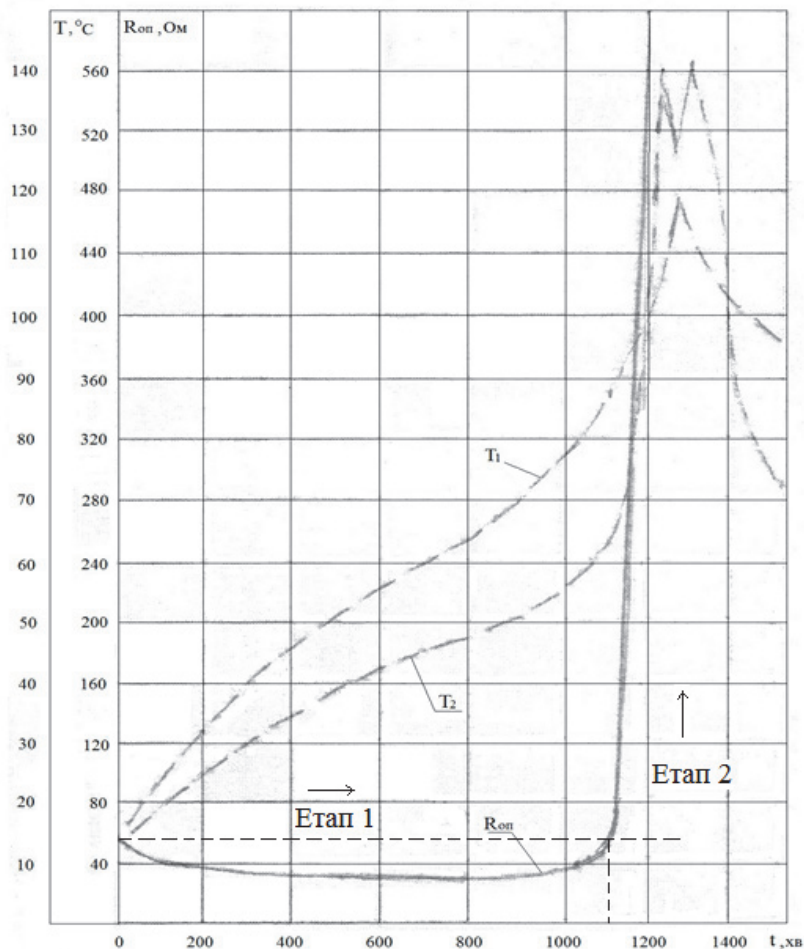


Рис. 2. Етапи термічного ураження заземлювача залізобетонної опори:

T_1 – температура ґрунту біля опори на глибині 32 см;

T_2 – температура ґрунту на відстані 20 см від опори на глибині 22 см;

$R_{оп}$ – опір заземлення

Час існування першого етапу буде найдовшим, якщо ОЗЗ відбувається з повнотою замикання близькою до одиниці, тобто через малий опір і найкоротшим, якщо ОЗЗ відбувається на опорі, опір заземлення якої критичний для мережі

$$R_{кр.} = \frac{U_{\phi}}{I_c}. \quad (1)$$

За критичного опору в підземній частині опори в землю виділяється максимальна потужність, яка визначається за формулою

$$P_{оп.мах} = 0,5 \cdot U_{\phi} \cdot I_c. \quad (2)$$

Для мереж напругою 6, 10, 15 і 20 кВ зі струмом замикання на землю $I_c = 10$ А величина критичного опору $R_{кр.}$ буде, відповідно, 380, 635, 950 і 1270 Ом, а максимальна потужність $P_{оп.мах}$ – 19,5; 31,7; 45,4 і 63,5 кВт (рис. 3).

На рис. 3 видно, що зі збільшенням номінальної напруги мережі в підземній частині опори суттєво збільшується потужність, яка виділяється в землю за одних і тих самих значень I_c і $R_{оп}$, що призводить до скорочення часу термічного ураження і суттєвого обмеження допустимого часу, протягом якого ОЗЗ необхідно вимикати.

З використанням даних експериментальних досліджень, які проводилися в різні часи (з кінця 60-х років минулого століття до сьогодення) визначено допустимий час існування ОЗЗ в мережі 10 кВ сільських районів за умовою недопущення термічного ураження підземної частини опори (рис. 4).

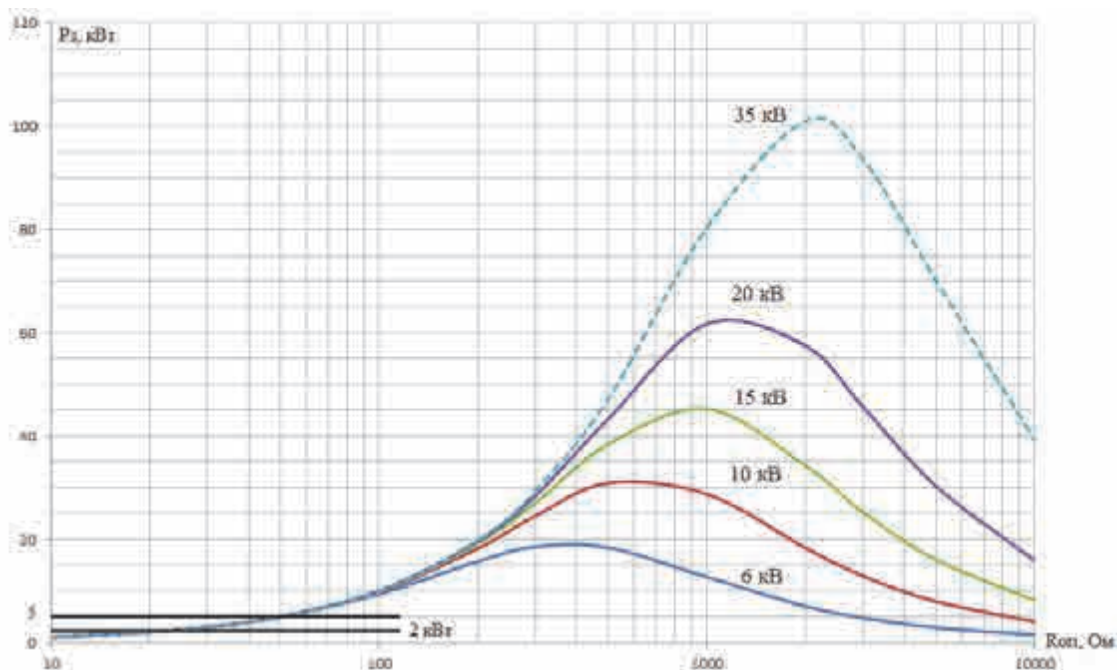


Рис. 3. Залежність потужностей, які виділяються в підземній частині залізобетонної опори з ОЗЗ, від опору розтікання струму з опори в землю для мереж напругою 6, 10, 15, 20 кВ зі струмом $I_c = 10\text{А}$

Допустимий час існування ОЗЗ в мережі визначається за кривими 1, 2, 3 залежності від струму I_c і величини опору заземлення проміжних опор в ненаселеній місцевості (I_c і $R_{оп}$ повинні бути відомими). Так, за струму $I_c \leq 2,0\text{ А}$ час існування ОЗЗ в мережі може бути необмеженим за умови термічного ураження підземної частини опори, але обмежений до максимально-можливого за вимогами другого абзацу п.12.12.9 ГКД 34.20.507-2003.

За струму $I_c = 10\text{ А}$ ОЗЗ в мережі може бути добу (крива 1) у разі, якщо опір природних заземлювачів не буде перевищувати 30 Ом, а це дуже малоймовірно.

За струму $I_c = 5\text{ А}$ ОЗЗ може бути 5 годин (крива 2) за відсутності в мережі опор, опір заземлення яких перевищує 300 Ом, а за наявності опор з опором заземлення понад 600 Ом – не більше 3 годин (крива 3).

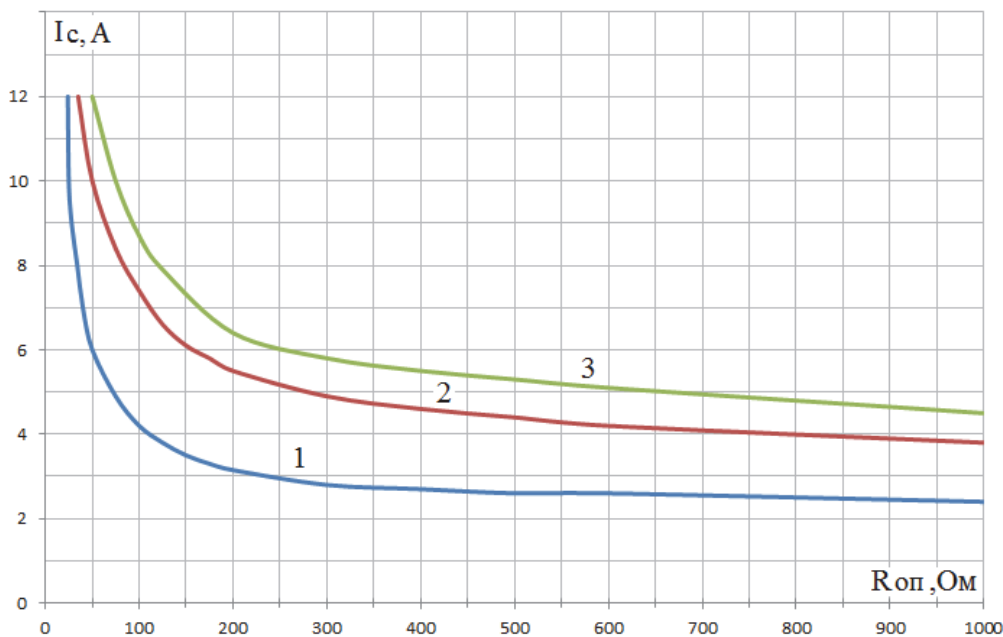


Рис. 4. Допустимий час існування ОЗЗ в мережі напругою 10 кВ з ізолюваною нейтраллю залежно від струму замикання на землю I_c і опору заземлення залізобетонної опори із ОЗЗ за умови недопущення термічного ураження її підземної частини:

1 – до 24 годин; 2 – до 5 годин; 3 – до 3 годин

Зі збільшенням струму I_c до 6–10 А та існування в мережі опор, опір заземлення яких понад 400 Ом, допустимий час існування ОЗЗ може бути менше за годину.

У разі реконструкції мереж 6–10 кВ з переводом їх на напругу 20 кВ у багатьох випадках протяжність ПЛ 20 кВ в мережі буде такою самою, як і протяжність ПЛ 10 кВ, а струм I_c мережі 20 кВ зросте удвічі, порівняно з мережею 10 кВ. Тому доцільно порівняти такі мережі в частині безпеки в режимі роботи з ОЗЗ. Порівняння зроблено для мережі 10 кВ зі струмом $I_c = 5$ А і для мережі 20 кВ зі струмом $I_c = 10$ А.

Порівняння зроблено для двох випадків:

- опір опор з ОЗЗ однаковий – від 20 до 50 Ом, у ґрунтах з $\rho_{екв.}$ від 40 до 100 Ом·м (див. таблицю);
- 500 Ом у ґрунтах з $\rho_{екв.}$ 1000 Ом·м (рис. 5).

У мережі 10 кВ термічного ураження заземлювачів з опором 20, 30 і 50 Ом не відбувається. У цих мережах потужність, яка виділяється в підземній частині опори, менша від потужності, з якої починається і за якої триває процес термічного ураження.

У мережі 20 кВ термічне ураження заземлювачів відбувається за всіх значень опору заземлення, і якщо воно не буде локалізовано на першому етапі термічного ураження (рис. 2), то другий етап його пройде дуже швидко з виділенням максимальної потужності $P_{оп. макс.} = 63,5$ кВт (рис. 5). За таких умов, підвищення напруги на опорі до фазної (12,7 кВ) може призвести до перегорання арматури в підземній частині опори.

Потужність, яка виділяється в підземній частині залізобетонної опори з ОЗЗ ПЛ напругою 11 кВ ($I_c = 5$ А) і 22 кВ ($I_c = 10$ А) в електричній мережі однакової довжини залежно від опору розтікання струму

Номинальна напруга, кВ	Потужність (кВт), у разі опору розтікання струму, Ом							
	20	30	50	75	100	150	200	250
11	0,5	0,75	1,25	1,869	2,5	3,7	4,9	6,0
22	2,0	3,0	5,0	7,5	9,9	14,8	19,5	24,0

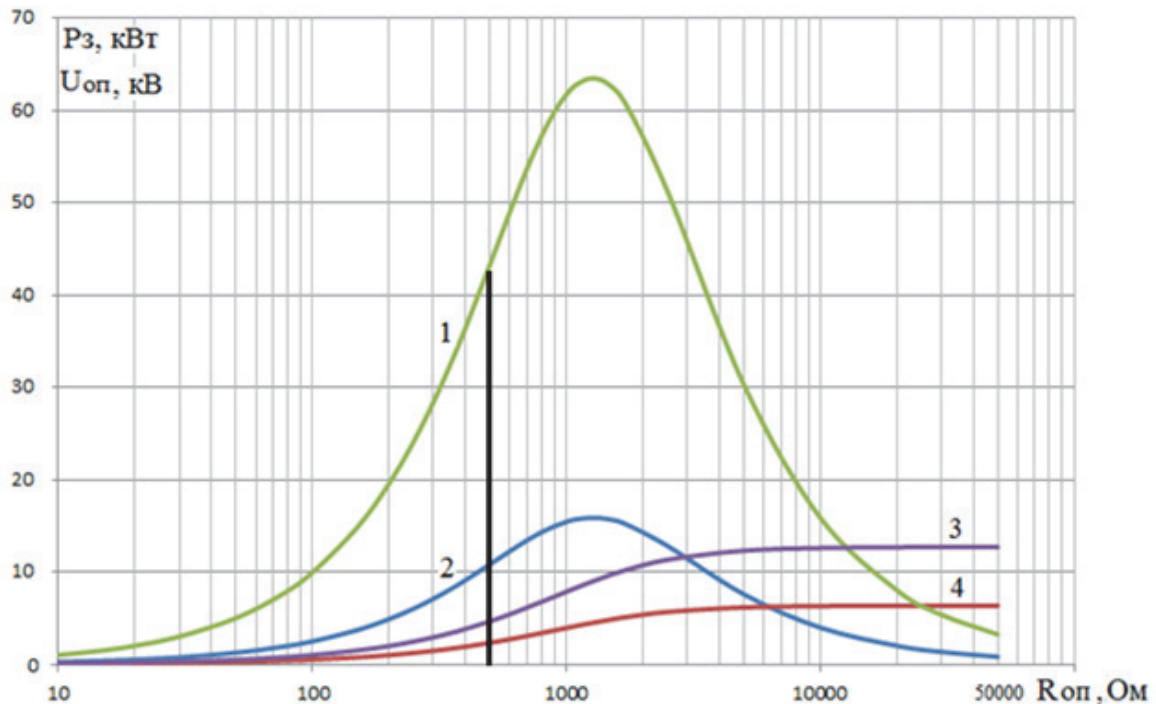


Рис. 5. Потужність і напруга опор ПЛ номінальної напруги 11 і 22 кВ зі струмами ОЗЗ $I_c = 5$ А і $I_c = 10$ А відповідно:

- 1 – потужність у підземній частині опори ПЛ 20 кВ;
- 2 – потужність у підземній частині опори ПЛ 10 кВ;
- 3 – напруга на опорі ПЛ 20 кВ; 4 – напруга на опорі ПЛ 10 кВ

У разі ОЗЗ в мережі 10 кВ, на опорах з опором заземлення 500 Ом перший етап процесу термічного ураження буде проходити за початковою потужністю $P_{оп} = 11$ кВт і триватиме близько 4 годин, що достатньо для локалізації пошкодження.

У мережі 20 кВ перший етап процесу термічного ураження буде проходити за початковою потужністю 45 кВт і триватиме не більше 10–15 хв, що недостатньо для локалізації пошкодження. Другий етап термічного ураження також закінчиться дуже швидко та з перегоранням арматури опори. Отже, небезпека в мережі 20 кВ буде значно вищою.

Висновки і перспективи. 1. Ізольовану нейтраль мережі 6–20 кВ зі струмами ОЗЗ до 10 А не слід заземлювати через високоомний резистор у разі, якщо мережа має повітряні лінії на залізобетонних опорах зі

встановленими на них штирьовими ізоляторами і опори, опір яких не нормують, а забезпечують природною провідністю підземної частини опори.

Встановлення високоомного резистора в нейтралі таких мереж призведе до прискорення термічного ураження підземної частини опори з ОЗЗ і обмеження часу для локалізації пошкодження, що в кінцевому результаті погіршить безпеку в мережі.

2. Для мереж 6–20 кВ необхідно розробити НД з визначення допустимого часу існування ОЗЗ для недопущення термічного ураження підземної частини опори та внести відповідні зміни в п.12.12.9 ГKD 34.20.507-2003 «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила».

3. У мережах 20 кВ слід застосовувати компенсацію ємнісних струмів починаючи з 5 А і обмежувати час існування ОЗЗ чотирма годинами (на підставі досвіду експлуатації ПЛ 20 кВ Чехії).

4. З метою зменшення кількості випадків ОЗЗ, на проміжних опорах ПЛ 20 кВ слід встановлювати стрижньові ізолятори, а на анкерних – підвісні.

Список літератури

1. Квіцинський А. О. Розрахунок процесу термічного ураження залізобетонних опор струмами однофазного замикання на землю / А. О. Квіцинський, О. В. Шеліманова. – Науковий вісник НУБіП України. – 2016. – № 242. – С. 204–210.

2. ГKD 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. – Х. : Форт, 2006. – 536 с.

References

1. Kvitsynskyi, A. O., Shelimanova, O. V. (2016). Rozrakhunok protsesu termichnoho urazhennia zalizobetonnykh opor strumamy odnofaznoho zamykannia na zemliu [Calculation of thermal shock of reinforced concrete pillars by currents single-phase ground fault]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 242, 204–210.

2. HKD 34.20.507-2003 Tekhnichna ekspluatatsiia elektrychnykh stantsii i merezh. Pravyla (2006). [Technical operation of electric power stations and networks. Rules]. Kharkiv: Fort, 536.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ТОКАМИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

**А. А. Квицинский,
А. В. Шелиманова,
В. Г. Сантоцкий**

Аннотация. Допустимая продолжительность однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной нейтралью и токами замыкания на землю до 10 А в постсоветских странах не установлена. Цель данного исследования – нормировать допустимую продолжительность режима ОЗЗ, не нарушающую термической устойчивости опор. Экспериментальные исследования выполнялись на

полигонах института «Укрсельэнергопроект». Показано, что изолированную нейтраль сети 6–20 кВ с токами ОЗЗ до 10 А не следует заземлять через высокоомный резистор. В сетях 20 кВ следует применять компенсацию емкостных токов и ограничивать время существования ОЗЗ четырьмя часами. С целью уменьшения количества случаев ОЗЗ, на промежуточных опорах воздушных линий 20 кВ следует устанавливать стержневые изоляторы, а на анкерных – подвесные.

Ключевые слова: железобетонная опора, термическое поражение заземлителя, ток однофазного замыкания на землю

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL SHOCK OF REINFORCED CONCRETE PILLARS BY CURRENTS SINGLE-PHASE GROUND FAULT

A. O. Kvitsynsky,
O. V. Shelimanova,
V. G. Santosky

Abstract. *The permissible duration of single-phase earth faults (SEF) in networks with isolated neutral and grounding currents up to 10 A in post-Soviet countries is not established. The purpose of the research is to normalize the permissible duration of the regime of ultrasound, which does not violate the thermal stability of the supports. The research was carried out by the staff of the UkrSilEnergoProject Institute. It is shown that the isolated neutral of the 6-20 kV network with the currents of the SEF to 10 A should not be grounded through a high-resistance resistor. In networks of 20 kV, capacitive currents compensation should be used starting from 5 amperes and the limitation of the lifetime of the SEF for four hours. In order to reduce the number of cases of ultrasound in the intermediate supports of a 20 kV overhead line, rod insulators shall be installed, and anchor-pendant on anchors.*

Keywords: *reinforced concrete pillar, earthing switch's thermal shock, the current of single-phase ground fault*

UDC 514.18

MAPLE-MODELS OF MOVEMENT OF PARTS ON SURFACE SPHERE

A. V. NESVIDOMIN, candidate of technical sciences, senior lecturer
National University of life and environmental sciences of Ukraine

Abstract. *The main results of modeling the motion of a particle on a rough surface of a sphere in the function of an independent parameter are given t – time. In contrast to the line surfaces, analytical calculations of the motion of a particle on non-linear surfaces of rotation of the 2nd order are*

© A. V. Nesvidomin, 2017

полигонах института «Укрсельэнергопроект». Показано, что изолированную нейтраль сети 6–20 кВ с токами ОЗЗ до 10 А не следует заземлять через высокоомный резистор. В сетях 20 кВ следует применять компенсацию емкостных токов и ограничивать время существования ОЗЗ четырьмя часами. С целью уменьшения количества случаев ОЗЗ, на промежуточных опорах воздушных линий 20 кВ следует устанавливать стержневые изоляторы, а на анкерных – подвесные.

Ключевые слова: железобетонная опора, термическое поражение заземлителя, ток однофазного замыкания на землю

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL SHOCK OF REINFORCED CONCRETE PILLARS BY CURRENTS SINGLE-PHASE GROUND FAULT

A. O. Kvitsynsky,
O. V. Shelimanova,
V. G. Santosky

Abstract. *The permissible duration of single-phase earth faults (SEF) in networks with isolated neutral and grounding currents up to 10 A in post-Soviet countries is not established. The purpose of the research is to normalize the permissible duration of the regime of ultrasound, which does not violate the thermal stability of the supports. The research was carried out by the staff of the UkrSilEnergoProject Institute. It is shown that the isolated neutral of the 6-20 kV network with the currents of the SEF to 10 A should not be grounded through a high-resistance resistor. In networks of 20 kV, capacitive currents compensation should be used starting from 5 amperes and the limitation of the lifetime of the SEF for four hours. In order to reduce the number of cases of ultrasound in the intermediate supports of a 20 kV overhead line, rod insulators shall be installed, and anchor-pendant on anchors.*

Keywords: *reinforced concrete pillar, earthing switch's thermal shock, the current of single-phase ground fault*

UDC 514.18

MAPLE-MODELS OF MOVEMENT OF PARTS ON SURFACE SPHERE

A. V. NESVIDOMIN, candidate of technical sciences, senior lecturer
National University of life and environmental sciences of Ukraine

Abstract. *The main results of modeling the motion of a particle on a rough surface of a sphere in the function of an independent parameter are given t – time. In contrast to the line surfaces, analytical calculations of the motion of a particle on non-linear surfaces of rotation of the 2nd order are*

© A. V. Nesvidomin, 2017

more complex. Therefore, only certain mathematical expressions that were obtained using developed maple models **Sphere_1**.

Keywords: motion of a particle, rough surface, sphere, system of differential equations, trajectory, velocity

Topicality. Understanding the patterns of motion of a particle on different surfaces allows us to calculate the parameters of many working bodies of agricultural machines. The study of trajectory-kinematic characteristics of the motion of a particle requires the formation of a system of differential equations of the 2nd order and its approximate solution, which is a rather labor-intensive process and practically impossible to implement without the use of modern packages of symbolic algebras.

Analysis of recent research and publications. In the work [1], the motion of a particle was investigated on a horizontal rough plane, which carries out translational displacements in a circle. In contrast to the line surfaces, analytical calculations of the motion of a particle on non-linear surfaces of rotation of the 2nd order are more complex. To study the motion of a particle for such surfaces, it is also advisable to develop maple models of motion [2, 3].

The purpose of the study is to develop for the environment of the symbolic algebra Maple a computer model of the motion of a particle on a rough surface of the sphere, which performs oscillatory displacements in space, and with the help of computational experiments to find out its trajectory-kinematic properties.

Materials and methods of research. The research was carried out using computer technology for the formation of the law of motion and analysis of trajectory and kinematic characteristics, comparing them with known results.

Research results and their discussion. Let's write the parametric equation of **uv**- coordinate grid of the sphere in the form:

$$\mathbf{R}(u, v) = R[a \cos(u) \cos(v), a \sin(u) \cos(v), a \sin(v)], \quad (1)$$

where a – sphere radius;

$u \in [0; 2\pi]$, $v \in [-\pi/2; \pi/2]$ – independent curvilinear coordinates of the surface.

Coefficients of the 1-st quadratic shape of the sphere $\mathbf{R}(u, v)$ equal to:

$$E = a^2 \cos(v)^2, F = 0, G = a^2. \quad (2)$$

Since the coefficient $F = 0$, so the grid $\mathbf{R}(u, v)$ of the sphere (1) is orthogonal.

The substitution of the sought expressions $u = u(t)$ and $v = v(t)$ of the particle motion law in the internal u, v – coordinates of the sphere $\mathbf{R}(u, v)$ in equation (1) allows us to obtain the trajectory $\mathbf{r}(t)$ of the particle on the surface in the general form:

$$\mathbf{r}(t) = r[a \cos(v(t)) \cos(u(t)), a \cos(v(t)) \sin(u(t)), a \sin(v(t))], \quad (3)$$

from where the vector of the tangent $\tau(t)$ of the trajectory $r(t)$ and the velocity $v(t)$ of the particle are:

$$\tau(t) = \tau \begin{bmatrix} -a \left(\cos(u(t)) \sin(v(t)) \frac{d}{dt} v(t) + \cos(v(t)) \sin(u(t)) \frac{d}{dt} u(t) \right), \\ -a \left(\sin(v(t)) \sin(u(t)) \frac{d}{dt} v(t) - \cos(v(t)) \cos(u(t)) \frac{d}{dt} u(t) \right), \\ a \cos(v(t)) \frac{d}{dt} v(t) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$v(t) = |\tau(t)| = a \sqrt{\cos(v(t))^2 \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2}. \quad (5)$$

The vector of normal N to the surface along the trajectory $r(t)$ of the particle is expressed by:

$$N(t) = N \left[a^2 \cos(v(t))^2 \cos(u(t)), a^2 \cos(v(t))^2 \sin(u(t)), a^2 \cos(v(t)) \sin(v(t)) \right]. \quad (6)$$

The cosine of the angle η between the vector $G[0, 0, -1]$ gravity $F_g = mg$ and the normal vector N of the surface R depends on:

$$\cos(\eta(t)) = \cos(\tilde{G}, \tilde{N}) = -\sin(v(t)). \quad (7)$$

The equation of the normal $n(t)$, the curvature $k(t)$ of the trajectory $r(t)$, the cosine of the angle ε between the vectors of the normal $n(t)$ and $N(t)$, which are included in the expressions of the centrifugal force F_c and the forces of the normal reaction F_N , are cumbersome (see geometry.com.ua), and therefore are not given here.

The equation of the force of the normal reaction F_N has a rather compact appearance:

$$F_N(t) = mg \cos(\eta) + m v^2 k \cos(\varepsilon) = m \left(a \left(\cos(v(t))^2 \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 \right) - g \sin(v(t)) \right), \quad (8)$$

which demonstrates that its value may be negative for $v(t) \in]-\pi/2; 0]$, and therefore it is possible to separate the particle from the surface of the sphere in its upper part.

For the derivation of the law of motion of a particle on the inner surface of the sphere in projections on the orth u and v of the $OuvN$ triangle, it is necessary to have their directions::

$$R'_x(t) = R'_x [-a \cos(v(t)) \sin(u(t)), a \cos(v(t)) \cos(u(t)), 0], \quad (9)$$

$$R'_y(t) = R'_y[-a \sin(v(t)) \cos(u(t)), -a \sin(v(t)) \sin(u(t)), a \cos(v(t))]. \quad (10)$$

The acceleration vector w of a particle is expressed by:

$$w(t) = w \begin{bmatrix} -a \cos(u(t)) \left(\cos(v(t)) \left(\left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 \right) + a \sin(v(t)) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 \right) + \\ + a \sin(u(t)) \left(2 \sin(v(t)) \frac{d}{dt} u(t) \frac{d}{dt} v(t) - \cos(v(t)) \frac{d^2}{dt^2} u(t) \right) \\ -a \sin(u(t)) \left(\cos(v(t)) \left(\left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 \right) + a \sin(v(t)) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 \right) - \\ -a \cos(u(t)) \left(2 \sin(v(t)) \frac{d}{dt} u(t) \frac{d}{dt} v(t) - \cos(v(t)) \frac{d^2}{dt^2} u(t) \right) \\ -a \sin(v(t)) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + \cos(v(t)) \frac{d^2}{dt^2} v(t) \end{bmatrix}. \quad (11)$$

On the obtained vectors R'_x , R'_y and w we find the cosines of the corresponding angles:

$$\cos(\widehat{w, R'_x}) = \frac{-2 \sin(v(t)) \frac{d}{dt} u(t) \frac{d}{dt} v(t) + \cos(v(t)) \frac{d^2}{dt^2} u(t)}{w}, \quad (12)$$

$$\cos(\widehat{w, R'_y}) = \frac{\frac{d^2}{dt^2} v(t) + \sin(v(t)) \cos(v(t)) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2}{w}, \quad (13)$$

$$\cos(\widehat{G, R'_x}) = 0, \quad \cos(\widehat{G, R'_y}) = -\cos(v(t)), \quad (14)$$

$$\cos(\widehat{\tau, R'_x}) = \frac{\cos(v(t)) \frac{d}{dt} u(t)}{v}, \quad \cos(\widehat{\tau, R'_y}) = \frac{\frac{d}{dt} v(t)}{v}, \quad (15)$$

Substitution of the found expressions in the system of differential equations leads to their subsequent form:

$$\begin{cases} 0u = -ma \left(2 \sin(v(t)) \frac{d}{dt} u(t) \frac{d}{dt} v(t) - \cos(v(t)) \frac{d^2}{dt^2} u(t) \right) = \\ - \frac{m_f \cos(v(t)) \left(a \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + a \cos(v(t))^2 \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 - g \sin(v(t)) \right) \frac{d}{dt} u(t)}{v} \\ uv = ma \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) + \sin(v(t)) \cos(v(t)) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 \right) = \\ -mg \cos(v(t)) - \frac{m_f \frac{d}{dt} v(t) \left(a \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 - a g \sin(v(t))^2 + a \cos(v(t))^2 \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 \right) \frac{d}{dt} u(t)}{v} \end{cases} \quad (16)$$

The initial conditions for the solution of the resulting system of differential equations are:

$$O i := u(0) - u_0 \frac{d}{dt} u(0) - \frac{v_0 \sin(\alpha_0)}{a \cos(\alpha_0)}, v(0) - v_0 \frac{d}{dt} v(0) - \frac{v_0 \cos(\alpha_0)}{a}, \quad (17)$$

where: α_0 – the angle between the velocity vector $\mathbf{V}(t)$ and u – coordinate lines of the sphere R ; $\mathbf{V}_0$ – initial particle velocity;

$[\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0]$ – its position at the moment $t_0 = 0$.

The law of motion of a particle along a rough interior surface of a sphere in projections on the T and P axis of the accompanying triangular $OTPN$ is determined by the system of differential equations of the following form:

$$\begin{cases} \sigma r = a \left(\cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} u(t) \right) + \frac{d}{dt} \sigma(t) \left(-\sin(\sigma(t)) \cos(\sigma(t)) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \frac{d}{dt} u(t) \right) \right) = \\ -f \left(a \left(\frac{d}{dt} \sigma(t) \right)^2 + a \cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} \sigma(t) - g \sin(\sigma(t)) \right) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \cos(\sigma(t)) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} u(t)} \\ \sigma r = a \left(\cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) - \cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} \sigma(t) \frac{d}{dt} v(t) + \sin(\sigma(t)) \frac{d}{dt} \sigma(t) \left(2 \frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \cos(\sigma(t)) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 \right) = \\ -g \cos(\sigma(t)) \frac{d}{dt} u(t) \end{cases} \quad (18)$$

The sought $u(t)$ and $v(t)$ dependencies of the systems of differential equations (16) – (18) can be found only approximate. Fig. 1 shows the trajectories $\mathbf{r}(t)$ of the particle, the graphs of its velocity $V(t)$ and the forces of the normal reaction $F_N(t)$ in the sphere of radius $a = 2$ different values of the angle $\alpha_0 = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ throwing a particle with constant values of its initial position $\mathbf{u}_0 = \pi$, $\mathbf{v}_0 = 0$ on the sphere, initial velocity $V_0 = 4$ m/s and coefficient of friction $f = 0.3$.

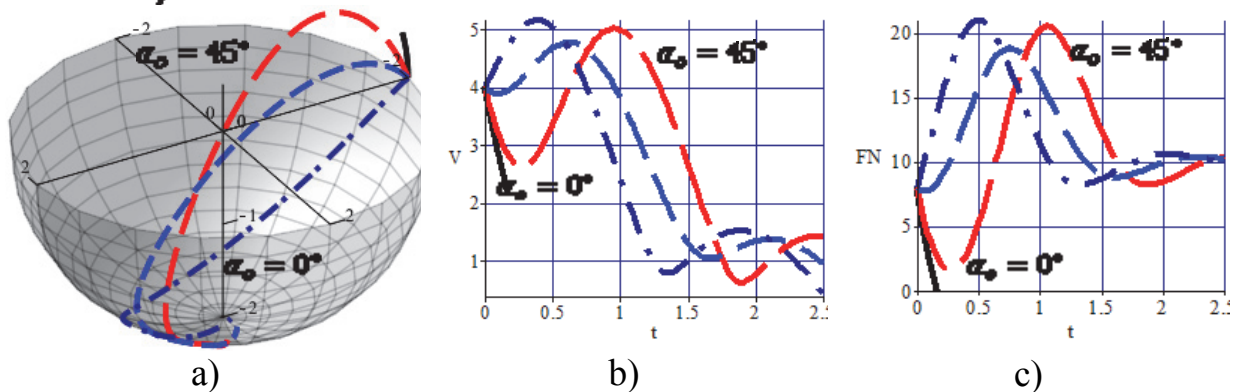


Fig. 1. The trajectory $\mathbf{r}(t)$ of the particle, graphs of its velocity $V(t)$ and the forces of the normal reaction $F_N(t)$ for different values of the angle α_0 of its throw

Since the graph of the normal reaction $F_N(t)$ of the particle thrown at an angle $\alpha_0 = 0^\circ$ (perpendicular to the parallels of the sphere up) over the time interval $t \cong 0.2c$ goes to zero, then at that moment the particle will break off from the surface of the sphere. All other particles will approach the lower pole of the sphere under the zigzag-like law – their velocity decreases to zero, and the magnitude of the normal reaction $F_N(t)$ to the value of mg . Moreover, all of

them will not stop at the point of the pole of the sphere, but in its vicinity, whose radius depends on the value of the coefficient of friction f and the radius of the sphere a . Of all the particles, the fastest stop is that which is thrown towards the lower pole of the sphere. Although the arc of the trajectory of a particle thrown at an angle $\alpha_0 = 45^\circ$ was in the upper part of the sphere, the particle from the surface did not tear off due to centrifugal force.

Figure 2 shows the trajectory-kinematic characteristics of the particle, depending on the coefficient of friction $f = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ at a given angle $\alpha_0 = 90^\circ$ of its throw. The particle with a friction coefficient $f = 0.4$ will stop at the first through the interval $t \approx 2.3$ s. Regardless of the initial velocity V_0 and the coefficient of friction f , the trajectories of all particles thrown at an angle $\alpha_0 = 90^\circ$ will not cross the equator of the sphere.

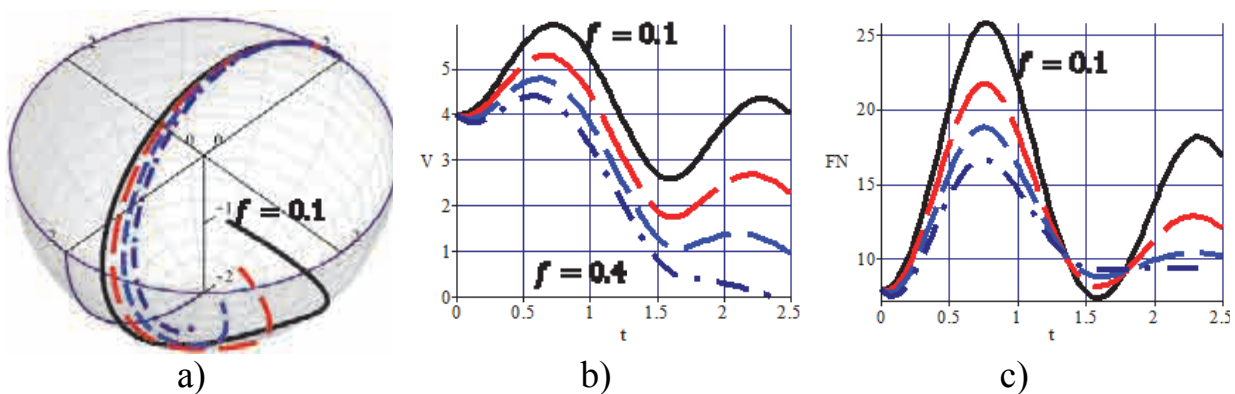


Fig. 2. Trajectories $\mathbf{r}(t)$ of the particle, graphs of its velocity $V(t)$ and forces $F_N(t)$ of the normal reaction, depending on the coefficient of friction f

Let the particles have a different initial velocity $V_0 = 2, 4, 6, 8$ m/c, but the same values $\alpha_0 = 90^\circ$ and $f = 0.3$. According to the graphs of the velocities $V(t)$ and the forces $F_N(t)$ of the normal particle reaction, it can be seen (Fig. 3a) that, regardless of their initial velocity V_0 they begin to converge through the interval $t \approx 2.5$ s, although at the beginning of the movement $t = 0$ there was a significant difference in their values.

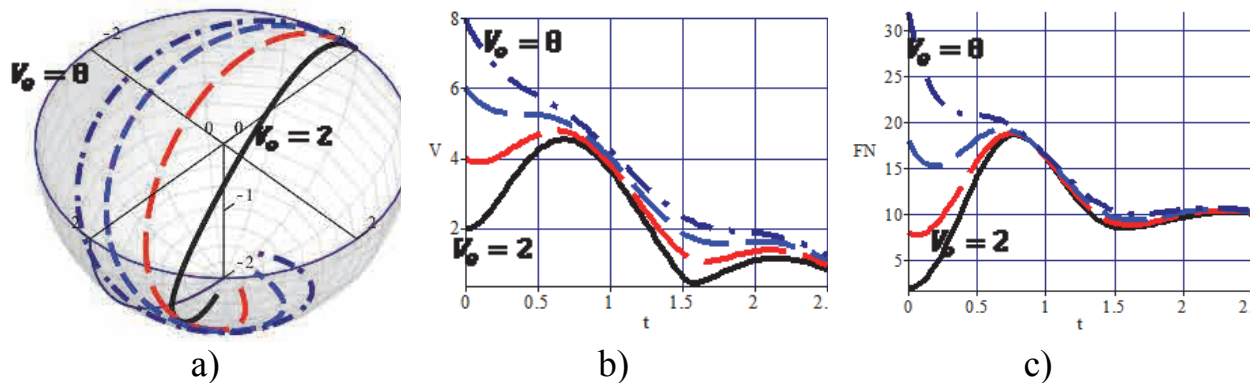


Fig. 3. Trajectories $\mathbf{r}(t)$, graphs of velocity $V(t)$ and forces of the normal reaction $F_N(t)$ depending on the initial velocity V_0

If the particle is thrown at the same initial velocity $V_c = 4 \text{ m/c}$ in different places on the meridian of the spheres in the direction of the parallels, then their trajectories $\mathbf{r}(t)$ converge in the vicinity of a certain point (Fig. 4, a). The fastest stop is the particle that was the lowest (Fig. 4, b). For this particle on the sphere, the force of the normal reaction $F_N(t)$ at the beginning of its movement is greatest due to the greater curvature of the trajectory (Fig. 4, c).

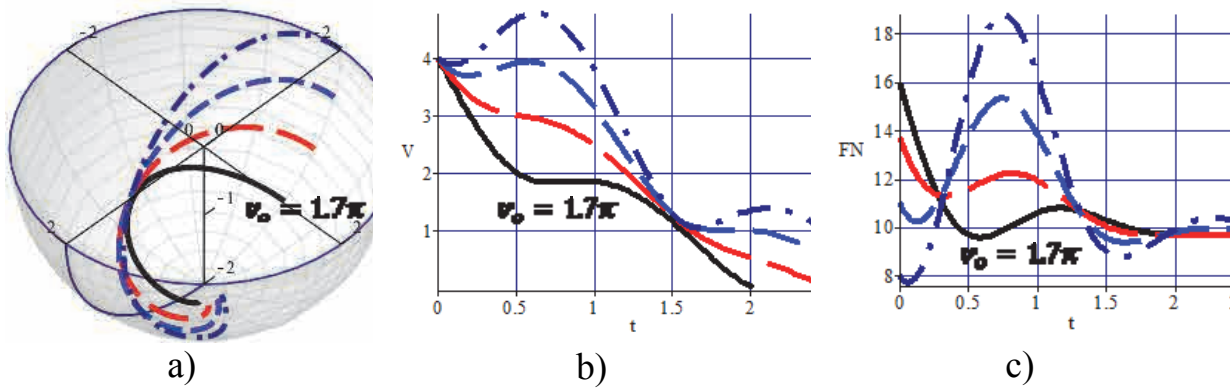
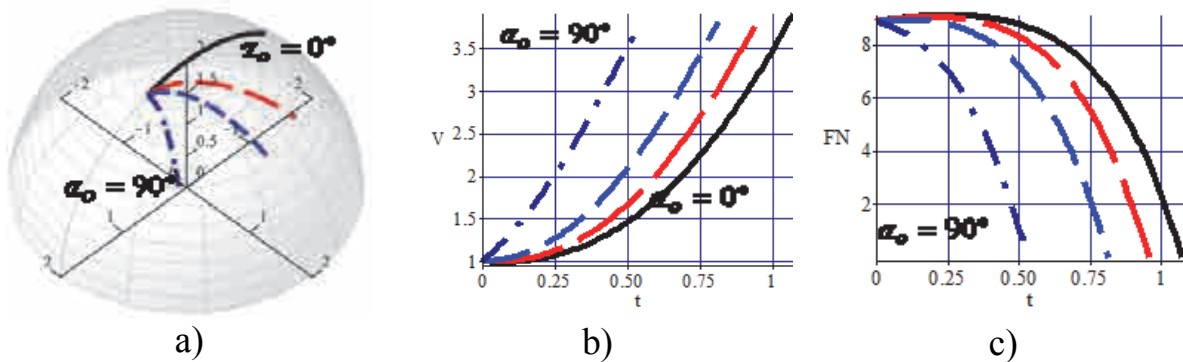


Fig. 4. The trajectories $\mathbf{r}(t)$, the graphs of velocity $V(t)$ and the forces of the normal reaction $F_N(t)$ depending on its initial position on the surface of the sphere

Figure 5 shows the trajectories $\mathbf{r}(t)$ of motion of the particle on the outer surface of the sphere of radius $a = 2$, the graphs of velocity $V(t)$, the forces of the normal reaction $F_N(t) = F_G(t) + F_C(t)$, the gravity forces $F_G(t) = mg \cos(\widehat{G, N})$, the centrifugal force $F_C(t) = mV^2 k \cos(\widehat{n, N})$ and the curves $k(t)$ depending on the angle $\alpha_0 = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 90^\circ$ of the particle with constant values of its initial position $u_0 = \pi$, $v_0 = 0.4\pi$, initial velocity $V_0 = 1 \text{ m/c}$ and friction coefficient $f = 0.3$.



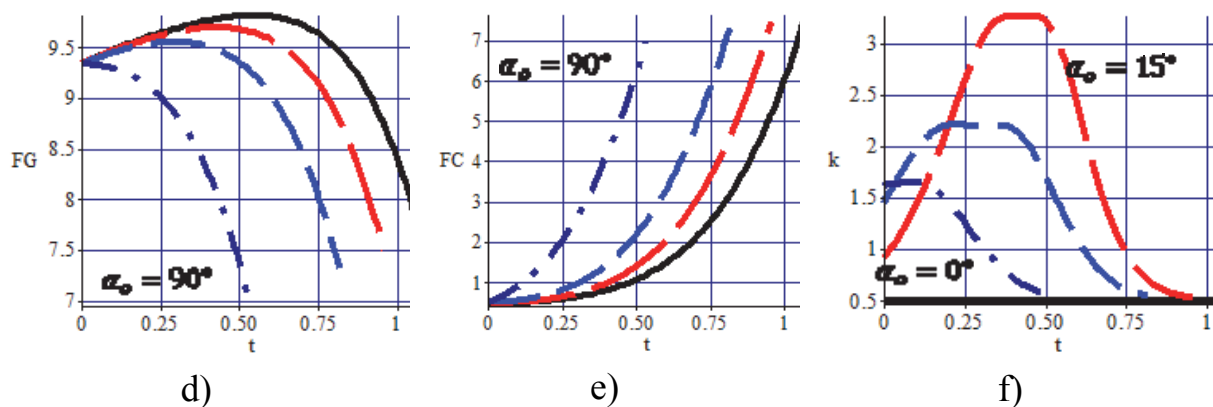


Fig. 5. The trajectories $\tau(t)$, the graphs of velocity $V(t)$ and the forces of the normal reaction $F_R(t)$, its components of gravity $F_G(t)$, the centrifugal force $F_C(t)$ and the curvature $k(t)$

Conclusions and perspectives. The particles thrown perpendicular to the parallels of the sphere upwards after a certain moment of time will break off from the surface of the sphere, and all other particles will approach the lower pole of the sphere under the zigzag-based law. Moreover, all of them will not stop at the point of the pole of the sphere, but in its vicinity, whose radius depends on the value of the coefficient of friction f and the radius of the sphere a . Of all the particles, the fastest stop is that which is thrown towards the lower pole of the sphere.

Regardless of the initial velocity V_0 and the coefficient of friction f , the trajectories of all particles thrown at an angle $\alpha_0 = 90^\circ$ will not cross the equator of the sphere. If the particle is thrown at the same initial velocity $V_0 = 4 \text{ м/с}$ in different places on the meridian of the spheres in the direction of the parallels, then their trajectories $\tau(t)$ converge in the vicinity of a certain point. The fastest part will be stopped, which was the lowest.

List of references

1. Пилипака С. Ф. Траєкторії руху частинок по шорсткій нахиленій площині при їх боковій подачі / С. Ф. Пилипака, А. В. Несвідомін // Прикл. геом. та інж. граф. – К. : КНУБА, 2011.– Вип. 87. – С. 36–42.
2. Аладьев В. З. Программирование и разработка приложений в Maple / В. З. Аладьев, В. К. Бойко, Е. А. Ровба. – Гродно-Таллин, 2007. – 458 с.
3. Пилипака С. Ф. Автоматизація моделювання руху частинки по гравітаційних поверхнях на прикладі похилої площини в системі Maple / С. Ф. Пилипака, А. В. Несвідомін // Прикл. геом. та інж. граф. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 86.– С. 64–69.

References

1. Pylypaka, S. F., Nesvidomin, A. V. (2011). Traiektoriyi rukhu chastynok po shorstkii nakhylenii ploshchyni pry yikh bokovii podachi [Trajectories of motion of particles on a rough inclined plane at their side feed]. Prykl. heom. ta inzh. Hraf, 87, 36– 42.

2. Alad'yev, V. Z., Boyko, V. K., Rovba, E. A. (2007). Programmirovaniye i razrabotka prilozheniy v Maple [Programming and developing applications in Maple]. -Grodno-Tallin, 458 .

3. Pylypaka, S. F., Nesvidomin, A. V. (2011). Avtomatyzatsiya modeliuvannya rukhu chastynky po hravitatsiinykh poverkhnyakh na prykladi pokhyloi ploshchyny v systemi Maple [Automation of modeling of motion of a particle on gravitational surfaces on an example of an inclined plane in the system Maple]. Prykl. heom. ta inzh. hraf., 86, 64–69.

MAPLE-МОДЕЛІ РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ПОВЕРХНІ СФЕРИ

А. В. Несвідомін

Анотація. Наведено основні результати моделювання руху частинки по шорсткій поверхні сфери у функції незалежного параметра t – часу. На відміну від лінійчатих поверхонь, аналітичні викладки руху частинки по нелінійчатих поверхнях обертання 2-го порядку є більш складними. Тому наводяться тільки окремі математичні вирази, які були одержані за допомогою розроблених maple-моделей **Sphere_t**.

Ключові слова: рух частинки, шорстка поверхня, сфера, система диференціальних рівнянь, траєкторія, швидкість

MAPLE-МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ

А. В. Несвидомин

Аннотация. Приведены основные результаты моделирования движения частицы по шероховатой поверхности сферы в функции независимого параметра t – времени. В отличие от линейчатых поверхностей, аналитические выкладки движения частицы по нелінійчатых поверхностях вращения 2-го порядка являются более сложными. Поэтому приводятся только отдельные математические выражения, которые были получены с помощью разработанных maple-моделей **Sphere_t**.

Ключевые слова: движение частицы, шероховатая поверхность, сфера, система дифференциальных уравнений, траектория, скорость

ОЦІНКА ЗДАТНОСТІ ЗЕЛЕНИХ НИТЧАСТИХ ВОДОРОСТЕЙ ДО ОЧИСТКИ ВОДИ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

О. О. ПАСІЧНА, кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник

Інститут гідробіології НАН України

E-mail esopasichna@gmail.com

О. О. ГОДЛЕВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, доцент
**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail godlevok@ukr.net

Анотація. Забруднення водного середовища важкими металами – серйозна екологічна проблема, для вирішення якої постає необхідність пошуку ефективних, доступних і дешевих методів його очистки, зокрема з використанням гідробіонтів.

Мета даного дослідження – визначення здатності до акумуляції важких металів розповсюдженими у водоймах України зеленими нитчастими водоростями (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz. і *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.) та оцінка можливості їх використання для очистки води. Визначення накопичення металів водоростями проводили методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії.

Одержані результати свідчать про високу накопичувальну здатність *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* щодо йонів міді і мангану. Зі збільшенням концентрації Cu^{2+} і Mn^{2+} у водному середовищі відбувається майже пропорційне збільшення вмісту металів у досліджуваних водоростях. Поряд зі здатністю до накопичення значної кількості металів, нитчасті водорості *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* є достатньо стійкими до їх дії. У зв'язку з цим, ці види водоростей можна рекомендувати для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення, зокрема, для доочистки стічних вод.

Ключові слова: важкі метали, мідь, манган, нитчасті водорості, акумуляція, очистка води

Актуальність. Швидкі темпи урбанізації, індустріалізації, надмірне використання добрив і пестицидів призвело до забруднення землі та водних ресурсів важкими металами. На відміну від більшості органічних речовин, метали не можуть бути трансформовані й деградовані, тому акумулюються у воді, ґрунті, донних відкладах і живих організмах [7]. У таких умовах постає необхідність пошуку ефективних, доступних і дешевих методів очистки водного середовища від надлишку металів.

Традиційно під час очистки стічних вод застосовують фізико-хімічні та біологічні методи, головним чином, з використанням активного мулу, що не призводить до досягнення стабільних залишкових концентрацій забруднюючих речовин. У зв'язку з цим, для доочистки таких вод застосовують різні системи з використанням як окремих гідробіонтів, так і їх угруповань [2]. Тому постає необхідність виявлення тих видів гідрофітів, які є поширеними у водоймах, мають здатність до накопичення значної кількості металів і достатню стійкість до їх дії, та можуть бути використані для очистки води.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує низка досліджень, які показують здатність різних видів водяних макрофітів до накопичення важких металів із забруднених природних, стічних вод та донних відкладів, що призводить до зменшення негативного впливу цих токсикантів на компоненти водних екосистем [6, 7, 9].

Рекомендовано використання водяних макрофітів у системі моніторингу забруднення водного середовища важкими металами та очищення природних водойм і стічних вод [8, 9]. Зокрема у праці [8] для видалення важких металів із забрудненого водного середовища автори рекомендують використовувати *Ceratophyllum demersum*, який здатний накопичувати значні кількості Cr, Fe і Ni. Виявлено здатність вилучати з води значну кількість кадмію (Cd), свинцю (Pb), цинку (Zn) і міді (Cu) водяними макрофітами *Lemna minor*, *Elodea canadensis*, *Leptodictyum riparium*, у зв'язку з чим, можливе їх використання з метою фіторе mediaції стічних вод [6]. У праці [9] рекомендовано використання *Najas marina*, *Ceratophyllum demersum* і *Vallisneria spiralis* для видалення важких металів з евтрофних водойм.

Мета дослідження – виявлення тих видів нитчастих водоростей, які ефективно акумулюють метали з водного середовища, що призводить до зменшення їх концентрації, а, отже, до очистки води. Це визначало необхідність дослідження здатності до накопичення важких металів розповсюдженими у водоймах України видами зелених нитчастих водоростей і встановлення кореляції між вмістом металів у рослинних організмах та їх концентрацією у воді.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами досліджень були зелені нитчасті водорості кладофора (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz.) і едогоніум (*Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.).

Зелені нитчасті водорості вирощували на розведеному в 20 разів середовищі Успенського № 1 [3]. Водорості вирощували за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і комбінованого освітлення лампами розжарювання і денного світла протягом 14 год/добу; рН середовища вимірювали за допомогою іономіра ЭВ-74.

Для дослідження впливу йонів металів (на прикладі йонів міді та мангану) на водорості їх поміщали в скляні акваріуми з водним середовищем (без додавання фосфатів і карбонатів, з якими йони металів утворюють нерозчинні солі, та мікроелементів), приготуванням на основі відстояної водопровідної води з розрахунку: 2 г сирової маси : 3 дм³ води. У водне середовище додавали мідь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) у концентрації

0,5, 2, 5, 10 і 20 мкг/дм³ (за йонами Cu²⁺) і манган (MnSO₄·5H₂O) – 5, 20, 50, 100 і 200 мкг/дм³ (за йонами Mn²⁺) окремо і сумісно. Фоновий вміст міді у воді становив 0,14±0,05 мкг/дм³, мангану – 0,24±0,02 мкг/дм³.

Експериментальні дослідження тривали 14 діб (зі зміною розчину на сьому добу). Контрольними були водорості, витримані в ідентичних умовах, проте без додавання йонів металів.

Визначення накопичення металів водоростями проводили атомно-адсорбційним методом [4]. Кількість акумульованих рослинами металів розраховували в мікрограмах на 1 г сухої маси.

Усі досліді проводили у 4–5 повторностях. Одержані результати опрацьовано статистично з використанням спеціальних комп'ютерних програм.

Результати досліджень та їх обговорення. Результати досліджень свідчать, що зі збільшенням концентрації Cu²⁺ у водному середовищі вміст міді в едогоніумі збільшується вже через добу. Через два тижні впливу 0,5–20 мкг/дм³ Cu²⁺ вміст міді у водоростях був більшим, ніж через добу, і перевищував в 1,3–11,3 раза контрольний рівень (рис. 1, а).

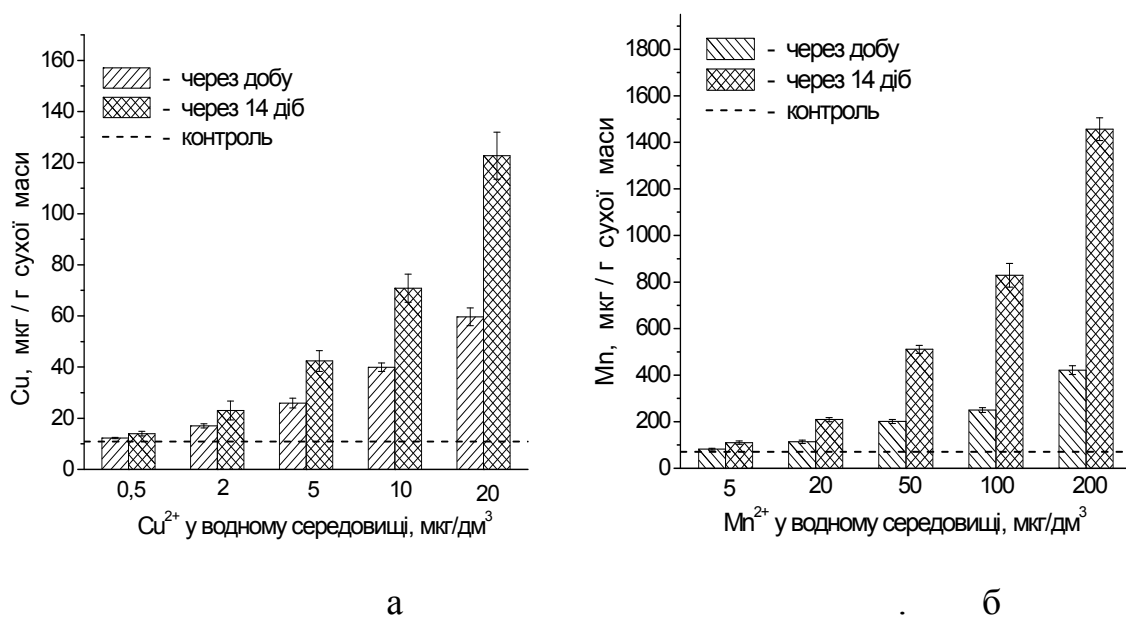


Рис. 1. Накопичення міді (а) і мангану (б) *Oedogonium cardiacum* при підвищенні концентрації йонів металів у водному середовищі (M±m, n=4–5)

Дія йонів марганцю в концентрації від 5 до 200 мкг/дм³ на едогоніум через 24 год призводить до збільшення вмісту металу в водоростях від 1,2 до 6,1 раза порівняно з контролем. При подовженні експозиції до 14 діб вміст металу в едогоніумі зростає в 1,5–19,9 раза порівняно з контрольним (рис. 1, б).

Кладофора накопичує більшу кількість міді і марганцю, ніж едогоніум. Так, за дії 0,5–20 мкг/дм³ Cu²⁺ вміст міді в її таломі через добу підвищується в 1,2–6,2 раза, через 2 тижні – в 1,4–12,4 раза порівняно з контролем (рис. 2, а). При впливі 5–200 мкг/дм³ Mn²⁺ на кладофору через 24 год вміст мангану в водоростях збільшується в 1,3–10,1 раза, через 14 діб – в 1,9–24,0 раза відносно контрольного рівня (рис. 2, б).

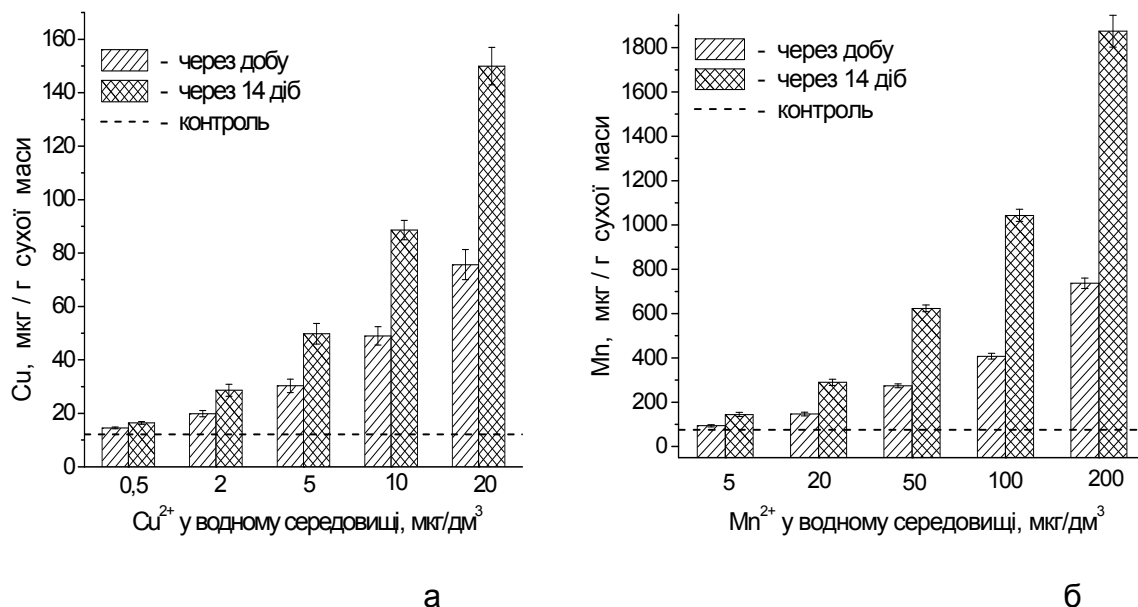


Рис. 2. Накопичення міді (а) і мангану (б) *Cladophora glomerata* при підвищенні концентрації йонів металів у водному середовищі ($M \pm m$, $n=4-5$)

Висновки і перспективи. Одержані результати свідчать про високу накопичувальну здатність зелених нитчастих водоростей *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* щодо йонів міді та мангану. Зі збільшенням концентрації Cu^{2+} і Mn^{2+} у водному середовищі спостерігається майже пропорційне збільшення вмісту металів як в едогоніумі, так і в кладофорі.

Загалом нитчасті водорості накопичували більше металів, ніж вищі водяні рослини, зокрема *Elodea canadensis* Michx. і *Ceratophyllum demersum* L. [5]. Відомо, що клітинні оболонки водоростей складаються головним чином із полісахаридів і не є серйозною перешкодою для проникнення металів до мембрани. Вакуолі нитчастих водоростей мають великий розмір і завдяки цьому виконують просторову функцію, завдяки чому відносна асиміляційна поверхня клітин збільшується в 4–5 разів [1]. Відомості про значний ступінь акумуляції біогенних елементів зеленими нитчастими водоростями зустрічаються і в літературних джерелах. Так, у праці [1] показано, що фактично тільки такі повітряно-водяні рослини, як очерет і рогіз, можуть поглинати більше біогенних елементів, ніж нитчасті водорості.

Для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення рекомендують використовувати ті види водяних рослин, які одночасно зі здатністю до накопичення значної кількості металів є стійкими до їх дії, оскільки загибель і відмирання рослинних організмів призводить до вторинного забруднення води. Особливо це стосується стічних вод, у яких концентрації йонів металів досягають істотних значень. Оскільки поряд зі здатністю до акумуляції значної кількості металів нитчасті водорості *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* є достатньо стійкими до їх дії, то їх можна рекомендувати для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення, зокрема для доочистки стічних вод.

Список літератури

1. Величко И. М. Экологическая физиология зеленых нитчатых водорослей / И. М. Величко. – К. : Наук. думка, 1982. – 198 с.
2. Крот Ю. Г. Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод / Ю. Г. Крот // Гидробиол. журн. – 2006. – 42 (1). – С. 47–61.
3. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / под. ред. А. В. Топачевского. – К. : Наук. думка, 1975. – 247 с.
4. Никаноров А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов, А. Д. Покаржевский – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
5. Пасічна О. О. Використання макрофітів для біомоніторингу та очистки водного середовища за умови комбінованого забруднення важкими металами / О. О. Пасічна // Гидробиол. журн. – 2013. – 49 (4). – С. 78–86.
6. Basile, A. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes / A. Basile, S. Sorbo, B. Conte, R. C. Cobianchi, F. Trinchella, C. Capasso, V. Carginale // Int. J. Phytoremediation, 14, 4, 374–387.
7. Miretzky, P. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina) / Miretzky P., Saralegui A., Cirelli A. F. // Chemosphere, 57, 997–1005.
8. Wang, Z. (2014). Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China / Wang Z., Yao L., Liu G., Liu W. // Ecotoxicol. Environ. Saf., 107, 200–206.
9. Xing, W. (2013). Bioaccumulation of heavy metals by submerged macrophytes: looking for hyperaccumulators in eutrophic lakes / Xing W., Wu H., Hao B., Huang W., Liu G. // Environ. Sci. Technol., 47, 9, 4695–4703.

References

1. Velichko, I. M. (1982). Ekologicheskaya fiziologiya zelenykh nitchatykh vodorosley [Ecological physiology of green filamentous algae]. Kiev: Naukova dumka, 198.
2. Krot, Yu. G. (2006). Ispol'zovaniye vysshikh vodnykh rasteniy v biotekhnologiyakh ochistki poverkhnostnykh i stochnykh vod [Use of higher aquatic plants in biotechnologies for surface water and sewage treatment] // Hydrobiol. journ., 42 (1), 47–61.
3. Topachevskiy, A. V. ed. (1975). Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biochemical study of algae in hydrobiological practice]. Kiev: Naukova dumka, 247.
4. Nikanorov, A. M., Zhulidov, A. V., Pokarzhevskiy, A. D. (1985). Biomonitring tyazhelykh metallov v presnovodnykh ekosistemakh [Biomonitoring of heavy metals in freshwater ecosystems]. Leningrad, Russia: Gidrometeoizdat, 143.
5. Pasichna, O. O. (2013). Vykorystannya makrofitiv dlya biomonitorynhu ta ochystky vodnoho seredovishcha za umovy kombinovanoho zabrudnennya vazhkymy metalamy [Use of macrophytes for biomonitoring and purification of the aquatic medium under the conditions of combined pollution by heavy metals] // Hydrobiol. journ., 49 (4), 78–86.
6. Basile, A., Sorbo, S., Conte, B., Cobianchi, R. C., Trinchella, F., Capasso, C., Carginale, V. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes . Int. J. Phytoremediation, 14 (4), 339–344.

7. Miretzky, P., Saralegui, A., Cirelli, A. F. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 57, 997–1005.
8. Wang, Z., Yao, L., Liu, G., Liu, W. (2014). Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 107, 200–206.
9. Xing, W., Wu, H., Hao, B., Huang, W., Liu, G. (2013). Bioaccumulation of heavy metals by submerged macrophytes: looking for hyperaccumulators in eutrophic lakes. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (9), 4695–4703.

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ЗЕЛЕННЫХ НИТЧАТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ К ОЧИСТКЕ ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

**Е. А. Пасична,
О. А. Годлевская**

Аннотация. Загрязнение водной среды тяжелыми металлами – серьезная экологическая проблема, для решения которой возникает необходимость поиска эффективных, доступных и дешевых методов ее очистки, в частности, с использованием гидробионтов.

Цель данного исследования – определение способности к аккумуляции тяжелых металлов распространенными в водоемах Украины зелеными нитчатыми водорослями (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz. и *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.), а также оценка возможности их использования для очистки воды. Определение накопления металлов водорослями проводили методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой накопительной способности *Cladophora glomerata* и *Oedogonium cardiacum* по отношению к ионам меди и марганца. С увеличением концентрации Cu^{2+} и Mn^{2+} в водной среде происходит почти пропорциональное увеличение содержания металлов в исследуемых водорослях. Наряду со способностью к накоплению значительного количества металлов, нитчатые водоросли *Cladophora glomerata* и *Oedogonium cardiacum* являются достаточно устойчивыми к их действию. В связи с этим, эти виды водорослей можно рекомендовать для извлечения металлов из водной среды со значительным уровнем загрязнения, в частности, для доочистки сточных вод.

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, марганец, нитчатые водоросли, аккумуляция, очистка воды

ASSESSMENT OF ABILITY OF GREEN FILAMENTOUS ALGAE TO WATER PURIFICATION FROM HEAVY METALS

**O. O. Pasichna,
O. O. Godlevska**

Abstract. Pollution of the water environment with heavy metals is a serious environmental problem, which requires the search for effective, affordable and cheap methods of its purification, in particular, using hydrobionts.

The purpose of this work was to study the ability of green filamentous algae *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. and *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr. to accumulate of heavy metals from water environment and also to assess the possibility of their using for water purification. Determination of the metals content in algae was carried out by the method of atomic-adsorption spectrophotometry.

The obtained results indicate to high accumulation capacity of *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* for copper and manganese ions. With an increasing of the concentration of Cu^{2+} and Mn^{2+} in the aquatic environment, there is an almost proportional increase of the content of these metals in the investigated algae. Along with the ability to accumulate a significant amount of metals, filamentous algae *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* are sufficiently resistant to their action. In this regard, these species of algae can be recommended for removal of metals from water with a high level of pollution, in particular, for the treatment of wastewater.

Keywords: heavy metals, copper, manganese, filamentous algae, accumulation, water purification

УДК 330.4+519.22

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЗАТРАТ

И. В. СТЕПАХНО, кандидат физико-математических наук, доцент
Ю. Б. ГНУЧИЙ, доктор физико-математических наук, профессор
О. Ю. ДЮЖЕНКОВА, кандидат физико-математических наук, доцент
**Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины**

E-mail: stir@ukr.net, oduzen@ukr.net

Аннотация. Представлен метод многомерного статистического анализа, рассмотрено понятие идентификации математико-статистической модели и рассчитаны коэффициенты влияния параметров модели на определяемые значения маневренных и экономических характеристик сложной технической системы. Основным инструментом обработки входной информации предложен аппарат теории случайных матриц. Проблемы построения математических моделей в современных условиях при использовании очень большого количества параметров требуют разработки таких подходов, в которых

Abstract. Pollution of the water environment with heavy metals is a serious environmental problem, which requires the search for effective, affordable and cheap methods of its purification, in particular, using hydrobionts.

The purpose of this work was to study the ability of green filamentous algae *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. and *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr. to accumulate of heavy metals from water environment and also to assess the possibility of their using for water purification. Determination of the metals content in algae was carried out by the method of atomic-adsorption spectrophotometry.

The obtained results indicate to high accumulation capacity of *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* for copper and manganese ions. With an increasing of the concentration of Cu^{2+} and Mn^{2+} in the aquatic environment, there is an almost proportional increase of the content of these metals in the investigated algae. Along with the ability to accumulate a significant amount of metals, filamentous algae *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* are sufficiently resistant to their action. In this regard, these species of algae can be recommended for removal of metals from water with a high level of pollution, in particular, for the treatment of wastewater.

Keywords: heavy metals, copper, manganese, filamentous algae, accumulation, water purification

УДК 330.4+519.22

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЗАТРАТ

И. В. СТЕПАХНО, кандидат физико-математических наук, доцент
Ю. Б. ГНУЧИЙ, доктор физико-математических наук, профессор
О. Ю. ДЮЖЕНКОВА, кандидат физико-математических наук, доцент
**Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины**

E-mail: stir@ukr.net, oduzen@ukr.net

Аннотация. Представлен метод многомерного статистического анализа, рассмотрено понятие идентификации математико-статистической модели и рассчитаны коэффициенты влияния параметров модели на определяемые значения маневренных и экономических характеристик сложной технической системы. Основным инструментом обработки входной информации предложен аппарат теории случайных матриц. Проблемы построения математических моделей в современных условиях при использовании очень большого количества параметров требуют разработки таких подходов, в которых

представляется возможным учесть все необходимые ситуации жизненных циклов, не искажая реального функционирования многоуровневых систем и не теряя при этом важной входной информации.

Мировая и отечественная практика судовождения насчитывает значительное число аварий и аварийных ситуаций, возникающих в результате ошибок, допущенных судоводителями при маневрировании, особенно в сложных путевых условиях плавания или швартовки. Это связано прежде всего с тем, что выбор тактики маневрирования базируется в основном на опыте и интуиции судоводителя и глазомерной оценке ситуации движения.

Принятие решения о корректировке маневра реализуется методом проб и ошибок, цена которых может оказаться весьма высокой. Субъективная оценка ситуации до начала маневра и после его инициации является основным источником ошибок, приводящих к авариям. Альтернативой этой субъективности может быть только хорошее знание параметров математической модели судна и компьютерное проигрывание предполагаемого маневра на основе такого знания.

Существует два пути получения такого знания. Первый путь состоит в построении математической модели судна один раз по результатам ходовых испытаний и в дальнейшем пользовании такой моделью с коррекцией на условия плавания. Другой путь заключается в получении параметров модели постоянно в процессе эксплуатации судна и использовании этой обновляемой модели для прогнозирования планируемых маневров. В статье используются методы доказательства теорем для случайных матриц, детально изученные в приведенной литературе.

Ключевые слова: *многомерный статистический анализ, вероятность, математическая модель, случайная матрица*

Актуальность. Разработка статистических методов очень часто требует получения объективной информации для выбора способа прогнозирования ситуации. Ставится задача: показать преимущества использования некоторых вероятностных подходов на практическом примере сложной технической системы (судовождения при реализации маневра).

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретико-вероятностный подход к решению прикладных задач, в которых количество параметров велико, рассматривался в работах В. Л. Гирко [1]–[4]. Созданный аппарат в теории случайных матриц достаточно доказателен на безразмерных входных данных и для подтверждения и апробации проводились исследования на примерах сложных математических моделей.

Цель исследования. Существует масса прикладных задач в жизни общества, в которых без использования построения моделей практически невозможно безошибочно просчитать множество показателей. Обслуживание речных и морских судов, а также портов является актуальной задачей, для решения которой необходимо применять

научный метод математической статистики. Рассматривая данные статистики по аварийности, становится понятным, что жизненный цикл оборудования имеет определенные временные и пространственные ограничения. Многомерность экономических и технических показателей каждой эксплуатируемой единицы усложняет интуитивное оценивание ситуации в каждом конкретном случае. Проводить множество испытаний невыгодно, и параметры характеристик поступают с искажениями.

Становится понятным, что применение многомерного статистического анализа в данных условиях позволяет учесть все приведенные выше трудности. Предлагается провести статистическую обработку большого количества наблюдений с учетом вероятностных ошибок в рамках допущенных ограничений. Для более точной идентификации предлагаемой математико-статистической модели необходимо собрать всю информацию, поступающую в разные моменты жизненных циклов судов, и записать ее в соответствующую матрицу. Эта информация должна учитываться постоянно в процессе эксплуатации судна и использоваться в обновляемой модели для прогнозирования планируемых маневров.

При создании математических (или имитационных) моделей сложных технических, информационных и других систем очень часто конструируется возможность управления (прогнозирования) поведением системы путем влияния на ее основные, «узловые» показатели. Поскольку на практике входные данные подаются с искажениями, имеющими вероятностный характер, то приходится заниматься исследованием оценивания поведения некоторых функций от таких «узловых» характеристик, но уже в следующем построении.

Материалы и методы исследования. Пусть $X_i, i = \overline{1, s}$ – независимые наблюдения над случайной матрицей $A + \Xi$, где $A = (a_{ij})$ – вещественная матрица, $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, $\Xi = (\xi_{ij})$ – случайная матрица той же размерности.

Обозначим через λ_k сингулярные собственные числа матрицы A , а через $\lambda_k^{\mathcal{E}}$ – сингулярные собственные числа матрицы $\mathcal{A} = s^{-1} \cdot \sum_{i=1}^s X_i$. Очевидно, что если элементы матрицы Ξ независимы, имеют нулевые средние и дисперсии $s^{-1}\sigma^2$, то элементы матрицы $\mathcal{A}$ также независимы и имеют дисперсии $s^{-2}\sigma^2$.

Будем считать, что числа m, n, σ^2, s зависимы и удовлетворяют следующим условиям:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \sigma^2 s^{-1} n < \infty, \quad \lim_{m \rightarrow \infty} \sigma^2 s^{-1} m < \infty, \quad \lim_{m \rightarrow \infty} mn^{-1} < 1, \quad \lim_{m \rightarrow \infty} mn^{-1} > 0. \quad (1)$$

Пусть $\lambda_k^{\mathcal{E}}(A) \leq C < \infty, C = \text{const}, k = 1, 2, \dots, \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m.$ (2)

Рассмотрим сингулярные спектральные функции

$$\mathcal{F}_m(x) = m^{-1} \sum_{k=1}^m \chi(\mathcal{E}_k < x),$$

где $\begin{cases} 1, \text{ если } \mathcal{E}_k < x, \\ 0, \text{ если } \mathcal{E}_k \geq x \end{cases}$, то есть индикатор события $\{\mathcal{E}_k < x\}$, $\mathcal{E}_k$ – корни

характеристического уравнения $\det(I \cdot \lambda - \sqrt{\mathcal{A}'\mathcal{A}}) = 0$.

Таким образом, $\mathcal{F}_m(x)$ – ступенчатая функция, имеющая положительные скачки величиной m^{-1} в точках $x = \mathcal{E}_k$, т.е. это эмпирическая функция распределения. Функция $\mathcal{F}_m(x)$ сложно выражается через элементы матрицы $\widehat{A}$, точные формулы до сих пор неизвестны, так как в силу теоремы Абеля для корней полиномов степени 5 и выше нет точных формул, выражающихся в виде рациональных функций через коэффициенты полинома. Поэтому непосредственно находить асимптотическое выражение для $\mathcal{F}_m(x)$ не представляется возможным. Удобным инструментом для изучения асимптотического поведения $\mathcal{F}_m(x)$ является преобразование Стилтеса. Для такой функции интеграл Стилтеса вычисляется в явном виде:

$$\mathcal{F}_m(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - z)^{-1} d\mathcal{F}_m(x) = m^{-1} \sum_{k=1}^m \frac{1}{\mathcal{E}_k - z}, \quad (3)$$

где $z = e_1 + ie_2$, $e_2 \neq 0$.

Поскольку в последнем равенстве выражение справа есть не что иное, как $m^{-1} \text{sP}(-Iz + \mathcal{A}'\mathcal{A})^{-1}$, то задача свелась к исследованию асимптотического поведения следов обратных случайных матриц.

Выражение $(-Iz + \mathcal{A}'\mathcal{A})^{-1}$ называется резольвентой матрицы $\mathcal{A}'\mathcal{A}$, которая является матрицей Грама. Очевидно, что матрица $\mathcal{A}$ распределена так же, как и матрица $A + \Xi$, где Ξ – случайная матрица с независимыми элементами.

Таким образом, вектор-столбцы матрицы $\mathcal{A}'$ стохастически независимы. Для матрицы $\mathcal{A}'\mathcal{A}$ доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть выполняются условия (1), (2), причем случайные элементы ξ_{ij} матрицы Ξ для каждого n независимы, $M\xi_{ij} = 0$, $D\xi_{ij} = s^{-1}\sigma^2$. Тогда

$$\text{plim}_{m \rightarrow \infty} m^{-1} \text{sP} \left[(-Iz + \mathcal{A}'\mathcal{A})^{-1} - M(-Iz + \mathcal{A}'\mathcal{A})^{-1} \right] = 0.$$

Доказательство этой теоремы основывается на стандартных формулах возмущений для резольвент матриц [1].

Результаты исследования и их обсуждение. Используя аппарат многомерного статистического анализа, в том числе и метод главных компонент, можно установить, какие коэффициенты в большей степени влияют на определенную характеристику и каким образом – в сторону увеличения или уменьшения. При этом коэффициенты влияния позволяют упростить и ускорить процесс идентификации. Действительно для точной идентификации параметров математической модели судна приходится затрачивать значительные временные и материальные ресурсы. К ним относится постановка самих испытаний и последующая обработка их результатов.

Возможно, такая обработка покажет необходимость новых испытаний с повторением всего технологического процесса. Если же мы будем знать, что конкретный параметр модели слабо влияет на данную маневренную характеристику, то не будем уточнять его многократно, сократив тем самым процесс “подгонки”. Все коэффициенты влияния собирают в таблицу – матрицу A размерности $m \times n$. Однако вследствие того, что в большинстве случаев элементы матрицы A известны с некоторыми случайными ошибками, часто вместо матрицы A мы рассматриваем наблюдения X_i , над матрицей $A + \Xi$, то есть реализации независимых случайных матриц. В исследованиях оценки параметров определялись, исходя из собственных значений и собственных векторов корреляционной матрицы, рассчитанной по исходным данным.

Выводы и перспективы. Если проводить наблюдения $X_1, X_2, \dots, X_s$ над определенным классом судов, то они отражают большое количество измерений характеристик каждого судна. В частности, упор винта к силе сопротивления движению, силу продольного сопротивления, угол дрейфа, разгонные, тормозные характеристики судна, скорость ветра, направление ветрового сноса судна, параметры движения и т.д. Проведя расчеты устанавливают, какие коэффициенты в большей степени влияют на определенную характеристику судна и каким образом. Полученные коэффициенты влияния позволяют обеспечить процесс идентификации построенной модели. А это, в свою очередь, позволяет не только уменьшить материальные затраты, но и оптимизировать качественный прогноз исследуемых процессов.

Список литературы

1. Гирко В. Л. G–оценка сингулярных собственных чисел матриц / В. Л. Гирко, И. В. Степахо // Докл. АН УССР. – 1990. – № 8, серия А. – С. 14–17.
2. Girko V. L. Theory of Linear Algebraic Equations with Random Coefficients / V. L. Girko. – New York, 1996. – 302 p.
3. Girko V. L. An Introduction to Statistical Analysis of Random Arrays / V. L. Girko. – VSP, 1998. – P. 5–11.
4. Girko V. L. Theory of stochastic canonical equations. / V. L. Girko. – Kluwer Publishers (Netherlands), 2001. – 316 p.

References

1. Girko, V. L., Stepahno, I. V. (1990). G–otsenka singulyarnykh sobstvennykh chisel matrix. [G-estimate of matrices singular eigenvalues]. Doklady AN USSR, 8(A), 14 – 17.
2. Girko, V. L. (1996). Theory of Linear Algebraic Equations with Random Coefficients. New York, 302.
3. Girko, V. L. (1996). An Introduction to Statistical Analysis of Random Arrays. VSP, 5–11.
4. Girko, V. L. (2001). Theory of stochastic canonical equations. Kluwer Publishers (Netherlands), 316.

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ З МЕТОЮ ЕКОНОМІЇ ВИТРАТ

**І. В. Степахо,
Ю. Б. Гнучий,
О. Ю. Дюженкова**

Анотація. Представлено метод багатовимірною статистичного аналізу, розглянуто поняття ідентифікації математико-статистичної моделі та розраховано коефіцієнти впливу параметрів моделі на обумовлені значення маневрених і економічних характеристик складної технічної системи. Основним інструментом обробки вхідної інформації запропоновано апарат теорії випадкових матриць. Проблеми побудови математичних моделей в сучасних умовах при використанні значної кількості параметрів потребують розробки таких підходів, в яких уявляється можливим врахування всіх необхідних ситуацій життєвих циклів, не спотворюючи реального функціонування багаторівневих систем і не втрачаючи при цьому важливої вхідної інформації.

Світова й вітчизняна практика судноводіння налічує значну кількість аварій і аварійних ситуацій, що виникають в результаті помилок, допущених судноводіями при маневруванні, особливо в складних дорожніх умовах плавання або швартування. Це пов'язано, перш за все, з тим, що вибір тактики маневрування базується, в основному, на досвіді та інтуїції судноводія та окомірної оцінки ситуації руху.

Ухвалення рішення про коригування маневру реалізується методом проб і помилок, ціна яких може виявитися доволі високою. Суб'єктивна оцінка ситуації до початку маневру і після його ініціації є основним джерелом помилок, що призводять до аварій. Альтернативою цій суб'єктивності може бути тільки добре знання параметрів математичної моделі судна і комп'ютерне програмування передбачуваного маневру на основі такого знання.

Існує два шляхи отримання такого знання. Перший шлях полягає в побудові математичної моделі судна один раз за результатами ходових випробувань і в подальшому користуванні такою моделлю з корекцією на умови плавання. Інший шлях полягає в отриманні параметрів моделі постійно в процесі експлуатації судна і використанні

цієї оновлюваної моделі для прогнозування планованих маневрів. У статті використано методи доведення теорем для випадкових матриць, детально вивчені в наведеній літературі.

Ключові слова: багатовимірний статистичний аналіз, ймовірність, математична модель, випадкова матриця

STATISTICAL ANALYSIS FOR THE IDENTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL IN APPLIED PROBLEMS WITH THE PURPOSE OF COST SAVINGS

I. V. Stepakhno,
Yu. B. Gnuchiy,
O. Yu. Dyuzhenkova

Abstract. *In this article the method of multivariate statistical analysis is presented and the concept of identification of the mathematical statistical model is considered. The coefficients of the model parameters influence on the determined values of the maneuverability and economic characteristics of a complex technical system are calculated. The basic tool for processing input information is the apparatus of the theory of random matrices. Problems of constructing mathematical models in modern conditions when using a very large number of parameters require the development of approaches in which it's possible to take into account all the necessary situations of life cycles without distorting the real functioning of multi-level systems and without losing important input information.*

World and native practice of navigation has a significant number of accidents and emergency situations arising from errors made by boatmasters during maneuvering, especially in difficult navigation conditions of navigation or mooring. This is primarily due to the fact that the choice of maneuver tactics is based mainly on the experience and intuition of the boatmaster and the visual assessment of the traffic situation.

The decision to adjust the maneuver is implemented by trial and error, the price of which can be very high. Subjective assessment of the situation before the start of maneuver and after its initiation is the main source of errors leading to accidents. An alternative to this subjectivity can be only a good knowledge of the parameters of the mathematical model of the ship and computer playback of the expected maneuver based on this knowledge.

There are two ways of obtaining such knowledge. The first way is to build a mathematical model of the ship once by the results of sea trials and in the future use of such a model with a correction for the conditions of navigation. The other way is to obtain the model parameters continuously during the operation of the vessel and use this updated model to predict the planned maneuvers. In this paper we use methods for proving theorems for random matrices, which have been studied in detail in the literature cited.

Keywords: *multivariate statistical analysis, probability, mathematical model, stochastic matrix*

ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ СО СЛУЧАЙНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

С. В. ШОСТАК, кандидат физико-математических наук, доцент
*Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины*

Н. Г. ШКОДА, кандидат физико-математических наук
Институт химии поверхности НАН Украины
E-mail: shostakserg@ukr.net

Аннотация. Предложен обобщенный метод расчета эффективной диэлектрической проницаемости, для случая композита, содержащего сферические металлические включения двух различных размеров. Рассмотрена эффективная диэлектрическая проницаемость системы, состоящей из металлических сфер, случайно расположенных в диэлектрической среде

Учтено, что система находится во внешнем переменном электрическом поле с длиной волны, значительно превышающей радиусы сфер и средние расстояния между частицами. Эффективная диэлектрическая функция такой системы при малых концентрациях частиц представляется формулой Максвелла-Гарнетта (МГ). Установлено, что при увеличении концентрации частиц имеет место существенное отклонение полученных результатов от приближения МГ из-за взаимодействия между включениями.

Отмечено, что с увеличением объемной фракции частиц в системе становятся существенными эффекты мультипольного взаимодействия между частицами. С учетом диполь-дипольного взаимодействия между частицами двух сортов рассмотрено поведение частотной зависимости мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости системы. Показано, что спектральная зависимость эффективной диэлектрической проницаемости композита получается усреднением по всем возможным положениям пар частиц в матрице. Также отмечено, что в металлическом композите с увеличением объемной фракции частиц в системе, тонкая структура спектра наблюдается только в случае учета парных диполь-дипольных взаимодействий.

Ключевые слова: **эффективная диэлектрическая проницаемость, металлические сферы, диэлектрическая среда, мультипольное взаимодействие**

Актуальность. В последнее время большой интерес представляют дисперсные системы (ДС) с включениями различной формы и природы. Такие системы, вследствие значительной разности частот поверхностных

плазмонов, позволяют управлять максимумами поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ) в зависимости от объемной доли того или иного компонента. Примерами таких систем есть матрично-дисперсные системы (МДС) со сферическими биметаллическими наночастицами с благородных металлов типа серебряное ядро – золотая оболочка, или наоборот – золотое ядро – серебряная оболочка. Актуальность проведенного исследования связана, прежде всего, с возможностью использования особенных свойств разнообразных ДС для изготовления на их основе композиционных материалов с наперед заданными электродинамическими, теплофизическими и упругими свойствами.

Анализ последних исследований и публикаций. Расчет частотно-зависимой эффективной диэлектрической функции композита представляет старую, но все еще не решенную задачу [1, 2]. Существует много различных приближенных подходов к ее решению [3–5], но нет теории, которая обеспечивала бы полное количественное согласие с соответствующими экспериментальными данными. В статье рассматривается матричная дисперсная система с металлическими сферическими включениями, случайным образом распределенными в диэлектрической матрице. Эффективная диэлектрическая функция $\tilde{\epsilon}$ такой системы при малых концентрациях частиц $f < 0,05$ ($f = \frac{4}{3}\pi n_0 r^3$; r – радиус включений; n_0 – их концентрация) представляется формулой Максвелла-Гарнетта (МГ) [2]. При концентрациях $f > 0,05$ имеет место существенное отклонение полученных результатов от приближения МГ из-за взаимодействия между включениями.

Цель исследования – обобщение метода, описанного в [6], для случая композита, содержащего сферические металлические включения двух различных размеров (R_a и R_b). Учитывается лишь парное мультипольное взаимодействие между включениями (первая поправка к приближению МГ).

Материалы и методика исследования. В работе были использованы механизмы и закономерности поглощения и рассеивания электромагнитного излучения отдельными металлическими сферическими частицами с учетом мультипольного взаимодействия между ними.

Результаты исследования и их обсуждение. Рассмотрим однородную диэлектрическую матрицу с включенными в нее сферическими частицами различного типа (обозначаемыми индексами $a, b, \dots$). Диэлектрическая проницаемость матрицы – ϵ_0 , а диэлектрические постоянные частиц – $\epsilon_a, \epsilon_b, \dots$. Пусть число сфер типа a – N_a , типа b – $N_b, \dots$. Общее число частиц $N = \sum_a N_a$. Система находится во внешнем переменном электрическом поле с длиной волны, значительно

превышающей радиусы сфер и средние расстояния между частицами;

$n_a = \frac{N_a}{V}, n_b = \frac{N_b}{V}, \dots$ – концентрации частиц сорта $a, b, \dots$.

Обобщая метод кластерного разложения [3–5], можно получить следующее соотношение для эффективной диэлектрической проницаемости системы [6–8]:

$$\frac{\tilde{\varepsilon} + 2\varepsilon_0}{\tilde{\varepsilon} - \varepsilon_0} = \frac{1}{\frac{4}{3} \sum_a n_a \alpha_a} - \frac{1}{\left(\sum_a n_a \alpha_a \right)^2} \cdot \sum_{a,b} n_a n_b \int_0^\infty R^2 \varphi_{ab}(R) \cdot dR [\beta_{ab}^{\parallel}(R) + 2\beta_{ab}^{\perp}(R)], \quad (1)$$

где $\alpha_a = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_0}{\varepsilon_a + 2\varepsilon_0} r_a^3$ – дипольная поляризуемость отдельной частицы сорта a ; $\varphi_{ab}(R)$ – двухчастичная функция распределения частиц в матрице;

r_a – радиус частицы a , $R = |\bar{R}_a - \bar{R}_b|$; $\bar{R}_a$ и $\bar{R}_b$ – центры сфер a и b соответственно;

$\beta^{\parallel}$ и $\beta^{\perp}$ – продольная и поперечная части двухчастичной поляризуемости. Принимая во внимание только парные диполь-дипольные взаимодействия между частицами, получаем [6–8]:

$$\begin{aligned} \beta_{ab}^{\parallel} &= \alpha_a \left[X_{10}^{(a)}(R) - 1 - \frac{2\alpha_b}{R^3} \right]; \beta_{ab}^{\perp} = \alpha_a \left[X_{11}^{(a)}(R) - 1 + \frac{\alpha_b}{R^3} \right] \\ X_{10}^{(a)} &= \frac{1 + 2\alpha_b R^{-3}}{1 - 4\alpha_a \alpha_b R^{-6}}; X_{11}^{(a)} = \frac{1 - \alpha_b R^{-3}}{1 - \alpha_a \alpha_b R^{-6}}. \end{aligned} \quad (2)$$

В этом подходе возможно обобщение на случай высших парных мультипольных взаимодействий [7], а также на случай многочастичных взаимодействий. Сходимость интеграла в выражении (1) в пределе

$N \rightarrow \infty, V \rightarrow \infty \left(\frac{N}{V} = \text{const} \right)$ детально рассмотрена в [4]. Используя простейшее приближение для двухчастичной функции распределения $\varphi_{ab}(R)$:

$$\varphi_{ab}(R) = \begin{cases} 1, & \text{когда } r_a + r_b \geq R, \\ 0, & \text{когда } r_a + r_b < R, \end{cases} \quad (3)$$

и ограничиваясь случаем двух сортов частиц различного радиуса, когда

$$n_a = n_b = n_0, \varepsilon_a = \varepsilon_b = \varepsilon, B_a = B_b = B = \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + 2\varepsilon_0} \Delta_{ab} = \Delta = \frac{r_a}{r_b} < 1, \quad \text{получаем из (1)}$$

$$- (3) [6,7]: \quad \tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \left\langle 1 + \frac{3f_0(1+\Delta^3)}{\frac{1}{B} - f_0(1+\Delta^3) - \frac{2}{3}f_0 D} \right\rangle, \quad (4)$$

где

$$D = \frac{1+\Delta^6}{1+\Delta^3} \ln \frac{8+B}{8-2B} + \frac{\Delta^3}{2(1+\Delta^3)} \left[\left(\Delta^{\frac{3}{4}} + \frac{1}{\Delta^{\frac{3}{4}}} \right)^2 \ln \frac{(1+\Delta)^3 + B\Delta^{\frac{3}{2}}}{(1+\Delta)^3 - 2B\Delta^{\frac{3}{2}}} - \left(\Delta^{\frac{3}{4}} - \frac{1}{\Delta^{\frac{3}{4}}} \right)^2 \ln \frac{(1+\Delta)^3 - B\Delta^{\frac{3}{2}}}{(1+\Delta)^3 + 2B\Delta^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (5)$$

и $f_0 = \frac{4}{3} \pi n_0 r_b^3$ – коэффициент заполнения включений ($n_1 = n_2 = n_0$),

$\Delta_{ab} = \Delta = \frac{r_a}{r_b} < 1$, а диэлектрическая функция металлических сфер соответствует модели Дрude [2]:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'_\infty + i\varepsilon'' - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}, \quad (6)$$

где ω_p – плазменная частота свободных электронов;

γ – частота их затухания.

Отметим, что в частном случае, когда $\Delta = 1$, $\varepsilon''_\infty = 0$ и $\gamma = 0$, мы получаем частоты поверхностных дипольных плазмонов:

$$\omega_{||}^2 = \omega_s^2 \frac{1 - 2\rho^3}{1 - 2\rho^3 B(\infty)}; \omega_{\perp}^2 = \omega_s^2 \frac{1 + \rho^3}{1 + \rho^3 B(\infty)}; B(\infty) = \frac{\varepsilon'_\infty - \varepsilon_0}{\varepsilon'_\infty + 2\varepsilon_0} \quad (7)$$

где $\rho = \frac{r}{R}$, $\omega_s = \frac{\omega_p}{\sqrt{\varepsilon'_\infty + 2\varepsilon_0}}$ – частота поверхностного плазмона отдельной частицы.

Остановимся теперь на случае $\Delta = 1$. Из (4) и (5) следует, что $\tilde{\varepsilon}$ можно получить из соотношения

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \left[1 + \frac{3fB}{1 - fB - \frac{2}{3}fB \ln \frac{8+B}{8-2B}} \right], \quad (8)$$

при $f = 2f_0$, которое приводит к приближению МГ, когда членом с логарифмом в знаменателе (7) можно пренебречь [6]. Этот член связан с парным диполь-дипольным взаимодействием между частицами. Его учет приводит к появлению граничной полосы частот поглощения вместо одной частоты ω_s в системе. Действительно, при $\Delta = 1$, $\varepsilon''_\infty = 0$ и $\gamma \rightarrow 0$ из (6) следует, что частица может поглощать на двух ($\omega_{||}$ и $\omega_{\perp}$) частотах, величины которых существенно зависят от расстояния R между

фиксированными частицами и любыми другими частицами системы. Так, при $R \rightarrow \infty, \omega_{||} = \omega_{\perp} = \omega_s$ и при $R = 2R_0$ (минимальное расстояние между частицами) эти частоты определяют границы непрерывного спектра поглощения и находятся из соотношений:

$$\overline{\omega}_{||}^2 = \frac{\omega_p^2}{\varepsilon'_{\infty} + 3\varepsilon_0}; \overline{\omega}_{\perp}^2 = \frac{\omega_p^2}{\varepsilon'_{\infty} + \frac{5}{3}\varepsilon_0}. \quad (9)$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Проведенные расчеты показали, что спектральная зависимость $\tilde{\varepsilon}(\omega)$ композита получается усреднением по всем возможным положениям пар частиц в матрице. Отметим, что в металлическом композите при $f = 0,1$ и более, тонкая структура спектра наблюдается только в случае уч парных диполь-дипольных взаимодействий [4,6]. Учет высших парных взаимодействий между включениями (квадрупольных, октупольных и т. д.) может быть сделан в рамках нашего рассмотрения, приводя к частичному сглаживанию частотных зависимостей $\text{Im}\tilde{\varepsilon}(\omega)$. К такому же результату могут приводить и другие факторы – многочастичные взаимодействия, кластеризация частиц и т. д. В случае $r_b \ll r_a$ ($\Delta \rightarrow 0$) $\tilde{\varepsilon}$ можно определить из (7) при $f = f_0$, т. е. вклад частиц малого радиуса (r_b) в $\tilde{\varepsilon}$ пренебрежим.

Список литературы

1. Boren C. F. Absorption and Scattering of Light by Small Particles/ C. F. Boren, P. R. Huffman – N.Y.: Wiley, 1983. – 664 p.
2. Kreibig U. Optical properties of metal clusters / U. Kreibig, M. Vollmer // Springer Series in Material Science 25, Springer, Berlin, 1995. – 436 p.
3. Finkelberg V. M. The virial expansion in the problem of the electrostatic polarization of a many-body system / V. M. Finkelberg // Sov. Phys. Dokl. – 1964. – V. 8. – P. 907–909.
4. Cichocki B. Dielectric Constant of Polarizable, Nonpolar Fluids and Suspensions / B. Cichocki, B. Felderhof // J. Stat. Phys. – 1988. – V. 53, № 1–2. – P. 499–521.
5. Felderhof B. U. Effective transport properties of composites of spheres / B. U. Felderhof // Physica A. – 1994. – V. 207. – P.13–18.
6. Grechko L. G. Dielectric Function of Matrix Disperse Systems with Metallic Inclusions. Account of Multipole Interaction between Inclusions / L. G. Grechko, A. Yu. Blank, V. V. Motrich, A. O. Pinchuk, L. V. Garanina // Radiophysics & Radioastronomy. – 1997. – V. 1. – № 2. – P. 19–27.
7. Felderhof B. U. Multipolar corrections to the Clausius-Mossotti formula for the effective dielectric constant of a polydisperse suspension of spheres / B. U. Felderhof, R. B. Jones // Physica B. – 1986. – V. 62. – P. 231–237.
8. Grechko L. G. Electromagnetic Response of Interacting System of Metallic Particles / L. G. Grechko, V. N. Pustovit, V. V. Boiko // Radiophysics & Radioastronomy. – 1998. – V. 3. – № 2. – P. 245–248.

References

1. Boren, C. F., Huffman, P. R. (1983). Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley, 664.
2. Kreibig, U., Vollmer, M. (1995). Optical properties of metal clusters. Springer, 436. doi:10.1007/978-3-662-09109-8
3. Finkelberg, V. M. (1964). The virial expansion in the problem of the electrostatic polarization of a many-body system. Sov. Phys. Dokl, 8, 907–909.
4. Cichocki, B., Felderhof, B. (1998). Dielectric Constant of Polarizable, Nonpolar Fluids and Suspensions J. Stat. Phys., 53 (1–2), 499–521.
5. Felderhof, B. U. (1994). Effective transport properties of composites of spheres, Physica A., 207, 13–18.
6. Grechko, L. G., Blank, A. Yu., Motrich, V. V., Pinchuk, A. O., Garanina, L. V. (1997). Dielectric Function of Matrix Disperse Systems with Metallic Inclusions. Account of Multipole Interaction between Inclusions. Radiophysics & Radioastronomy, 1 (2), 19–27.
7. Felderhof, B. U., Jones, R. B. (1986). Multipolar corrections to the Clausius-Mossotti formula for the effective dielectric constant of a polydisperse suspension of spheres. Physica B, 62, 231–237.
8. Grechko, L. G., Pustovit, V. N., Boiko, V. V. (1998). Electromagnetic Response of Interacting System of Metallic Particles. Radiophysics & Radioastronomy, 3 (2), 245–248.

ЕФЕКТИВНА ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З ВИПАДКОВО РОЗМІЩЕНИМИ МЕТАЛЕВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

С. В. Шостак,
Н. Г. Шкода

Анотація. Запропоновано узагальнений метод розрахунку ефективної діелектричної проникності, для випадку композиту, що містить сферичні металеві включення двох різних розмірів. Розглянуто ефективну діелектричну проникність системи, що складається з металевих сфер, випадково розташованих в діелектричному середовищі.

Враховано, що система знаходиться в зовнішньому змінному електричному полі з довжиною хвилі, що значно перевищує радіуси сфер і середні відстані між частинками. Ефективна діелектрична функція такої системи при малих концентраціях частинок представляється формулою Максвелла-Гарнетта (МГ). Встановлено, що при збільшенні концентрації частинок має місце суттєве відхилення отриманих результатів від наближення МГ через взаємодію між включеннями.

Відзначено, що зі збільшенням об'ємної фракції частинок в системі стають істотними ефекти мультипольної взаємодії між частинками. З урахуванням диполь-дипольної взаємодії між частинками двох сортів розглянуто поведінку частотної залежності уявної частини ефективної діелектричної проникності системи. Показано, що спектральна залежність ефективної діелектричної проникності композиту є

усередненням по всіх можливих положеннях пар частинок в матриці. Також відзначено, що в металевому композиті зі збільшенням об'ємної фракції частинок в системі, тонка структура спектра спостерігається тільки в разі врахування парних диполь-дипольних взаємодій.

Ключові слова: ефективна діелектрична проникність, металеві сфери, діелектричне середовище, мультипольна взаємодія

EFFECTIVE PERMITTIVITY OF DISPERSE SYSTEMS WITH RANDOMLY LOCATED METALLIC INCLUSIONS

**S. V. Shostak,
N. G. Shkoda**

Abstract. A generalized method for calculating the effective permittivity is proposed for the case of a composite containing spherical metallic inclusions of two different kinds. The effective permittivity is examined for a system of metallic spheres randomly embedded in an uniform dielectric medium. The system is located in an external alternating electric field with a wavelength significantly exceeding the radii of the spheres and the average distances between the particles. The effective dielectric function of such a system at low particle concentrations is represented by the Maxwell-Garnett formula (MG). It is established that when the concentration of particles increases, there is a significant deviation of the results obtained from the MG approximation, because of the interaction between the inclusions. It is noted that with the increase in the volume fraction of particles in the system, the effects of multipole interaction between particles become significant. Taking into account the dipole-dipole interaction between the particles of two varieties, the behavior of the frequency dependence of the imaginary part of the effective permittivity of the system is considered. It is shown that the spectral dependence effective permittivity of the composite is obtained by averaging over all possible positions of pairs of particles in the matrix. It was also noted that in the metal composite with an increase in the volume fraction of particles in the system, the fine structure of the spectrum is observed only when paired dipole-dipole interactions are taken into account.

Keywords: effective permittivity, metallic spheres, dielectric medium, multipole interaction

РОЗРАХУНОК ОБЛАСТЕЙ ЗОВНІШНЬОЇ ТА ВНУТРІШНЬОЇ СТІЙКОСТІ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

Л. А. ПАНТАЛІЄНКО, кандидат фізико-математичних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: nubip.ea@gmail.com

Анотація. Розглянуто загальні постановки задач практичної стійкості систем звичайних диференціальних рівнянь, залежних від параметрів, при постійно діючих збуреннях. У межах сформульованих задач досліджено лінійну систему за наявності відомих або обмежених за нормою збурень. Розроблено алгоритми чисельної побудови областей зовнішньої та внутрішньої стійкості у структурно заданому вигляді для лінійних та нелінійних динамічних обмежень на фазові координати. Окремо розглянуто випадок сумісних обмежень на вектори станів і параметрів системи.

Ключові слова: *практична стійкість, збурення, норма, параметрична система, динамічні обмеження*

Актуальність. Подальша розробка конструктивних методів аналізу стійкості [1,2] та пов'язаних із цим задач проектування, керування, адаптації [3,4], у першу чергу, викликана потребами прикладного характеру, зокрема, що виникають у прискорювальній техніці [1,3]. При цьому, з практичної точки зору, важливо провести дослідження стійкості руху не тільки до змінювання початкових умов, а й по відношенню до зовнішніх збурень, що певною мірою впливають на поведінку реального об'єкта [1,2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із напрямів розвинення теорії стійкості є чисельне розв'язання задач стійкості на скінченному проміжку часу [1–3]. На відміну від інших постановок [1], аналіз стійкості параметричних систем [2,3] дає змогу розширити коло досліджуваних задач, оскільки як параметри можна розглядати і початкові умови динамічної системи. Крім того, подібні задачі є важливою складовою частиною задач проектування малочутливих систем керування та гарантованої чутливості [3], безпосередньо пов'язаних із розрахунками для лінійних резонансних прискорювачів.

Мета дослідження — розробка чисельних методів розв'язання задач практичної стійкості для параметричних систем диференціальних рівнянь за наявності постійно діючих збурень.

Матеріали і методи дослідження. У роботі застосовуються методи теорії стійкості, диференціальних рівнянь та оптимізації.

Результати досліджень та їх обговорення. Припустимо, що динаміка об'єкта описується параметричною системою диференціальних рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha), \quad (f(0, t, 0) \equiv 0), \quad t \in [t_0, T], \quad (1)$$

де $x(t, \alpha)$, α – вектори станів і параметрів вимірності n та m відповідно;

$f(x, t, \alpha)$ – n -вимірний вектор-функція, що задовольняє умовам існування та єдиності розв'язків для будь-яких значень параметрів $\alpha \in G_\alpha$.

Означення 1. Незбурений розв'язок $x(t, 0) = 0$ системи (1) називається $\{G_0^x, G_0^\alpha, \Phi_t, t_0, T\}$ -стійким, якщо $x(t, \alpha) \in \Phi_t$, $t \in [t_0, T]$ для початкових умов $x(t_0, \alpha)$ з області G_0^x та довільних $\alpha \in G_0^\alpha \subset G_\alpha$.

У випадку сумісних динамічних обмежень $\Phi_{t, \alpha}$, $t \in [t_0, T]$ на фазові координати і параметри оцінюють область $G_0^{x, \alpha}$ початкових умов і параметрів системи (1) у розумінні $\{G_0^{x, \alpha}, \Phi_{t, \alpha}, t_0, T\}$ -стійкості її нульового руху.

Для дослідження практичної стійкості з урахуванням збурюючих факторів розглядається параметрична система вигляду

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha) + R(x, t, \alpha), \quad t \in [t_0, T], \quad (2)$$

де постійно діючі збурення $R(x, t, \alpha)$ вибираються з деякої області Ω_R .

Означення 2. Систему (2) назвемо внутрішньо $\{G_0^x, G_0^\alpha, \Phi_t, t_0, T, \Omega_R\}$ -стійкою, якщо $x(t, \alpha) \in \Phi_t$, $t \in [t_0, T]$ для довільних збурень, початкових умов та параметрів, що задовольняють співвідношення

$$R(x, t, \alpha) \in \Omega_R, \quad x(t_0, \alpha) \in G_0^x, \quad \alpha \in G_0^\alpha \subset G_\alpha.$$

Означення 3. Система (2) називається зовнішньо $\{D_0^x, G_0^\alpha, \Phi_t, t_0, T\}$ -стійкою, якщо існує хоча б один момент часу $t_1 \in [t_0, T]$, для якого $x(t_1, \alpha) \in \Phi_{t_1}$ для будь-яких $R(x, t, \alpha) \in \Omega_R$, $x(t_0, \alpha) \in D_0^x$, $D_0^x \supset \Phi_{t_0}$, $\alpha \in G_0^\alpha \subset G_\alpha$.

За аналогією вводять відповідні означення стійкості для системи (2) у випадку сумісних обмежень на вектори станів і параметрів.

У межах наведених постановок задач розглянемо лінійну систему вигляду

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + G(t)\alpha + f(t), \quad t \in [t_0, T] \quad (3)$$

за наявності відомих або обмежених за нормою збурень:

$$f(t) \in \Omega_R^{(1)} = \left\{ f(t) : \left(\int_{t_0}^T \left(\sum_{i=1}^n |f_i(\tau)|^q \right)^{\frac{q_1}{q}} d\tau \right)^{\frac{1}{q_1}} \leq \bar{R}, 1 \leq q \leq \infty, 1 \leq q_1 \leq \infty \right\}. \quad (4)$$

Для формулювання критеріїв оцінки областей початкових умов введемо наступні поняття стійкості.

Означення 4. Систему (2) назвемо внутрішньо $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Phi_t, t_0, T\}$ - стійкою, якщо $x(t, \alpha) \in \Phi_t, t \in [t_0, T]$, лише тільки $f(t) \in \Omega_R^{(1)}$, $x(t_0, \alpha) \in \{x : x^* B x \leq c^2\}$, $\alpha \in G_0^\alpha = \{\alpha : \alpha^* B_\alpha \alpha \leq c_\alpha^2\} \subset G_\alpha$.

Означення 5. Система (2) називається зовнішньо $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Phi_t, t_0, T\}$ - стійкою, якщо існує хоча б один момент часу $t_1 \in [t_0, T]$, для якого $x(t_1, \alpha) \in \Phi_{t_1}$ для будь-яких $f(t) \in \Omega_R^{(1)}$, $x(t_0, \alpha) \in \{x : x^* B x \leq c^2\} \supset \Phi_{t_0}$, $\alpha \in G_0^\alpha = \{\alpha : \alpha^* B_\alpha \alpha \leq c_\alpha^2\} \subset G_\alpha$.

Для чисельного оцінювання множини початкових умов розглянемо лінійні та нелінійні фазові обмеження $\Phi_t, t \in [t_0, T]$:

$$\Phi_t = \Gamma_t = \{x : |l_s^*(t)x| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N\}, t \in [t_0, T], \quad (5)$$

$$\Phi_t = \Psi_t = \{x : \psi(x, t) \leq 1\}, t \in [t_0, T]. \quad (6)$$

Тут $l_s(t), s = 1, 2, \dots, N$ - задані неперервні вектор-функції вимірності n ;

$\psi(x, t)$ - скалярна функція, неперервна по t разом зі своїми частинними похідними по компонентах вектора x ;

Ψ_t , - замкнена опукла множина для будь-якого t , що містить нульову точку.

Якщо динамічні обмеження на вектори станів і параметрів системи сумісного типу [2]:

$$\Phi_{t, \alpha} = \Gamma_{t, \alpha} = \{x, \alpha : |l_s^*(t)x + m_s^* \alpha| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N\}, t \in [t_0, T], \quad (7)$$

$$\Phi_{t, \alpha} = \Psi_{t, \alpha} = \{x, \alpha : \psi(x, t, \alpha) \leq 1\}, t \in [t_0, T], \quad (8)$$

чисельно оцінюють множину початкових умов $G_0^{x, \alpha} = \{x, \alpha : x^* B x + \alpha^* B_\alpha \alpha \leq c^2\}$.

Критерій 1. Для того, щоб система (3) була внутрішньо $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Gamma_t, t_0, T\}$ - або $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Psi_t, t_0, T\}$ - стійкою за наявності відомих збурень, необхідно й достатньо, щоб виконувалася відповідно одна з нерівностей

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(1 - |l_s^*(t)(a(t) + G_1(t)\alpha)|)^2}{l_s^*(t) Q^{-1}(t) l_s(t)},$$

$$|l_s^*(t)(a(t) + G_1(t)\alpha)| < 1, \quad s = 1, 2, \dots, N, \quad \alpha \in G_0^\alpha, \quad t \in [t_0, T]; \quad (9)$$

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{\bar{x} \in \Psi_t'} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(g^*(\bar{x}, t)(\bar{x} - G_1(t)\alpha - a(t)))^2}{g^*(\bar{x}, t)Q^{-1}(t)g(\bar{x}, t)},$$

$$g^*(\bar{x}, t)(\bar{x} - G_1(t)\alpha - a(t)) > 0, \quad \bar{x} \in \Psi_t', \quad \alpha \in G_0^\alpha, \quad t \in [t_0, T]. \quad (10)$$

Тут $g^*(x, t) = \text{grad}_x^* \psi(\bar{x}, t)$, Ψ_t' – межа замкненої опуклої множини Ψ_t , $t \in [t_0, T]$, $G_1(t) = \int_{t_0}^t X(t, \tau)G(\tau)d\tau$, $a(t) = \int_{t_0}^t X(t, \tau)f(\tau)d\tau$, $Q^{-1}(t) = X(t, t_0)B^{-1}X^*(t, t_0)$, $X(t, t_0)$ – нормована фундаментальна матриця розв'язків однорідної системи (3) при $\alpha = 0$.

Доведення критерію 1 здійснюється шляхом подання загального розв'язку системи (3) у формі Коші та запису умов належності траєкторії системи динамічним обмеженням (5) та (6). При цьому замкнену опуклу множину Ψ_t , $t \in [t_0, T]$ необхідно апроксимувати дотичними гіперплощинами та розв'язати відповідну екстремальну задачу.

Визначаючи мінімум по вектору параметрів α , формули (9), (10) можна подати у більш зручному для розрахунку вигляді:

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} \frac{\left(1 - |l_s^*(t) \pm c_\alpha \sqrt{l_s^*(t)G_1(t)B_\alpha^{-1}G_1^*(t)l_s(t)}|\right)^2}{l_s^*(t)Q^{-1}(t)l_s(t)},$$

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{\bar{x} \in \Psi_t'} \frac{(g^*(\bar{x}, t)(\bar{x} - a(t)) \pm c_\alpha \sqrt{g^*(\bar{x}, t)G_1(t)B_\alpha^{-1}G_1^*(t)g(\bar{x}, t)})^2}{g^*(\bar{x}, t)Q^{-1}(t)g(\bar{x}, t)}.$$

Критерій 2. Для внутрішньої $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Gamma, t_0, T\}$ - або $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Psi_t, t_0, T\}$ - стійкості системи (3) при постійно діючих збуреннях (4), необхідно й достатньо, щоб відповідно

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(1 - |l_s^*(t)G_1(t)\alpha - a_s(t)|)^2}{l_s^*(t)Q^{-1}(t)l_s(t)},$$

або

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{\bar{x} \in \Psi_t'} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(g^*(\bar{x}, t)(\bar{x} - G_1(t)\alpha - a_{\bar{x}}(t)))^2}{g^*(\bar{x}, t)Q^{-1}(t)g(\bar{x}, t)}.$$

$$\text{Тут } a_s(t) = \max_{\|f\| \leq \bar{R}} \left| l_s^{(i)*} \int_{t_0}^t X(t, \tau)f(\tau)d\tau \right| = \bar{R} \left(\int_{t_0}^t \left(\sum_{j=1}^n \left| \sum_{i=1}^n x_{ij}(t, \tau) l_{si}(t) \right|^p \right)^{p_1/p} d\tau \right)^{1/p_1},$$

$$a_{\bar{x}}(t) = \max_{\|f\| \leq \bar{R}} \left| \text{grad}_x^* \psi(\bar{x}, t) \int_{t_0}^t X(t, \tau) f(\tau) d\tau \right| = \bar{R} \left(\int_{t_0}^t \left(\sum_{j=1}^n \left| \sum_{i=1}^n x_{ij}(t, \tau) \frac{\partial \psi(\bar{x}, t)}{\partial x_i} \right|^p \right)^{p_1/p} d\tau \right)^{1/p_1},$$

$$X(t, \tau) = \{x_{ij}(t, \tau)\}_n, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1, \quad \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = 1.$$

Критерій 3. Для зовнішньої $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Gamma_t, t_0, T\}$ та $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Psi_t, t_0, T\}$ -стійкості системи (3) при невідомих збуреннях (4) необхідно й достатньо, щоб справджувалися відповідно нерівності:

$$c^2 \leq \max_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1,2,\dots,N} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(1 - |l_s^*(t) G_1(t) \alpha| - a_s(t))^2}{l_s^*(t) Q^{-1}(t) l_s(t)},$$

$$c^2 \leq \max_{t \in [t_0, T]} \min_{\bar{x} \in \Psi_t'} \min_{\alpha \in G_0^\alpha} \frac{(g^*(\bar{x}, t)(\bar{x} - G_1(t) \alpha - a_{\bar{x}}(t)))^2}{g^*(\bar{x}, t) Q^{-1}(t) g(\bar{x}, t)}.$$

Аналогічні оціночні критерії можна дістати для випадку сумісних обмежень типу (7), (8). Так, наприклад, умови зовнішньої $\{c, B, c_\alpha, B_\alpha, \Gamma_t, t_0, T\}$ стійкості за наявності збурень (4) мають такий вигляд:

$$c^2 \leq \max_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1,2,\dots,N} \frac{(1 - a_s(t))^2}{l_s^*(t) Q_1(t) l_s(t) + m_s^* B_\alpha^{-1} m_s + 2 l_s^*(t) G_1(t) B_\alpha^{-1} m_s},$$

де $Q_1(t) = X(t, t_0) B^{-1} X^*(t, t_0) + G_1(t) B_\alpha^{-1} G_1^*(t)$.

Результати досліджень та їх обговорення. Для лінійних параметричних систем диференціальних рівнянь за наявності збурень здійснено чисельний розрахунок областей внутрішньої та зовнішньої стійкості. Розглянуто випадки відомих та обмежених за нормою збурень для лінійних і нелінійних динамічних обмежень.

Висновки і перспективи. Сформульовано постановки задач практичної стійкості параметричних систем звичайних диференціальних рівнянь за наявності постійно діючих збурень. Для лінійних неоднорідних систем зі збуреннями одержано оптимальні оцінки областей початкових умов у заданих структурах. Такий підхід можна запровадити для аналізу стійкості інших класів параметричних систем (систем зі змінною структурою та дискретних параметричних систем).

Список літератури

1. Бублик Б. Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Б. Н. Бублик, Ф. Г. Гаращенко, Н. Ф. Кириченко. – К. : Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Гаращенко Ф. Г. Аналіз та оцінка параметричних систем : навч. посіб. / Ф. Г. Гаращенко, Л. А. Панталієнко. – К. : ІСДО, 1995. – 140 с.

3. Панталієнко Л. А. Дослідження задач обмеженої чутливості методами практичної стійкості / Л. А. Панталієнко // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 243–248.

4. Гаращенко Ф. Г. Адаптивные модели аппроксимации сигналов в структурно-параметрических классах функций / Ф. Г. Гаращенко, О. С. Дегтярь, О. Ф. Швець // Проблемы управления и информатики. – 2011. – № 2. – С. 69–77.

References

1. Bublyk, B. N., Harashchenko, F. H., Kyrychenko, N. F. (1985). Strukturno-parametrycheskaia optymyzatsiya y ustoichyvost dynamyky puchkov [Structural-parametric optimization and stability of beam dynamics]. Kyiv, Ukraine: Scientific thought, 304.

2. Harashchenko, F. H., Pantalienko, L. A. (1995). Analiz ta otsinka parametrychnykh system: Navch. posibnyk [Analysis and evaluation of parametric systems: Teach. Manual]. Kyiv, Ukraine: 140. / F. H. Harashchenko, L. A. Pantalienko. – K. : ISSE, 140.

3. Pantaliienko, L. A. (2014). Doslidzhennya zadach obmezhenoyi chutlyvosti metodamy praktychnoyi stiykosti [Investigation of the problems of limited sensitivity by methods of practical stability]. Scientific Journal NUBaN Ukraine. A series of «Technology and Energy AIC», 194 (2), 243–248.

4. Harashchenko, F. H. (2011). Adaptivnyye modely approksymatsyy syhnalov v strukturno-parametrycheskykh klassakh funktsyi [Adaptive models of signal approximation in structure-parametric classes of functions]. Scientific Journal «Problems of management and informatics», № 2, 69–77.

РАСЧЕТ ОБЛАСТЕЙ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л. А. Панталиенко

Аннотация. Рассмотрены общие постановки задач практической устойчивости систем обыкновенных дифференциальных уравнений, зависящих от параметров, при постоянно действующих возмущениях. В рамках сформулированных задач исследована линейная система при наличии известных или ограниченных по норме возмущений. Разработаны алгоритмы численного построения областей внешней и внутренней устойчивости в структурно заданном виде для линейных и нелинейных динамических ограничений на фазовые координаты. Отдельно рассмотрен случай совместных ограничений на векторы состояний и параметров системы.

Ключевые слова: практическая устойчивость, возмущения, норма, параметрическая система, динамические ограничения

CALCULATION OF AREAS OF EXTERNAL AND INTERNAL STABILITY FOR PARAMETRIC SYSTEMS

L. A. Pantaliyenko

Abstract. The general problems of the practical stability of systems of ordinary differential equations, depending on parameters, with continuous perturbations are considered. In the framework of the formulated problems, a linear system was studied in the presence of known or perturbation-bound perturbations. The algorithms of numerical construction of the regions of external and internal stability in the structurally determined form for linear and nonlinear dynamic constraints on phase coordinates are developed. Separately, the case of compatible restrictions on the state vectors and system parameters are considered.

Keywords: practical stability, perturbation, norm, parametric system, dynamic constraints

УДК 515.164

ТОПОЛОГІЧНА ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ

Т. Г. КРИВОРОТ, кандидат педагогічних наук, старший викладач
**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: tania.krivorot@gmail.com

Анотація. Багато процесів, які виникають у природничих науках описуються гладкими та неперервними функціями. При створенні класифікації неперервних функцій виникає багато труднощів, оскільки поведінка функції в околі критичної точки може бути складною і не є аналогічною до гладкого випадку. Питання класифікації та дослідження умов топологічної еквівалентності функцій двох змінних на многовидах є важливим напрямом дослідження в топології.

У статті розглянуто питання топологічної еквівалентності неперервних функцій двох змінних. Їх топологічна класифікація повністю проведена у випадку гладких функцій на многовидах. Доведено, що в околі ізольованої критичної точки функція топологічно еквівалентна $Rezn$, а в околі локального мінімуму (максимуму) еквівалентна $x^2 + y^2$. Проілюстровано один із класів неперервних функцій, що мають лише особливість типу сідло, а також розглянуто випадок функцій з ізольованим локальним мінімумом (максимумом). Охарактеризовано випадок неперервних функцій з точкою ізольованого локального мінімуму (максимуму) у внутрішності області, побудовані приклади, які окреслюють особливості, що можуть виникнути і стати перешкодою при топологічній класифікації функцій двох змінних.

Ключові слова: топологічна еквівалентність, функція, многовид, ізольований локальний екстремум

Abstract. The general problems of the practical stability of systems of ordinary differential equations, depending on parameters, with continuous perturbations are considered. In the framework of the formulated problems, a linear system was studied in the presence of known or perturbation-bound perturbations. The algorithms of numerical construction of the regions of external and internal stability in the structurally determined form for linear and nonlinear dynamic constraints on phase coordinates are developed. Separately, the case of compatible restrictions on the state vectors and system parameters are considered.

Keywords: practical stability, perturbation, norm, parametric system, dynamic constraints

УДК 515.164

ТОПОЛОГІЧНА ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ

Т. Г. КРИВОРОТ, кандидат педагогічних наук, старший викладач
**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: tania.krivorot@gmail.com

Анотація. Багато процесів, які виникають у природничих науках описуються гладкими та неперервними функціями. При створенні класифікації неперервних функцій виникає багато труднощів, оскільки поведінка функції в околі критичної точки може бути складною і не є аналогічною до гладкого випадку. Питання класифікації та дослідження умов топологічної еквівалентності функцій двох змінних на многовидах є важливим напрямом дослідження в топології.

У статті розглянуто питання топологічної еквівалентності неперервних функцій двох змінних. Їх топологічна класифікація повністю проведена у випадку гладких функцій на многовидах. Доведено, що в околі ізольованої критичної точки функція топологічно еквівалентна $Rezn$, а в околі локального мінімуму (максимуму) еквівалентна $x^2 + y^2$. Проілюстровано один із класів неперервних функцій, що мають лише особливість типу сідло, а також розглянуто випадок функцій з ізольованим локальним мінімумом (максимумом). Охарактеризовано випадок неперервних функцій з точкою ізольованого локального мінімуму (максимуму) у внутрішності області, побудовані приклади, які окреслюють особливості, що можуть виникнути і стати перешкодою при топологічній класифікації функцій двох змінних.

Ключові слова: топологічна еквівалентність, функція, многовид, ізольований локальний екстремум

Актуальність. Серед гладких та неперервних функцій важливе місце займають гармонічні функції, які є основним апаратом при розв'язанні задач з фізики та механіки. Так, наприклад, потенціал сили тяжіння в області, яка не містить мас, що притягуються, потенціал постійного електричного поля в області, що не містить електричних зарядів, потенціал швидкості безвихрового руху рідини, температура тіла за умови стабільного розподілу тепла, величина деформації мембрани, натягнутої на довільний контур – усі ці процеси описуються гармонічними функціями. Тому дуже важливо дослідити топологічну поведінку таких функцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню класифікації та дослідження умов топологічної еквівалентності функцій присвячено роботи О. В. Болсінова [1], С. І. Максименка [3], А. А. Ошемкова [4], В. В. Шарка [5]. У вирішенні проблеми окресленого напрямку першою стала робота О. П. Андріюк [2], де було встановлено критерій топологічної еквівалентності функцій з класу $F(D_2)$, що збігається з класом псевдогармонічних функцій, які приймають не більш ніж одне критичне значення. Кожній такій функції автор ставить у відповідність її комбінаторний інваріант. Топологічну класифікацію гладких функцій проведено у роботах В. І. Арнольда, а саме: класифіковано відображення $R^1 \rightarrow R^1$. Проте, задача класифікації для багатовимірного випадку залишається до кінця не розв'язаною.

Мета дослідження – дослідити питання існування критерію топологічної еквівалентності функцій двох змінних з ізолюваним локальним екстремумом.

Матеріали і методи дослідження. Розглянемо питання топологічної класифікації функцій у випадку, коли область містить ізолюваний мінімум (максимум). За теоремою Жордана, якщо γ замкнена, жорданова крива в R^2 , то $R^2 \setminus \gamma$ складається з двох множин, для кожної з яких γ є межею. В точності одна із цих областей обмежена. Плоска, замкнена, жорданова крива γ обмежує зіркоподібну область, якщо у замиканні області існує точка така, що кожен прямолінійний відрізок, який сполучає її з довільною точкою кривої повністю належить замиканню області. Таку точку назовемо центром зіркоподібності.

Теорема 1. Якщо γ обмежує зіркоподібну область, то сукупність центрів зіркоподібності є замкнутою та зв'язною множиною.

Доведення. Нехай γ крива, що задовольняє умову теореми, S – множина її центрів зіркоподібності, а G – область, що обмежена кривою γ . Проведемо доведення теореми методом від супротивного.

Припустимо, що S є відкритою, тоді існує послідовність точок $S_1, S_2, \dots, S_n$ така, що $S_i \in S$ і збігається до деякої точки $O \in \bar{S}$, яка не має властивості зіркоподібності. Це означає, що в цій точці існує промінь l , який перетинає γ принаймні в трьох точках. Розглянемо на l відрізок, що не належить $\bar{G}$, і позначимо його через AB так, що $\overline{AO}$ повністю належить

$\bar{\Gamma}$. Далі, на γ обираємо точки A_1 та A_2 такі, що $\rho(A, A_1) = \rho(A, A_2) = \varepsilon$, де $\varepsilon > 0$, і проведемо промені l_1 та l_2 такі, що виходять з точки B і проходять через точки A_1 та A_2 , відповідно. Нехай кут α_1 рівний куту A_1BA , кут α_2 рівний куту A_2BA , де $0 < \alpha_1 < 90^\circ$, $0 < \alpha_2 < 90^\circ$, і $\delta_1 = |\overrightarrow{OB}| \operatorname{tg} \alpha_1$, $\delta_2 = |\overrightarrow{OB}| \operatorname{tg} \alpha_2$. Покладемо $\delta = \min\{\delta_1, \delta_2\}$ і розглянемо окіл точки O , зрозуміло, в ньому немає жодної точки, що має властивість зіркоподібності, а це суперечить умові.

Нехай

$$S = S_1 \cup S_2, S_1 \cap S_2 = \emptyset \quad (1),$$

де S_1, S_2 – замкнені множини, кожна точка яких має властивість зіркоподібності. Візьмемо довільні точки $A \in S_1$ і $B \in S_2$, та побудуємо відрізок AB . Він не перетинає γ (в протилежному випадку A і B не мали б властивості зіркоподібності). В силу (1), існує точка O така, що $O \in AB$ та існує l для якого $l \cap \gamma = \emptyset$. Позначимо через $C_1, C_2, \dots, C_n$ точки перетину так, що відрізки $C_1C_2, C_3C_4, \dots, C_{n-2}C_{n-1}$ не належать $\bar{\Gamma}$. Оскільки $\bar{\Gamma}$ однозв'язна, то по одній зі сторін від прямої, що містить промінь l лежить скінченне число компонент зв'язності області обмеженої γ . А це означає, що лише один з відрізків або C_nA або C_nB повністю належить $\bar{\Gamma}$, що суперечить припущенню.

Зауважимо, що можна легко побудувати криву, центром зіркоподібності якої є одна точка. Проведемо скінченне число прямих, що перетинаються в одній точці. На кожному з променів зафіксуємо точку і нехай фіксовані точки будуть точками перегину, а промені дотичними до кривої в даних точках. Почергово між двома променями побудуємо опуклі вгору та вниз дуги, які проходять через точки.

Нехай на площині $R^2 \subset R^3$ задано замкнену, жорданову криву γ . Зафіксуємо в $R^2 \setminus R^3$ точку A . Конусом над кривою γ називається фігура, що утворена променями, які сполучають A з кожною точкою кривої γ . Точку A назвемо вершиною конуса. Нехай $\gamma \in \pi_1 \subset R^3$ і π_2 довільна площина така, що $\pi_1 \parallel \pi_2$. Розглянемо криву γ' , яка є ортогональною проекцією γ на π_2 , зрозуміло, що γ' є замкненою, жордановою кривою. Тоді позначимо через $O(\gamma)$ ту множину з $\pi_2 \setminus \gamma'$, що є обмеженою. Надалі, під конусом ми будемо розуміти лише конус, вершина якого належить $O(\gamma)$.

Теорема 2. Для того, щоб конус над кривою γ був графіком неперервної функції, необхідно і достатньо, щоб γ обмежувала зіркоподібна область.

Доведення. Необхідність. Нехай спеціальний конус над γ є графіком деякої неперервної функції. Тоді, існує прямокутна декартова система координат, в якій конус гомеоморфно проектується на площину XOY . Зрозуміло, що, перетнувши конус довільною площиною, яка проходить через вісь OZ , ми отримаємо криву, що гомеоморфна відрізку, кінці якого належать площині в якій лежить γ . Кожній такій площині, яка проходить через вісь OZ , в площині кривої відповідає прямолінійний відрізок, кінці якого належать γ . Звідки випливає, що точка перетину осі OZ і площини кривої γ має властивість зіркоподібності.

Достатність. Нехай γ крива, що обмежує зіркоподібну область, тоді побудуємо над нею спеціальний конус. Далі, виберемо систему координат так, щоб вершина конуса співпала з початком координат, а площина XOY була паралельна площині, якій належить крива. Унаслідок зіркоподібності, довільна площина, яка проходить через вісь OZ , перетне γ у двох точках, для кожної з яких існує твірна, яка проходить через вершину конуса. Отже, ми отримаємо в перерізі криву, що гомеоморфна відрізку.

Точка x_0 є ізольованим локальним мінімумом (максимумом) функції f , якщо існує її окіл $U(x_0)$ такий, що для всіх точок $y \in U(x_0)$ справедлива нерівність $f(y) > f(x_0)$ ($f(y) < f(x_0)$).

Сім'я F кривих $\{C\}$ заповнює область R , якщо кожна крива C належить R і через кожну точку з R проходить лише одна крива C .

Нехай сім'я R кривих $\{C\}$ заповнює область R і P точка області R . Сім'я F називається регулярною в точці P , якщо існує окіл $U(P)$ такий, що гомеоморфно відображується на відкритий прямокутник $|x| < a$, $|y| < b$ і сім'я $F_u(P)$ переходить в множину прямих $y = \text{const}$. Сім'я F називається регулярною в R , якщо вона регулярна в кожній її точці.

Сім'я кривих F називається регулярною в R , якщо для кожної дуги PQ кривої C і для довільного $\varepsilon > 0$ існує $\delta > 0$ таке, що, якщо $P' \in C \subset F$ і $\rho(P, P') < \delta$, то $\sigma(P'Q', PQ) < \varepsilon$. Сім'я F називається регулярною в точці $P \in R$, якщо існує окіл $U(P) \subset R$ такий, що $F_u(P)$ є регулярною в $U(P)$.

Таким чином, якщо F регулярна сім'я кривих, що заповнюють площину. Тоді існує функція $f(x, y)$ з наступними властивостями:

1. $f(x, y)$ є визначена і неперервна в довільній точці (x, y) ;
2. для довільного дійсного числа c існує множина точок (x, y) таких, що $f(x, y) = c$, яка складається зі зліченної множини кривих F ;
3. у кожному околі довільної точки (x_0, y_0) існують точки (x, y) для яких $f(x, y) > f(x_0, y_0)$ і точки (x, y) для яких $f(x, y) < f(x_0, y_0)$.

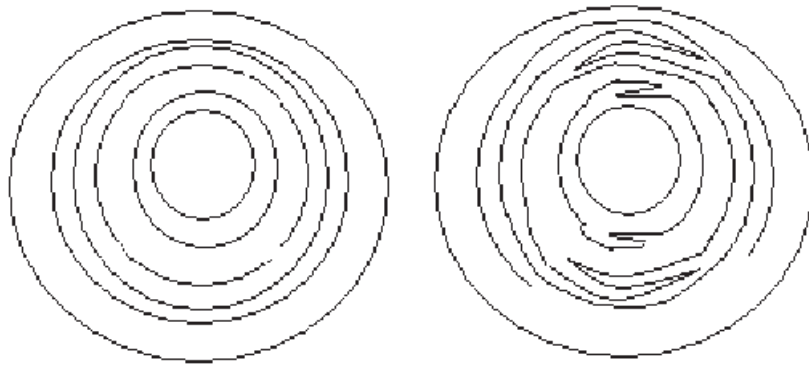


Рис. 1. Регулярна та нерегулярна сім'ї кривих у кільці

Відповідно до зазначеного вище, для сім'ї кривих, що зображена на рис. 1 зліва, існує неперервна функція $f(x, y)$, для якої зображена сім'я кривих є лініями рівня. Проте, можна побудувати неперервну функцію, лініями рівня якої буде нерегулярна сім'я кривих (справа на рис. 1).

Результати дослідження та їх обговорення. Отже, при топологічній еквівалентності функцій, властивість точки бути локальним мінімумом (максимумом) та ізольованим локальним мінімумом (максимумом), є інваріантною. Якщо $z = f(x, y)$ неперервна функція, що задана в околі нуля, $(0,0)$ є її ізольованим локальним мінімумом і $f(0, 0) = 0$. Функція $z = f(x, y)$ топологічно еквівалентна конусу над жордановою, замкненою кривою γ , що обмежує зіркоподібну область, тоді й тільки тоді, коли для довільного значення c такого, що $0 < c < a_0$, справедливо: $f^{-1}(c)$ гомеоморфна замкненій жордановій кривій; сукупність множин $\{f^{-1}(c)\}$ утворює регулярну сім'ю кривих в околі $(0,0)$.

Висновки і перспективи. У статті розглянуто питання топологічної еквівалентності неперервних функцій двох змінних. Зокрема, знайдено умови за яких неперервна функція, що задана в околі нуля і який є її локальним мінімумом (максимумом), буде топологічно еквівалентна конусу. Зрозуміло, що у випадку, коли графіком неперервної функції $z = f(x,y)$ є конус над кривою, що обмежує зіркоподібну область, то $z = f(x,y)$ топологічно еквівалентна гладкій функції $z = x^2 + y^2$.

Список літератури

1. Bolsinov, A. On classification of flows on manifolds / A. Bolsinov, A. Oshemkov, V. Sharko // *Methods of Functional Analysis and Topology*. – 1996. – Vol. 2, Issue 2. – P. 51–60.
2. Андріюк О. П. Функції на одновимірних многовидах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук : спец. 01.01.01 / О. П. Андріюк. – К., 2006. – 19 с.
3. Максименко С. И. Классификация m -функций на поверхностях / С. И. Максименко // *Укр. мат. журн.* – 1999. – № 8. – С. 1129–1135.
4. Ошемков А. А. О классификации потоков Морса-Смейла на двумерных многообразиях / А. А. Ошемков, В. В. Шарко // *Матем. сборник*. – 1998. – № 7. – С. 93–140.

5. Шарко В. В. Гладкая и топологическая эквивалентность функций на поверхностях / В. В. Шарко // Укр. мат. жур. – 2003. – № 5. – С. 687–700.

References

1. Bolsinov, A., Oshemkov, S., Sharko, V. (1996). On classification of flows on manifolds, 2 (2), 51–60.
2. Andriiuk, O. P. (2006). Funktsiyyi na odnovymirnykh mnohovydakh [Functions on one-dimensional manifolds]. K., – 19s.
3. Maksimenko, S. Y. (1999). Klasifikatsiya m-funktsiyyi na poverhnostyakh [Classification of m-functions on surfaces] Ukrainian mathematical journal, 8, 1129–1135.
4. Oshemkov, A. A., Sharko, V. V. (1998). O klassifikatsiyyi potokov Morsa-Smejla na dvumernykh mnogoobraziyah [On the classification of Morse-Smale flows on two-dimensional manifolds]. Mathematical collection, 7, 93–140.
5. Sharko, V. V. (2003). Gladkaya i topologicheskaya ehkvivalentnost' funktsij na poverhnostyakh [Smooth and topological equivalence of functions on surfaces]. Ukrainian mathematical journal, 5, 687–700.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ФУНКЦИЙ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ

Т. Г. Криворот

Аннотация. Многие процессы, которые возникают в естественных науках, описываются гладкими и непрерывными функциями. При создании классификации непрерывных функций возникает много трудностей, поскольку поведение функции в окрестности критической точки может быть сложной и не аналогичной гладкому случаю. Вопросы классификации и исследования условий топологической эквивалентности функций двух переменных на многообразиях являются важным направлением исследования в топологии.

В статье рассмотрены вопросы топологической эквивалентности непрерывных функций двух переменных. Их топологическая классификация проведена в случае гладких функций на многообразиях. Доказано, что в окрестности изолированной критической точки функция топологически эквивалентна $\text{Re}z^n$, а в окрестности локального минимума (максимума) эквивалентна x^2+y^2 . Проиллюстрировано класс непрерывных функций, имеющих лишь особенность типа седло, рассмотрен случай функций с изолированным локальным минимумом (максимумом). Охарактеризован случай непрерывных функций с точкой изолированного локального минимума (максимума) внутри области, определены особенности, которые могут возникнуть и стать препятствием при топологической классификации функций двух переменных.

Ключевые слова: топологическая эквивалентность, функция, многообразие, изолированный локальный экстремум

TOPOLOGICAL EQUIVALENCE OF FUNCTIONS TWO VARIABLES

T. G. Krivorot

Abstract. Many processes that arise in the natural sciences are described by smooth and continuous functions. When creating a classification of continuous functions, many difficulties arise, since the behavior of the function in the neighborhood of the critical point can be complex and not analogous to the smooth case. The classification and investigation of the conditions for the topological equivalence of functions of two variables on manifolds is an important direction of research in topology.

The questions of topological equivalence of continuous functions of two variables are considered in the article. Their topological classification was carried out in the case of smooth functions on manifolds. It is proved that in a neighborhood of an isolated critical point the function is topologically equivalent to $Rezn$, and in the neighborhood of a local minimum (maximum) it is equivalent to x^2+y^2 . We illustrate the class of continuous functions having only a singularity of saddle type, we consider the case of functions with an isolated local minimum (maximum). The case of continuous functions with a point of an isolated local minimum (maximum) inside the domain is characterized, features that can arise and become an obstacle in the topological classification of functions of two variables are determined.

Keywords: topological equivalence, function, manifold, isolated local extremum

УДК 517.927.2

РОЗВ'ЯЗКИ СЛАБОЗБУРЕНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ТА УМОВИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ (ВИПАДОК $k = -1$)

Р. Ф. ОВЧАР, кандидат фізико-математичних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування
України

E-mail: rfovchar@gmail.com

Анотація. Запропоновано схему знаходження коефіцієнтних умов існування розв'язків слабозбурених крайових задач для систем з імпульсною дією у фіксовані моменти часу. На основі методу типу Вішіка-Люстерніка отримано коефіцієнтні умови існування розв'язків крайової задачі при довільних неоднорідностях $f(t) \in C([a,b]/\{\tau_i\}_D)$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^m$. Для отримання цих умов будується $(d \times r)$ -вимірна матриця.

© Р. Ф. Овчар, 2017

TOPOLOGICAL EQUIVALENCE OF FUNCTIONS TWO VARIABLES

T. G. Krivorot

Abstract. Many processes that arise in the natural sciences are described by smooth and continuous functions. When creating a classification of continuous functions, many difficulties arise, since the behavior of the function in the neighborhood of the critical point can be complex and not analogous to the smooth case. The classification and investigation of the conditions for the topological equivalence of functions of two variables on manifolds is an important direction of research in topology.

The questions of topological equivalence of continuous functions of two variables are considered in the article. Their topological classification was carried out in the case of smooth functions on manifolds. It is proved that in a neighborhood of an isolated critical point the function is topologically equivalent to $Rezn$, and in the neighborhood of a local minimum (maximum) it is equivalent to x^2+y^2 . We illustrate the class of continuous functions having only a singularity of saddle type, we consider the case of functions with an isolated local minimum (maximum). The case of continuous functions with a point of an isolated local minimum (maximum) inside the domain is characterized, features that can arise and become an obstacle in the topological classification of functions of two variables are determined.

Keywords: topological equivalence, function, manifold, isolated local extremum

УДК 517.927.2

РОЗВ'ЯЗКИ СЛАБОЗБУРЕНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ТА УМОВИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ (ВИПАДОК $k = -1$)

Р. Ф. ОВЧАР, кандидат фізико-математичних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування
України

E-mail: rfovchar@gmail.com

Анотація. Запропоновано схему знаходження коефіцієнтних умов існування розв'язків слабозбурених крайових задач для систем з імпульсною дією у фіксовані моменти часу. На основі методу типу Вішіка-Люстерніка отримано коефіцієнтні умови існування розв'язків крайової задачі при довільних неоднорідностях $f(t) \in C([a,b]/\{\tau_i\})$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^m$. Для отримання цих умов будується $(d \times r)$ -вимірна матриця.

© Р. Ф. Овчар, 2017

Використано ефективні методи теорії збурень, асимптотичні методи нелінійної механіки, розроблені в працях Ю. О. Митропольського, М. М. Крилова, М. М. Боголюбова та А. М. Самойленка, апарат узагальнених операторів Гріна лінійних напіводнорідних крайових задач.

Цінність цієї теми зумовлена, перш за все, важливістю практичного застосування теорії крайових задач у теорії нелінійних коливань, теорії стійкості руху, теорії управління, ряді геофізичних задач. З іншого боку, отримані в статті нові результати суттєво доповнюють дослідження по теорії нелінійних коливань для слабозбурених крайових задач.

Стаття має теоретичний характер, узагальнює і поглиблює раніш відомі результати з лінійних і слабонелінійних періодичних крайових задач на загальний випадок, коли крайові умови задаються слабонелінійним векторним функціоналом, а кількість крайових умов не збігається з порядком диференціальної системи.

Ключові слова: слабозбурена лінійна неоднорідна крайова задача, однорідна крайова задача з імпульсною дією, ортопроектор, ряд, псевдообернена матриця, узагальнений оператор Гріна

Актуальність. У даній статті розглянуто найбільш загальні, маловивчені, недовизначені та перевизначені крайові задачі з імпульсною дією, у яких крайові умови задаються лінійним або слабонелінійним векторним функціоналом, число m компонент якого, у загальному випадку, не збігається з порядком n диференціальної системи.

Розглянемо слабозбурену лінійну неоднорідну крайову задачу з імпульсною дією виду

$$\begin{cases} \dot{z} = A(t)z + \varepsilon A_1(t)z + f(t), & t \neq \tau_i, \\ \Delta z|_{t=\tau_i} - S_i z = a_i + \varepsilon A_{1i} z(\tau_i - 0), \\ lz = \alpha + \varepsilon l_1 z. \end{cases} \quad (1)$$

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Припустимо, що у породжуючої крайової задачі, яка отримується із (1) при $\varepsilon = 0$

$$\begin{cases} \dot{z} = A(t)z + f(t), & t \neq \tau_i, \\ \Delta z|_{t=\tau_i} - S_i z = a_i, \\ lz = \alpha. \end{cases} \quad (2)$$

не існує розв'язків при довільних неоднорідностях $f(t) \in C([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I)$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $\alpha \in \mathbb{R}^m$. Це означає, що має місце критичний випадок ($\text{rank } Q = n_1 < n$) і критерій розв'язності

$$P_{Q_d} \left\{ \alpha - l \int_a^b K(\cdot, \tau) f(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) a_i \right\} = 0, d = m - n_1$$

крайової задачі (2) у силу довільності неоднорідних її членів не виконується.

Мета дослідження. Виникає наступне запитання: чи можна за допомогою лінійних збурень зробити крайову задачу (2) розв'язною і, якщо можна, то якими повинні бути збурені доданки $\varepsilon A_1(t)$, εA_{11} і εl_1 , щоб крайова задача (1) мала розв'язок при будь-яких неоднорідностях $f(t)$, a_t і α .

Матеріали і методи дослідження. Відповіді на це запитання можна за допомогою $(d \times r)$ – вимірної матриці:

$$B_0 = P_{Q_d^*} \left[l_1 X_r(\cdot) - l \int_a^b K(\cdot, t) A_1(t) X_r(t) dt - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i + 0) \times A_{11} X_r(\tau_i - 0) \right], \quad (3)$$

побудованої по коефіцієнтах вихідної диференціальної крайової задачі. Застосування методу Вішіка-Люстерніка дозволяє знайти ефективні коефіцієнтні умови виникнення розв'язків крайової задачі (2) у вигляді рядів Лорана по степенях малого параметра ε зі скінченним числом доданків, які містять від'ємні степені ε .

Результати дослідження та їх обговорення. Доведемо теорему, яка дає змогу розв'язати поставлену задачу. Перш ніж її сформулювати, введемо наступні позначення: $Q = lX(\cdot) - (m \times n)$ – вимірна матриця; $P_{Q^*} - (m \times m)$ – вимірна матриця (ортопроектор), що проектує $\mathbb{R}^m$ на $N(Q^*)$, $P_{Q^*}: \mathbb{R}^m \rightarrow N(Q^*)$; Q^+ – єдина псевдообернена за Муром-Пенроузом до Q $(n \times m)$ – вимірна матриця; $P_{B_0} - (r \times r)$ – вимірна матриця (ортопроектор), що проектує $\mathbb{R}^r$ на нуль-простір $N(B_0)$ $(d \times r)$ – вимірної матриці B_0 ; $P_{B_0^*} - (d \times d)$ – вимірна матриця (ортопроектор), що проектує $\mathbb{R}^d$ на нуль-простір $N(B_0^*)$ $(r \times d)$ – вимірної матриці $B_0^* = B_0^T$, $P_{B_0^*}: \mathbb{R}^d \rightarrow N(B_0^*)$.

Теорема. Нехай крайова задача (1) задовольняє вказаним вище умовам так, що має місце критичний випадок $(\text{rank } Q = n_1 < n)$ і породжуюча крайова задача (2) при довільних неоднорідностях $f(t) \in C([a, b]/\{\tau_i\}_i)$, $a_t \in \mathbb{R}^n$, $\alpha \in \mathbb{R}^m$ не має розв'язків. Тоді, якщо виконуються умови

$$P_{B_0} = 0, \quad P_{B_0^*} P_{Q_d^*} = 0, \quad (4)$$

то для крайової задачі (1) існує при довільних $f(t) \in C([a,b]/\{\tau_i\})$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $\alpha \in \mathbb{R}^m$ єдиний розв'язок, поданий у вигляді збіжного при $\varepsilon \in (0, \varepsilon_0]$ ряду

$$x(t, \varepsilon) = \sum_{i=k}^{+\infty} \varepsilon^i x_i(t), k = -1. \quad (5)$$

Доведення. Підставимо ряд (5) у крайову задачу (1) і прирівняємо коефіцієнти при однакових степенях ε . Отже, при ε^{-1} для $x_{-1}(t)$ отримаємо однорідну крайову задачу:

$$\begin{cases} \dot{x}_{-1} = A(t)x_{-1}, & t \neq \tau_i, \\ \Delta x_{-1}|_{t=\tau_i} = S_i x_{-1}(\tau_i) - 0, \\ l x_{-1} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Згідно з припущеннями теореми, однорідна крайова задача (6) має r —параметричне сімейство $r = n - n_1$ розв'язків $x_{-1}(t, c_{-1}) = X_r(t)c_{-1}$, де r —вимірний вектор-стовпець $c_{-1} \in \mathbb{R}^r$ констант буде визначений на наступному кроці з умови розв'язності задачі для $x_0(t)$.

При ε^0 приходимо для $x_0(t)$ до крайової задачі

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = A(t)x_0 + \varepsilon A_1(t)x_{-1} + f(t), & t \neq \tau_i, \\ \Delta x_0|_{t=\tau_i} = S_i x_0(\tau_i - 0) + A_{1i} x_{-1}(\tau_i - 0) + a_i, \\ l x_0 = l_1 x_{-1} + \alpha. \end{cases} \quad (7)$$

Критерій розв'язності задачі (7) має вигляд

$$P_{Q_d} \left\{ \alpha + l_1 X_r(\cdot) c_{-1} - l \int_a^b K(\cdot, \tau) (f(\tau) + A_1(\tau) X_r(\tau) c_{-1}) d\tau - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) (a_i + A_{1i} X_r(\tau_i - 0) c_{-1}) \right\} = 0$$

Звідси отримуємо алгебраїчну відносно $c_{-1} \in \mathbb{R}$ систему

$$B_0 c_{-1} - P_{Q_d} \left\{ \alpha - l \int_a^b K(\cdot, \tau) f(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) a_i \right\}, \quad (8)$$

де

$$B_0 = P_{Q_2^*} \left\{ l_1 X_r(\cdot) - l \int_a^b K(\cdot, \tau) A_1(\tau) X_r(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) \times A_{11} X_r(\tau_i - 0) \right\} \quad (9)$$

Для розв'язання останньої при довільних $f(t) \in C([a, b]/\{\tau_i\}_1)$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^m$ необхідно і достатньо виконати умову $P_{B_0} P_{Q_2^*} = 0$. Якщо додатково вимагати $\text{rank } B_0 = r \Leftrightarrow P_{B_0} = 0$, то система (8) єдиним чином розв'язна відносно $c_{-1} \in \mathbb{R}^r$:

$$c_{-1} = B_0^+ P_{Q_2^*} \left\{ a - l \int_a^b K(\cdot, \tau) f(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) a_i \right\}.$$

Крайова задача (7) при (4) має r —параметричне сімейство $(r = \kappa - n_1)$ розв'язків

$$z_0(t, c_0) = X_r(t) c_0 + \bar{z}_0(t),$$

де $c_0 = r$ — вимірний вектор констант, який буде однозначно визначений на наступному кроці з умови розв'язності крайової задачі для $z_1(t)$; $\bar{z}_0(t)$ — частинний розв'язок задачі (7):

$$\bar{z}_0(t) = \left(G \begin{bmatrix} A_1(\tau) z_{-1}(\tau, c_{-1}) + f(\tau) \\ A_{11} z_{-1}(\tau_i - 0) + a_i \end{bmatrix} \right)(t) + X(t) Q^+ \{ a + l_1 z_{-1}(\cdot, c_{-1}) \},$$

де $\left(G \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix} \right)(t)$ — узагальнений оператор Гріна крайової задачі (7), який має вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(G \begin{bmatrix} A_1(\tau) z_{-1}(\tau, c_{-1}) + f(\tau) \\ A_{11} z_{-1}(\tau_i - 0) + a_i \end{bmatrix} \right)(t) \equiv \\ & \equiv \left(\int_a^b K(t, \tau) * d\tau - X(t) \times Q^+ l \int_a^b K(\cdot, \tau) * d\tau, \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) * \right. \\ & \quad \left. - X(t) Q^+ l \sum_{i=1}^p \bar{K}(\cdot, \tau_i) * \right) \begin{bmatrix} A_1(\tau) z_{-1}(\tau, c_{-1}) + f(\tau) \\ A_{11} z_{-1}(\tau_i - 0) + a_i \end{bmatrix} (t). \end{aligned}$$

Продовжуючи цей процес, методом математичної індукції доводимо, що при (4) коефіцієнти $z_i(t)$ ряду (5) однозначно визначаються з відповідних крайових задач. Збіжність ряду (5) також доводиться традиційними способами мажорування.

Висновки і перспективи. На основі методу типу Вішіка-Люстерніка отримані коефіцієнтні умови існування розв'язків крайової задачі (1) при довільних $f(t) \in C([a,b]/\{t_i\}_I)$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^n$. Для отримання цих умов будується $(d \times r)$ -вимірна матриця (3). Отримані результати узагальнюють і поглиблюють раніш відомі результати з лінійних і слабонелінійних періодичних крайових задач на загальний випадок, дозволяють проводити ефективний аналіз таких задач, знаходити умови їх розв'язності та можуть бути застосовані у подальших дослідженнях крайових задач з імпульсною дією.

Список літератури

1. Самойленко А. М. Дифференциальные уравнения с импульсным воздействием // А. М. Самойленко, Н. А. Перестюк. – К. : Вища шк.; 1987. – 287 с.
2. Бойчук А. А. Конструктивные методы анализа краевых задач // А. А. Бойчук. – К. : Наук. думка; 1990. – 96 с.
3. R. Ovchar. Terms of solutions of weakly perturbed linear boundary problems (if $k = -2$) // R. Ovchar – К. : Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК; 2014. – 177–182 с.

References

1. Samoylenko, A. M. (1987). Differencial'nyye uravneniya s impul'snym vozdeystviyem [Differential equations with impulse action]. K.: High school – 287 s.
2. Boychuk, A. A. (1990). Konstruktivnyye metody analiza kraevykh zadach [Constructive methods for analyzing boundary value problems]. K., 96.
3. R. Ovchar (2014). Terms of solutions of weakly perturbed linear boundary problems (if $k = -2$), K., 177–182.

РЕШЕНИЯ СЛАБОВОЗМУЩЕННЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ И УСЛОВИЯ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ (СЛУЧАЙ $k = -1$)

Р. Ф. Овчар

Аннотация. Предложена схема нахождения коэффициентных условий существования решений слабозмущенных краевых задач для систем с импульсным воздействием в фиксированные моменты времени. На основании метода типа Вишика-Люстерника получены коэффициентные условия существования решений краевой задачи при произвольных неоднородностях $f(t) \in C([a,b]/\{t_i\}_I)$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^n$. Для получения этих условий строится $(d \times r)$ – мерная матрица.

Использованы методы теории возмущений, асимптотические методы нелинейной механики, разработанные в трудах Ю. О.

Митропольского, М. М. Крылова, Н. Н. Боголюбова, и А. М. Самойленка, аппарат обобщенных операторов Грина линейных полуднородных краевых задач.

Ценность этой темы обусловлена, прежде всего, важностью практического применения теории краевых задач в теории нелинейных колебаний, теории устойчивости движения, теории управления, ряде геофизических задач. С другой стороны, полученные в статье новые результаты существенно дополняют исследования по теории нелинейных колебаний для слабовозмущенных краевых задач.

Статья носит теоретический характер, обобщает и углубляет ранее известные результаты из линейных и слабонелинейных периодических краевых задач на общий случай, когда краевые условия задаются слабонелинейным векторным функционалом, а количество краевых условий не совпадает с порядком дифференциальной системы.

Ключевые слова: слабовозмущенная линейная неоднородная краевая задача, однородная краевая задача с импульсным воздействием, ортопроектор, ряд, псевдообратная матрица, обобщенный оператор Грина

SOLUTIONS OF WEAKLY PERTURBED BOUNDARY PROBLEMS AND TERMS OF OCCURRENCE OF SOLUTIONS (CASE $k = -1$)

R. F. Ovchar

Abstract. The scheme of finding the coefficient condition for the existence of solutions of weakly perturbed boundary value problems for systems with impulse action at fixed moments of time is proposed. The coefficient conditions for the existence of solutions of the boundary value problem for arbitrary inhomogeneities $f(t) \in C([a, b]/\{\tau_i\})$, $a_i \in \mathbb{R}^n$, $a \in \mathbb{R}^m$, are obtained on the basis of the Vishik-Lyusternik type method. To obtain these conditions, a $(d \times r)$ -dimensional matrix is constructed.

The article uses effective methods of perturbation theory, asymptotic methods of nonlinear mechanics, developed in the works of M. Krylov, M. Bogolyubov,

Y. Mitropolsky and A. Samoilenko, the apparatus of generalized Green operators of linear semiautonomous boundary value problems.

The sense of this topic is due, above all, to the importance of the practical application of the theory of boundary value problems in the theory of nonlinear oscillations, the theory of stability of motion, the theory of control, a number of geophysical problems. On the other hand, obtaining in the article new results substantially complement the studies on the theory of nonlinear oscillations for weakly perturbed boundary-value problems.

The article is theoretical, generalizes and deepens the previously known results from linear and weakly nonlinear periodic boundary value problems in the general case when boundary conditions are given by a weakly linear

vector functionality, and the number of boundary conditions does not coincide with the order of the differential system.

Keywords: *weakly perverted linear inhomogeneous boundary value problem, homogeneous boundary value problem with impulse action, orthoprojector, row, pseudo-inverse matrix, generalized Green's operator*

УДК 662.997

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬХОЗНАЗНАЧЕНИЯ В КОНЦЕПЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСЕТЕЙ

В. В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук, профессор
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
E-mail: kharval@mail.ru

Аннотация. Для развития и вовлечения в хозяйственный оборот новых территорий требуется организация бесперебойного надежного энергообеспечения хозяйствующих субъектов на этих территориях. Большие возможности для решения этой проблемы открывает использования технологии микросетей на основе возобновляемых источников энергии. Положения и принципы создания микросетей, равно как и многие технические решения, необходимые для формирования микросети разработаны. Однако применение этой технологии обеспечивает решение проблемы электроснабжения, в то время как задача теплоснабжения потребителей не решается.

В статье рассмотрены возможные подходы для решения проблемы теплоснабжения в рамках использования для электроснабжения технологии микросетей на основе возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: **микросеть, электроснабжение, теплоснабжение, возобновляемые источники энергии, тепловые насосы, теплонасосные системы**

Актуальность. В последние годы начали интенсивно развиваться работы по вовлечению в хозяйственную деятельность новых территорий. Эти процедуры неизменно связаны с поиском эффективных способов организации энергоснабжения объектов хозяйствования на этих территориях. Широкие перспективы для решения проблемы энергообеспечения новых хозяйствующих субъектов на новых территориях открывает использование технологии микросетей, получившей интенсивное развитие в последние годы. Существует много вариантов микросетей. Они могут работать не только автономно, но и параллельно с электросетью.

vector functionality, and the number of boundary conditions does not coincide with the order of the differential system.

Keywords: *weakly perverted linear inhomogeneous boundary value problem, homogeneous boundary value problem with impulse action, orthoprojector, row, pseudo-inverse matrix, generalized Green's operator*

УДК 662.997

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬХОЗНАЗНАЧЕНИЯ В КОНЦЕПЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСЕТЕЙ

В. В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук, профессор
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
E-mail: kharval@mail.ru

Аннотация. Для развития и вовлечения в хозяйственный оборот новых территорий требуется организация бесперебойного надежного энергообеспечения хозяйствующих субъектов на этих территориях. Большие возможности для решения этой проблемы открывает использования технологии микросетей на основе возобновляемых источников энергии. Положения и принципы создания микросетей, равно как и многие технические решения, необходимые для формирования микросети разработаны. Однако применение этой технологии обеспечивает решение проблемы электроснабжения, в то время как задача теплоснабжения потребителей не решается.

В статье рассмотрены возможные подходы для решения проблемы теплоснабжения в рамках использования для электроснабжения технологии микросетей на основе возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: **микросеть, электроснабжение, теплоснабжение, возобновляемые источники энергии, тепловые насосы, теплонасосные системы**

Актуальность. В последние годы начали интенсивно развиваться работы по вовлечению в хозяйственную деятельность новых территорий. Эти процедуры неизменно связаны с поиском эффективных способов организации энергоснабжения объектов хозяйствования на этих территориях. Широкие перспективы для решения проблемы энергообеспечения новых хозяйствующих субъектов на новых территориях открывает использование технологии микросетей, получившей интенсивное развитие в последние годы. Существует много вариантов микросетей. Они могут работать не только автономно, но и параллельно с электросетью.

Анализ последних исследований и публикаций. Разработаны положения и принципы формирования микросетей с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) весьма перспективных для использования на новых, удаленных от централизованных источников энергоснабжения территориях [1, 2, 3]. Все аспекты построения и применения микросетей на основе ВИЭ детально рассмотрены ранее в [4]. Для обеспечения функционирования микросетей разработан ряд новейших технических средств, среди которых можно упомянуть специальные энергосберегающие электронные системы автономного энергоснабжения [5], а также апробированные источники регулируемой мощности [6]. Работа СЭС на электрическую сеть, т.е. на микросеть в реальных условиях, промоделирована и описана в [7]. Таким образом, практически созданы методические основы и разработана техническая база создания микросетей в любом заданном районе.

Вместе с тем, созданная микросеть, обеспечивая потребителя электрической энергией, не в состоянии решить проблему теплоснабжения, поскольку использование электроэнергии для нагрева воды экономически нецелесообразно, а в условиях автономного электроснабжения практически невозможно.

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

Материалы и методы исследования. На основе анализа литературных данных и результатов собственных исследований рассмотреть возможность решения задачи обеспечения теплом потребителей, входящих в состав микросетей, на нужды отопления и горячего водоснабжения всех хозяйствующих субъектов, которые по электроснабжению объединены в одну микросеть путем использования теплонасосных систем теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии в различном их сочетании.

Теплонасосные системы теплоснабжения с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Теплонасосные системы в целом, а также системы с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, отлично зарекомендовали себя на практике, особенно в условиях дефицита традиционных энергоресурсов, таких как природный газ, уголь, дрова и пеллеты. Для функционирования ТНУ необходимы два исходных источника энергии:

- электроэнергия для снабжения электродвигателя в тепловых насосах компрессионного типа;
- низкопотенциальная энергия для преобразования в теплоноситель с заданными характеристиками.

И в первом, и во втором случае, поставка энергии может быть обеспечена за счет использования возобновляемых источников энергии.

На рис.1 представлена система теплоснабжения, где в качестве источника низкопотенциальной теплоты используется теплота приповерхностных слоев Земли (геотермальная энергия).

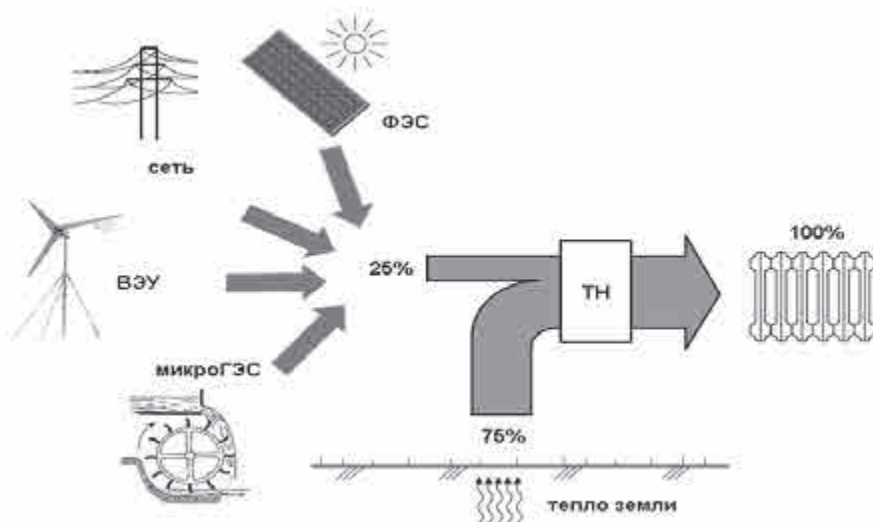


Рис. 1. Система теплоснабжения на основе использования низкопотенциальной теплоты приповерхностных слоев Земли и электроэнергии от различных ВИЭ

Для электроснабжения двигателя в такой системе могут использоваться самые разные источники ВИЭ, каждый поодиночке, все одновременно или часть из показанных в разных сочетаниях. Выбор источника электроснабжения определяется потенциалом каждого из возможных источников на заданной территории. Поэтому для разных мест конфигурация системы теплоснабжения может существенно меняться. Как можно видеть из рисунка, представляется возможным использовать электрическую сеть. Именно такие системы в настоящее время нашли широчайшее распространение во всем мире. Несколько меньше представлены системы с использованием ВИЭ, но такие системы находят все большее распространение на практике.

Схема солнечно-геотермального теплоснабжения представлена на рис.2.



Рис. 2. Поток низкопотенциальной теплоты в системе солнечно-геотермального теплоснабжения

Представленная на рис. 2 система отличается тем, что в ней использованы, наряду с классическими солнечными коллекторами

(располагаются на крыше здания), теплофотоэлектрические (ФЭТ) модули, вырабатывающие одновременно как тепловую, так и электрическую энергию. Использование ФЭТ модулей в системе теплоснабжения будет рассмотрено ниже.

Результаты исследований и их обсуждение. В более общем виде схема теплонасосной системы теплоснабжения с использованием различных источников низкопотенциальной теплоты может быть представлена в виде, изображенном на рис. 3.

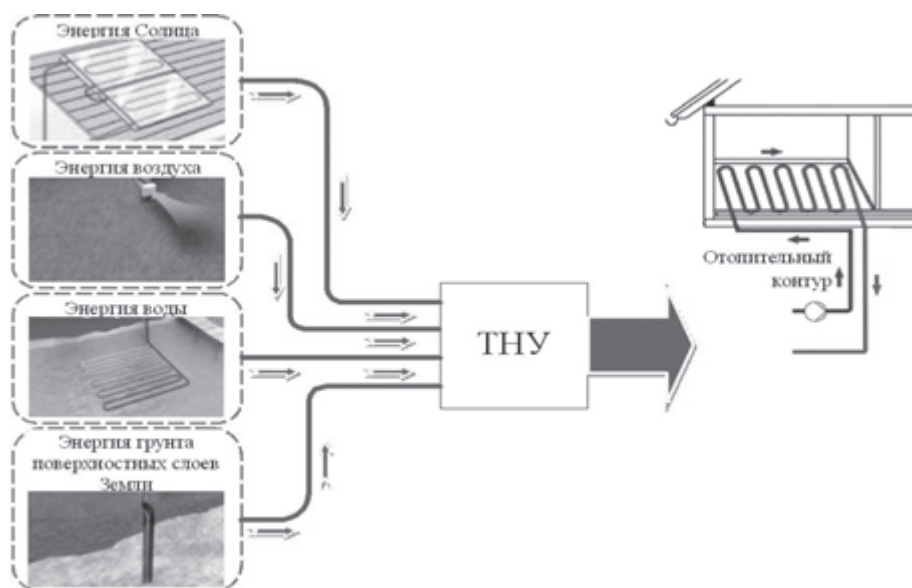


Рис. 3. Варианты систем теплоснабжения с различными источниками низкопотенциальной теплоты

Источники низкопотенциальной теплоты. Как легко видеть из рис. 3, для использования в теплонасосных установках (ТНУ) теплоснабжения могут использоваться источники низкопотенциальной теплоты различного происхождения. Они не ограничиваются только теми, которые приведены на рис. 3. Ниже приведены результаты работы по созданию системы классификации возможных источников низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для ТНУ (рис. 4).

Из рассмотрения предложенной системы нетрудно видеть, что все возможные ИНТ можно разделить на три группы:

1. ИНТ окружающей среды.
2. ИНТ как вторичное сбросное тепло антропогенного происхождения.
3. ИНТ – накопители тепла различной природы.

К источникам тепла первой группы можно отнести: наружный воздух, подпочвенную воду, озерную воду, речную воду, морскую воду, грунт, грунтовые воды, геотермальную воду.

К источникам тепла второй группы можно отнести вторичное сбросное тепло производственного характера, а именно: вентиляционный воздух, удаляемый из производственных или жилых помещений,

сбросная вода промпредприятий, конденсат, образующийся в вентиляционных коробах, например, в вытяжной вентиляции коровников, парное молоко перед охлаждением, канализационные очищенные и неочищенные сточные воды, промышленные водостоки, воды оборотных систем охлаждения промышленных предприятий, конденсаторов водяного пара, применяемых при производстве электроэнергии и т.д.

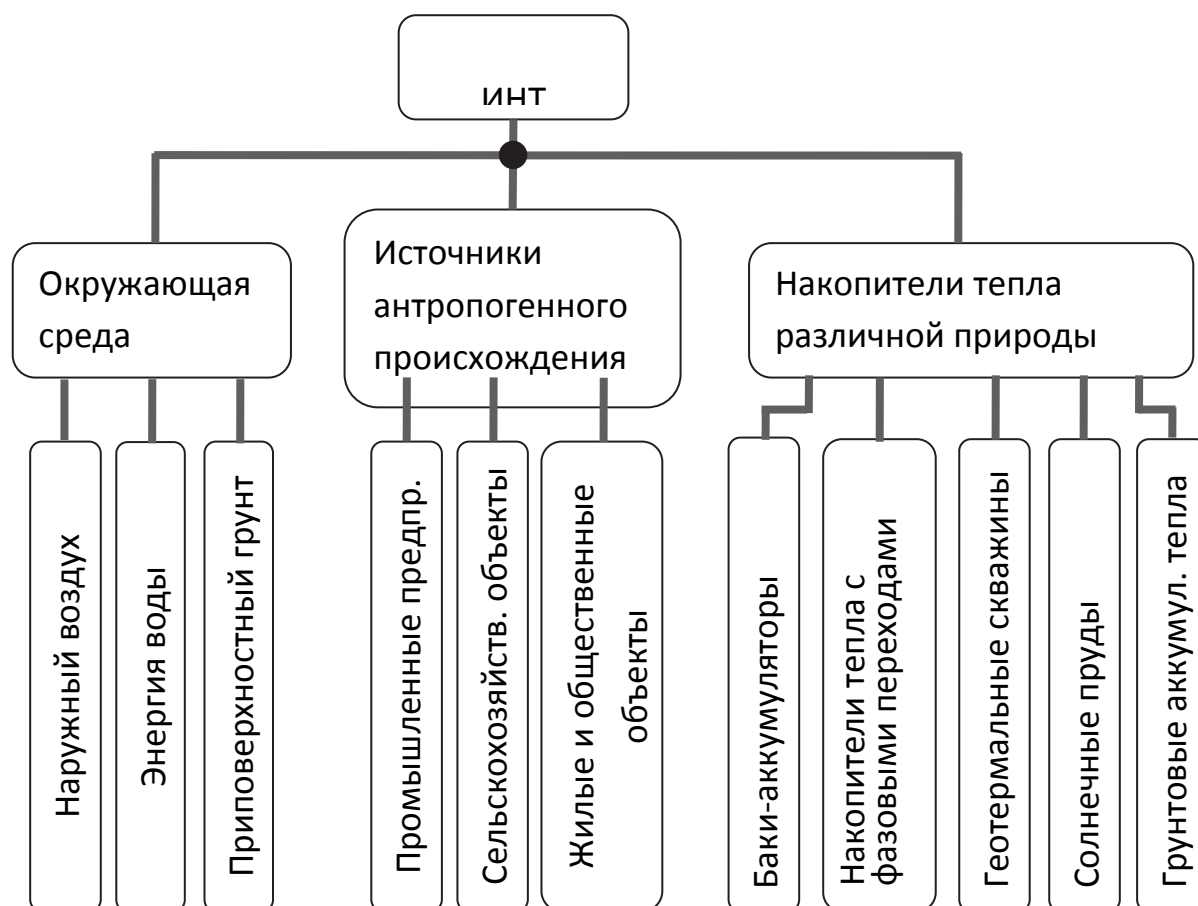


Рис. 4. Низкопотенциальные источники тепловой энергии (ИНТ) для теплонасосных установок

Третья группа включает в себя: баки-хранилища или бассейны с горячей водой, накопленной в течение теплого периода, специальные накопители тепла с фазовыми переходами, солнечные пруды с запасенной соленой водой, скважины с закачанной в летний период водой и т.д.

Совершенно очевидно, что для теплоснабжения объектов на удаленных территориях, функционирующих в автономном режиме, приемлемыми могут рассматриваться, в первую очередь, источники первой, а затем уже второй группы.

Для решения вопроса о возможности использования источника низкопотенциального тепла в конкретных условиях необходимо, чтобы они удовлетворяли ряд требований, которые в значительной степени определяются конструкцией тепловых насосов и режимами их эксплуатации. В частности ИНТ должны:

- поддерживать стабильно высокую температуру в течение отопительного сезона;
- быть изобильными и возобновляемыми;
- не быть коррозионно-активными и загрязняющими;
- иметь благоприятные теплофизические характеристики и низкие эксплуатационные расходы. В большинстве случаев параметры НИТ являются ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики ТН.

В таблице приведены температурные показатели, типичные для наиболее распространенных источников тепла.

Температурный уровень основных источников тепла

Источник тепла	Температурный диапазон, °С
Наружный воздух	–10/+15
Отводимый использованный воздух	15/25
Подпочвенная вода	4/10
Озерная вода	0/10
Речная вода	0/10
Морская вода	3/8
Грунт	0/10
Грунтовые воды	>10
Геотермальная вода	20/50

Примеры ТНУ теплоснабжения с ВИЭ. Установки на основе теплоты окружающего воздуха. Это наиболее распространённые, простые и дешёвые в монтаже теплонасосные системы. В сочетании с мерами по теплозащите помещений (концепция энергопассивного дома) эти системы могут решить не только проблему горячего водоснабжения, но и проблему отопления. Система отопления с помощью теплового насоса (ТН) воздух-вода, реализованная в Подмоскowie [8], представлена на рис. 5.

Вместе с тем, такие системы становятся малоэффективными при снижении температуры окружающего воздуха ниже 5...10 °С и потому не могут выступать надёжными источниками тепла в регионах, характеризующихся низкими пиковыми температурами в холодное время.

Установки на основе теплоты приповерхностных слоев Земли. Такие системы сегодня получили самое широкое распространение. В них теплота приповерхностных (а иногда и более глубоких) слоев Земли используется для выработки горячей воды с заданными параметрами, которая затем используется как для отопления, так и для горячего водоснабжения.

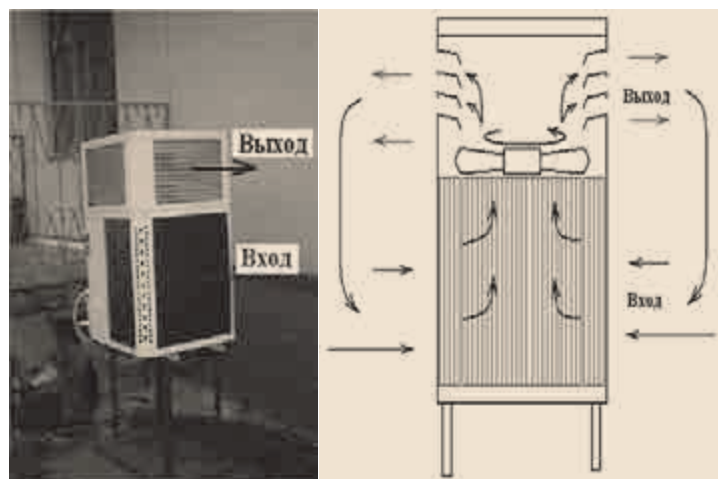


Рис. 5. Система отопления с помощью ТН воздух-воздух, реализованный в МО [8]

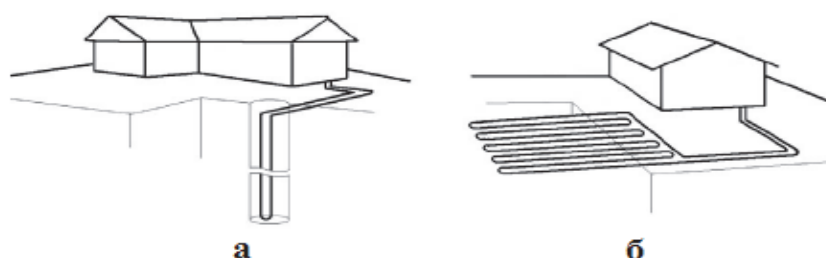


Рис. 6. Теплонасосные системы теплоснабжения с вертикальным (а) и горизонтальным (б) теплообменником-коллектором

За рубежом такие системы получили широкое распространение, их использование наращивается и в России. Поэтому нет особой необходимости подробно рассматривать этот вопрос, поскольку он широко представлен в огромном числе работ. Классическим примером такого решения является система теплоснабжения школы в Ярославской области [9].

Установки на основе теплоты открытых водотоков. К числу наиболее перспективных можно отнести теплонасосные системы, использующие теплоту поверхностных водных сред и, в частности, малых водотоков. К числу малых водотоков можно отнести каналы мелиоративных систем, которые часто образуют развитые сети на территориях, используемых под сельскохозяйственные нужды. Вышеуказанные системы по эффективности не уступают ТНУ с грунтовыми теплообменниками, и зачастую даже превосходят последние, при несравненно более низких капитальных затратах.

Работы в этом направлении в России практически отсутствуют. За рубежом такие системы применяются, однако также недостаточно широко. Одной из причин этого является отсутствие технических проработок систем отбора теплоты водотока.

Мы разработали эффективные и надежные в эксплуатации системы отбора теплоты водотоков, выполнили работы по оптимизации всей теплонасосной системы, в частности, по оптимизации низкотемпературного контура теплонасосной установки и выбору оптимального теплоносителя в этом контуре [10, 11]. Разработанная и описанная в вышеприведенных источниках установка с теплообменником, представленным на рис. 7, прошла испытания в Московской области и показала удовлетворительные результаты.

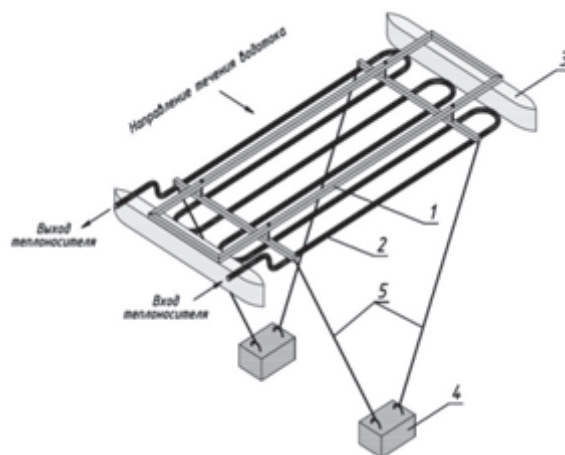


Рис. 7. Принципиальная схема теплообменника для отбора теплоты от небольшого водотока:

1 – рама, 2 – трубы, 3 – поплавки, 4 – грузы-якоря, 5 – тросы

На рис. 8 показан внешний вид (фото) системы отбора теплоты, из которого нетрудно понять, что установка проходила испытания и в зимний период. Результаты этих испытаний в целом положительные, но требуют отдельного рассмотрения.



Рис. 8. Фотографии теплообменника для отбора тепловой энергии от водотока

Теплонасосные системы теплоснабжения на основе теплоты окружающей среды и ветроагрегатов. Такие системы представляются перспективными для использования, в первую очередь, в регионах с заметным ветроэнергетическим потенциалом [12,13].

Совместное использование ФЭТМ и ТН. Анализ и практические исследования показали, что при совместном использовании ФЭТМ и ТН повышается эффективность работы как всей системы, так и каждого устройства в отдельности [14, 15]. Блок-схема совмещенной системы ФЭТМ плюс ТН показана на рис. 9.

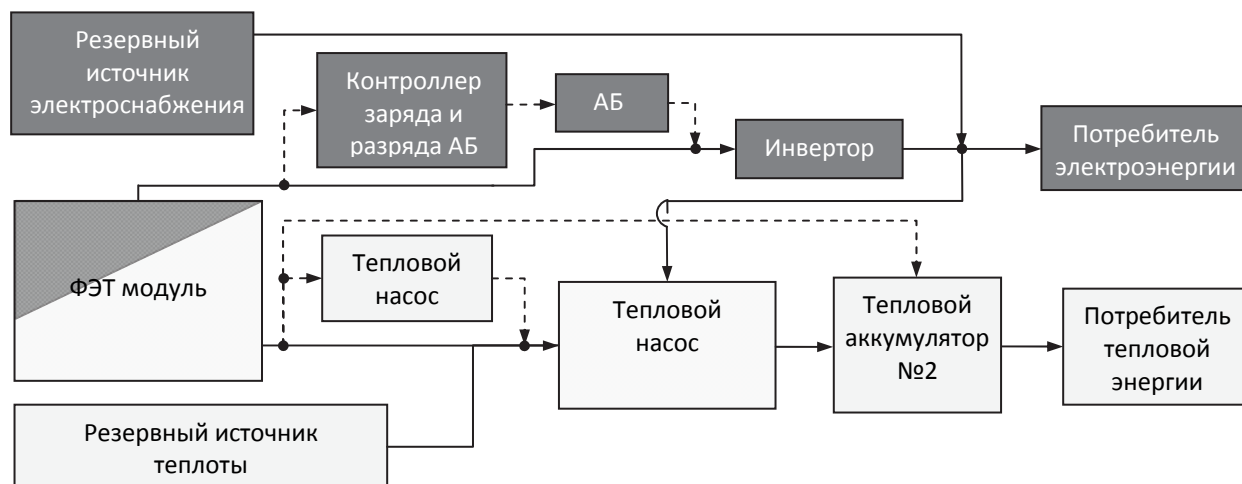


Рис. 9. Блок-схема комбинированной системы энергоснабжения ФЭТМ плюс ТН

Такие системы еще не получили заслуживающего распространения в какой-то степени в связи с дороговизной тепловых насосов. В показанной на рис. 9 системе разница между исходной, промежуточной и конечной (выход) температурами распределяется между двумя установками. В ФЭТМ, вследствие уменьшения разности температуры нагрева теплоносителя, эффективность выработки как тепловой, так и электрической энергии возрастает. Помимо этого, возрастает коэффициент отношения выработки тепловой энергии к электрической. Для ТН уменьшение разности температуры нагрева теплоносителя также повышает его эффективность.

Теплонасосные установки принято оценивать коэффициентом трансформации ($K_{тр}$) энергии. Этот показатель эффективности, который численно показывает количество полезного тепла, произведенного теплонасосной установкой на единицу затраченной электроэнергии, в определенных условиях может достигать чрезвычайно высоких значений.

Выводы и перспективы. Вышепредставленная информация достаточно убедительно показывает, что теплонасосные системы могут обеспечить абсолютно приемлемую эффективность систем теплоснабжения, в особенности для автономного теплоснабжения удаленных объектов, обеспечиваемых электроснабжением в парадигме распределенной энергетики.

Список литературы

1. Адомавичюс В. Б. Микросеть с ветроэлектростанциями для энергообеспечения местных потребителей / В. Б. Адомавичюс, В. В. Харченко // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 7-й

Международной научно-технической конференции, 18–19 мая 2010 года. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – Москва ГНУ ВИЭСХ. – С. 209–214.

2. Адомавичюс В. Б. Особенности и проблемы построения микросетей / В. Б. Адомавичюс, В. В. Харченко // Труды 8-й Международной научно-технической конференции (16–17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). Ч. 5. – С. 50–57.

3. Adomavicius V., Kharchenko V., Valickas J., Gusarov V. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture, Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic. – P. 51–55.

4. Харченко В. В. Микросети на основе возобновляемых источников энергии: концепция, принципы построения, перспективы использования / В. В. Харченко // Возобновляемые источники энергии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и IX молодежной школы. Лекции ведущих специалистов, 11–14 ноября 2014 года, г. Москва. – М. : Университетская книга. – С. 143–168.

5. Гусаров В. А. Энергосберегающие электронные системы автономного энергоснабжения / В. А. Гусаров, В. В. Харченко // Наукоемкие технологии. – 2012. – Т. 13, № 4. – С. 41–47.

6. Источники регулируемой мощности в микросетях / В. Б. Адомавичюс, В. В. Харченко, И. Валицкас, В. А. Гусаров // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 54–59.

7. Солнечная электростанция для параллельной работы / В. В. Харченко, В. А. Гусаров, В. А. Майоров, В. А. Панченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 2 (119). – С. 37–43.

8. Автономные системы теплоснабжения на основе тепловых насосов воздух-вода / В. А. Гусаров, В. В. Харченко, А. О. Сычев [и др.] // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Энергетика и автоматика. – 2013. – № 3. – С. 67.

9. Васильев Г. П. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области / Г. П. Васильев, Н. С. Крундышев // АВОК. – 2002. – № 5.

10. Харченко В. В. Использование низкопотенциальной теплоты поверхностного водотока в теплонасосной системе теплоснабжения сельского дома / В. В. Харченко, А. О. Сычѳв // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 18–24.

11. Харченко В. В. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В. В. Харченко, А. О. Сычѳв // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31–36.

12. Chemekov V., Kharchenko V., Adomavicius V. Modelling of autonomous heating, ventilating and air conditioning system based on the heat pump and wind turbine. Proceedings of the 6th international conference on electrical and control technologies “ECT-2011” Kaunas, Lithuania. – P. 307–310.

13. Теплоснабжение дома от теплонасосной системы, использующей возобновляемые источники энергии / В. В. Харченко, В. В. Чеमेков, П. В. Тихонов, В. Б. Адомавичюс // Научные труды Литовской академии прикладных наук. Клайпедский университет. – 2011. – № 7. – С. 45–52.

14. Тихонов П. В. Системы энергоснабжения на основе когенерационных фотоэлектрических и тепловых модулей и тепловых насосов / П. В. Тихонов, В.

В. Харченко // Труды 7-й Международной научно-технической конференции, 18–19 мая 2010 года, Москва ГНУ ВИЭСХ. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – С. 275–279.

15. Харченко В. В. Системы энергоснабжения на основе тепловых насосов и оборудования для улавливания солнечной энергии / В. В. Харченко, П. В. Тихонов, Б. А. Никитин // Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии: труды международной научно-практической конференции. – Чимкент, 2010. – С. 167–172.

References

1. Adomavichyus, V. B., Kharchenko, V. V. (2010). Mikroset' s vetroelektrostantsiyami dlya energoobespecheniya mestnykh potrebiteley [Microgrids with wind power plants for power supply to local consumers]. Energoobespecheniye i energosberezheniye v sel'skom khozyaystve. Trudy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 18–19 maya 2010 goda, Moskva GNU VIESKH. Ch. 4. Vozobnovlyayemye istochniki energii. Mestnyye energoresursy. Ekologiya, 209–214.

2. Adomavichyus, V. B., Kharchenko, V. V. (2012). Osobennosti i problemy postroyeniya mikrosetey [Features and problems of the construction of microgrids]. Trudy 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (16–17 maya 2012 goda, g. Moskva, GNU VIESKH). Ch. 5, 50–57.

3. Adomavicius, V., Kharchenko, V., Valickas, J., Gusarov, V. (2013). RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture. Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic, 51–55.

4. Kharchenko, V. V. (2014). Mikroseti na osnove vozobnovlyayemykh istochnikov energii: kontseptsiya, printsipy postroyeniya, perspektivy ispol'zovaniya [Microgrids based on renewable energy sources: the concept, principles of construction, the use of perspectives]. Vozobnovlyayemye istochniki energii". Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem i IX molodezhnoy shkoly. Lektsii vedushchikh spetsialistov, 11–14 noyabrya 2014 goda, g. Moskva. Moskva: «Universitetskaya kniga», 143–168.

5. Gusarov, V. A., Kharchenko, V. V. (2012). Energosberegayushchiye elektronnyye sistemy avtonomnogo energosnabzheniya [Energy-saving electronic systems of autonomous power supply]. Naukoyemkiye tekhnologii, 13 (4), 41–47.

6. Adomavichyus, V. B., Kharchenko, V. V., Valitskas, I., Gusarov, V. A. (2013). Istochniki reguliruyemoy moshchnosti v mikrosetyakh [Sources of regulated power in microgrids]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 7, 54–59.

7. Kharchenko, V. V., Gusarov, V. A., Mayorov, V. A., Panchenko, V. A. (2013). Solnechnaya elektrostantsiya dlya parallel'noy raboty [Solar power plant for parallel operation]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 2 (119), 37–43.

8. Gusarov, V. A., Kharchenko, V. V., Sychev, A. O., Rakitov, S. A., Yudayev, I. V. (2013). Avtonomnyye sistemy teplosnabzheniya na osnove teplovykh nasosov vozdukh-voda [Autonomous heat supply systems based on air-to-water heat pumps]. Izvestiya Akademii nauk SSSR. Otdeleniye tekhnicheskikh nauk. Energetika i avtomatika, 3, 67.

9. Vasil'yev, G. P., Krundyshev, N. S. (2002). Energoeffektivnaya sel'skaya shkola v Yaroslavskoy oblasti [Energy-efficient rural school in the Yaroslavl region]. AVOK, 5.

10. Kharchenko, V. V., Sychov, A. O. (2014). Ispol'zovaniye nizkopotentsial'noy teploty poverkhnostnogo vodotoka v teplonasosnoy sisteme teplosnabzheniya sel'skogo

doma [Use of low-potential heat of a surface water flow in a heat pump system of a heat supply of a rural house]. Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukrainy, 194 (2), 18–24.

11. Kharchenko, V. V., Sychov, A. O. (2013). Optimizatsiya nizkotemperaturnogo kontura teplonasosnoy ustanovki na osnove teploty poverkhnostnykh vod [Optimization of the low-temperature circuit of a heat pump system based on the heat of surface water]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 7, 31–36.

12. Chemekov, V., Kharchenko, V., Adomavicius, V. (2011). Modelling of autonomous heating, ventilating and air conditioning system based on the heat pump and wind turbine. Proceedings of the 6th international conference on electrical and control technologies “ECT-2011” Kaunas, Lithuania, 307–310.

13. Kharchenko, V. V., Chemekov, V. V., Tikhonov, P. V., Adomavichyus, V. B. (2011). Teplosnabzheniye doma ot teplonasosnoy sistemy, ispol'zuyushchey vozobnovlyayemye istochniki energii [Heat supply from a heat pump system using renewable energy sources]. Nauchnyye trudy Litovskoy akademii prikladnykh nauk. Klaypedskiy universitet, 7, 45–52.

14. Tikhonov, P. V., Kharchenko, V. V. (2010). Sistemy energosnabzheniya na osnove kogeneratsionnykh fotoelektricheskikh i teplovykh moduley i teplovykh nasosov [Power supply systems based on cogeneration photovoltaic and thermal modules and heat pumps]. Trudy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 18–19 maya 2010 goda, Moskva GNU VIESKH. Ch. 4. Vozobnovlyayemye istochniki energii. Mestnyye energoresursy. Ekologiya, 275–279.

15. Kharchenko, V. V., Tikhonov, P. V., Nikitin, B. A. (2010). Sistemy energosnabzheniya na osnove teplovykh nasosov i oborudovaniya dlya ulavlivaniya solnechnoy energii [Power supply systems based on heat pumps and solar energy capture equipment]. Perspektivnyye napravleniya al'ternativnoy energetiki i energosberegayushchiye tekhnologii: trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chimkent, 167–172.

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ АВТОНОМНИХ ОБ'ЄКТІВ СІЛЬГОСППРИЗНАЧЕННЯ В КОНЦЕПЦІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОМЕРЕЖ

В. В. Харченко

Анотація. Для розвитку і залучення в господарський оборот нових територій необхідна організація безперебійного надійного енергозабезпечення господарюючих суб'єктів на цих територіях. Великі можливості для вирішення цієї проблеми відкриває використання технології мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії. Положення і принципи створення мікромереж, так само як і багато технічних рішень, необхідних для формування мікромережі, розроблені. Однак застосування цієї технології забезпечує вирішення проблеми електропостачання, тоді як завдання теплопостачання споживачів не вирішується.

У статті розглянуто можливі підходи для вирішення проблеми теплопостачання в межах використання для електропостачання технології мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: мікромережі, електропостачання, теплопостачання, відновлювані джерела енергії, теплові насоси, теплонасосні системи

HEAT SUPPLY OF AUTONOMOUS OBJECTS OF AGRICULTURE IN THE CONCEPT OF DISTRIBUTED ENERGY SUPPLY WITH THE USE OF MICROGRIDS

V. V. Kharchenko

Abstract. *For the development and involvement in the economic circulation of new territories, it is required to organize an uninterrupted reliable energy supply of economic entities in these territories. A great opportunity to solve this problem opens up the use of technology of microgrids based on RES. The provisions and principles of creating microgrids, as well as many technical solutions necessary for their formation are developed. However, the use of this technology provides a solution to the problem of electricity supply, while the problem of heat supply to consumers is not solved.*

The article considers possible approaches for solving the problem of heat supply in the framework of using for the power supply the technology of microgrids based on renewable energy sources.

Keywords: *microgrids, electricity supply, heat supply, renewable energy sources, heat pumps, heat pump systems*

УДК621.472

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

В. В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук, профессор

Б. А. НИКИТИН, кандидат технических наук

П. В. ТИХОНОВ, кандидат технических наук

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

Г. Н. УЗАКОВ, доктор технических наук, профессор

Инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

E-mail: kharval@mail.ru

Аннотация. *Применение систем точного слежения за солнцем в фотоэлектрических системах обеспечивает значительное повышение общей выработки энергетических солнечных систем. Известно значительное число разработанных и реализованных на практике систем слежения за Солнцем. В настоящей статье приводится описание новой конструкции системы слежения, использование которой в ряде случаев предпочтительнее по сравнению с известными устройствами.*

© В. В. Харченко, Б. А. Никитин, П. В. Тихонов, Г. Н. Узаков, 2017

Ключові слова: мікромережі, електропостачання, теплопостачання, відновлювані джерела енергії, теплові насоси, теплонасосні системи

HEAT SUPPLY OF AUTONOMOUS OBJECTS OF AGRICULTURE IN THE CONCEPT OF DISTRIBUTED ENERGY SUPPLY WITH THE USE OF MICROGRIDS

V. V. Kharchenko

Abstract. *For the development and involvement in the economic circulation of new territories, it is required to organize an uninterrupted reliable energy supply of economic entities in these territories. A great opportunity to solve this problem opens up the use of technology of microgrids based on RES. The provisions and principles of creating microgrids, as well as many technical solutions necessary for their formation are developed. However, the use of this technology provides a solution to the problem of electricity supply, while the problem of heat supply to consumers is not solved.*

The article considers possible approaches for solving the problem of heat supply in the framework of using for the power supply the technology of microgrids based on renewable energy sources.

Keywords: *microgrids, electricity supply, heat supply, renewable energy sources, heat pumps, heat pump systems*

УДК621.472

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

В. В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук, профессор

Б. А. НИКИТИН, кандидат технических наук

П. В. ТИХОНОВ, кандидат технических наук

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

Г. Н. УЗАКОВ, доктор технических наук, профессор

Инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

E-mail: kharval@mail.ru

Аннотация. *Применение систем точного слежения за солнцем в фотоэлектрических системах обеспечивает значительное повышение общей выработки энергетических солнечных систем. Известно значительное число разработанных и реализованных на практике систем слежения за Солнцем. В настоящей статье приводится описание новой конструкции системы слежения, использование которой в ряде случаев предпочтительнее по сравнению с известными устройствами.*

© В. В. Харченко, Б. А. Никитин, П. В. Тихонов, Г. Н. Узаков, 2017

Ключевые слова: фотоэлектрические системы, слежение за Солнцем, датчики слежения

Актуальность. В случае использования фотоэлектрических систем (ФЭ) с концентрацией, обеспечение точного слежения за Солнцем является обязательным условием успешного их функционирования. Вопреки бытующему мнению, отсутствие слежения за Солнцем может существенно снизить эффективность солнечных станций.

Анализ последних исследований и публикаций. В случае отсутствия слежения за перемещением солнечного диска по небосклону в течение светового дня, имеют место большие потери приходящей солнечной радиации [1, 2, 4], что при работе солнечных систем в автономном режиме крайне нежелательно. Основные принципы, используемые при создании следящих систем, достаточно подробно рассмотрены в [3].

Системы слежения за Солнцем должны быть не только точными, но и иметь низкую стоимость и обладать высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Цель исследования – разработка системы слежения фотоэлектрических энергетических систем за Солнцем, которая могла бы обеспечить слежение за Солнцем по азимутальным и зенитальным параметрам в течение всего светового дня с использованием одного электродвигателя для привода поворотного механизма, а также могла бы обеспечить переориентацию позиционируемого объекта в начале светового дня (разворот с запада на восток).

Материалы и методы исследования. В состав системы должны быть включены: датчик положения Солнца новой оригинальной конструкции (ДПС), блок автоматического управления системой и исполнительный механизм (система двухкоординатного слежения с одним электродвигателем).

Датчик положения Солнца (ДПС). Схема разработанного датчика приведена на рис.1. Датчик ориентации в каждом канале содержит от одного до трех параллельно соединенных фотоэлементов, для которых установлена нагрузка величиной 3 Ом. Величина этой нагрузки выбрана из соображений возможности идентификации уровня освещенности фотоэлементов по снимаемым с них напряжениям. При больших значениях нагрузки сигнал, снимаемый с канала датчика ориентации, будет близок к напряжению холостого хода элемента, которое слабо зависит от освещенности фотоэлемента. При меньших значениях нагрузки режим работы фотоэлемента будет ближе к режиму короткого замыкания, а снимаемый сигнал будет весьма малым.

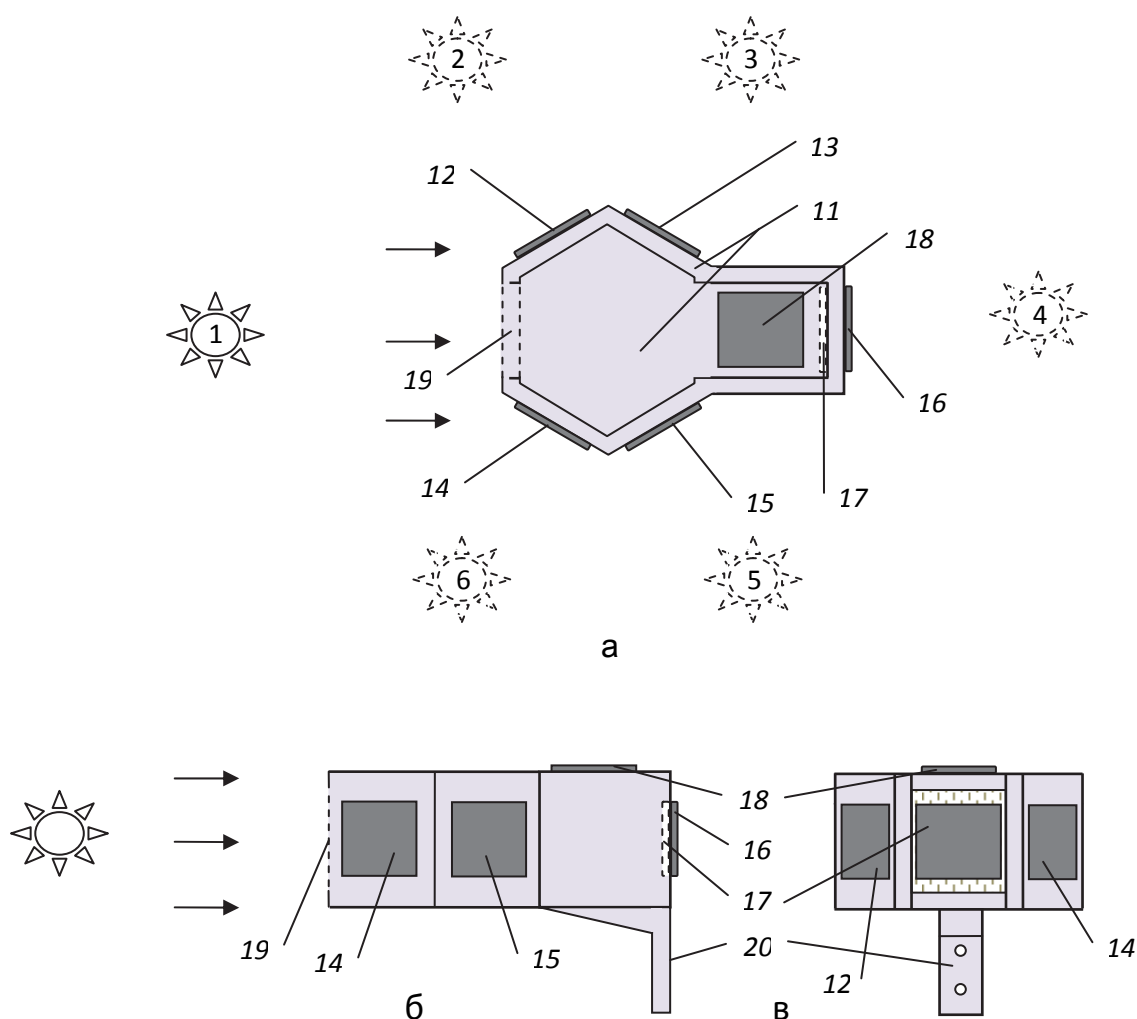


Рис. 1. Схема датчика слежения:
(вид сверху – а, сбоку – б, и спереди – в)

Первая, верхняя на схеме, группа фотоэлементов ДПС предназначена для выработки сигнала поворота системы солнечных батарей (СБ) налево, т.е. на восток, если смотреть на Юг, стоя за тыльной стороной СБ. Эта группа включает три параллельно соединенных между собой фотоэлемента, разнесенных по корпусу датчика в разных его местах и плоскостях. Первый элемент из этой группы расположен на лицевой стороне корпуса датчика под углом 60° относительно нормали плоскости входного окна, в глубине которого установлен фотоэлемент стоп-канала датчика ориентации.

Второй элемент этой группы расположен на боковой стороне корпуса датчика под углом 120° относительно оговоренной выше нормали входного окна. Третий элемент этой группы расположен на задней стороне корпуса датчика уже под углом 270° относительно той же нормали. Выбранное расположение фотоэлементов этой группы предусматривает появление директивного сигнала поворота системы налево при освещении датчика ориентации как сзади, так и с левой стороны, и даже спереди, если положение солнца несколько левее (более 7°) нормали входного окна стопорного канала.

Возможность возникновения ситуации, при которой освещение датчика лучами солнца сзади, обусловлена тем, что в конце светового дня вся система солнечных батарей и укрепленный на ней датчик будут ориентированы на запад, и такое положение у них будет продолжаться всю ночь. Утром следующего дня Солнце на востоке осветит заднюю сторону датчика, где и установлен третий фотоэлемент первой группы элементов датчика.

Вторая группа фотоэлементов (средняя справа на схеме) предназначена для выработки сигнала поворота системы на запад. Она включает два параллельно соединенных фотоэлемента, размещенных на правой стороне корпуса датчика ориентации. Первый из этой группы фотоэлементов расположен на лицевой стороне корпуса под углом 60° относительно упомянутой выше нормали входного окна корпуса датчика. Второй располагается на боковой стороне корпуса в непосредственной близости к первому, но под углом 120° относительно нормали плоскости входного окна. Необходимость в размещении третьего элемента (как это было сделано при создании первой группы элементов) в данном случае отсутствует, поскольку при освещении Солнцем системы солнечной батареи, ориентированной в предзакатное время на восток, переориентация ее не предполагается.

Третья группа фотоэлементов, представленная фактически одним элементом, (показанным на схеме снизу слева), предназначена для выработки сигнала остановки электродвигателя, когда нормаль плоскости движущейся системы солнечных батарей будет близка (около 7°) к направлению на Солнце. Этот фотоэлемент размещен в глубине корпуса датчика ориентации на тыльной стороне задней стенки напротив входного окна.

Блок управления. Принципиальная схема электронного блока автоматического управления системой слежения за Солнцем приведена на рис. 2.

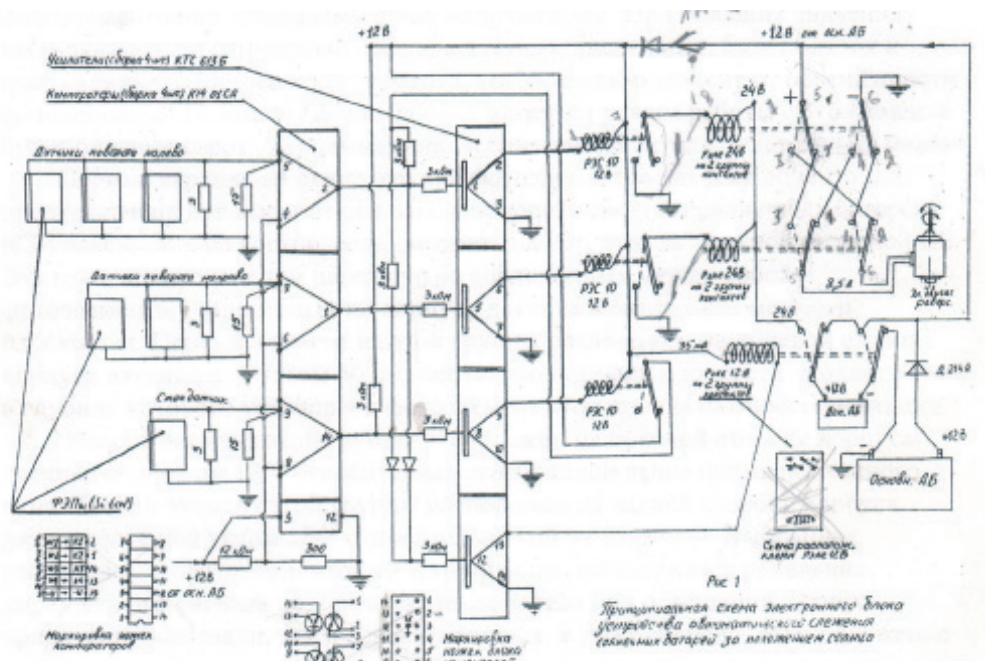


Рис. 2. Схема электронного блока автоматического управления системой слежения

Реле первого ряда (слаботочные) предназначены для управления сильноточными реле второго ряда, которые обеспечивают прохождение тока до 10А, необходимого для работы реверсивного электродвигателя, приводящего в движение поворотное устройство с укрепленными на нем солнечными батареями. Группа реле второго ряда предназначена также для изменения полярности подаваемого на реверсивный электродвигатель напряжения или для его остановки.

Блок выполнен на современной элементной базе, компактен и обеспечивает автоматизированное управление системой слежения, включая работу исполнительных механизмов.

Система двухкоординатного слежения с одним электродвигателем.

Система автоматического слежения по двум координатам с использованием одного электродвигателя представлена на рис... Установка содержит станину, поворотную раму, обладающую возможностью азимутального движения, приемную панель, соединенную в средней части шарнирно с поворотной рамой, электродвигатель и др.

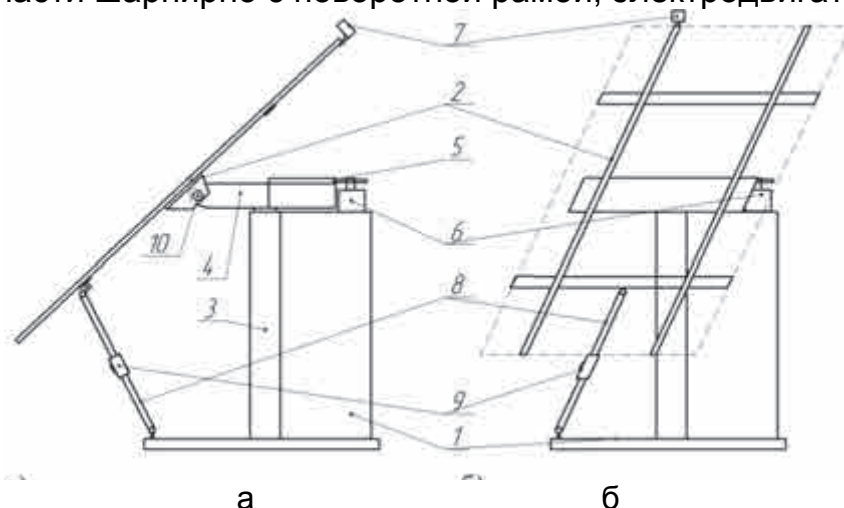


Рис. 3. Система слежения приемной панели за Солнцем:

- а – положение приемной панели при максимальном угле возвышения Солнца для данной местности; б – положение при некотором отклонении угла возвышения Солнца от максимума; 1 – станина; 2 – приемная панель; 3 – вертикальный вал; 4 – поворотная рама; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель; 7 – датчик положения Солнца (ДПС); 8 – стержень; 9 – регулятор длины стержня; 10 – шарнир

Результаты исследований и их обсуждение. Разработанный датчик положения Солнца и другие компоненты системы были испытаны как в лабораторных, так и в натурных условиях. В результате испытаний были подтверждены изначально запланированные параметры системы слежения. Было показано, что при различных положениях Солнца датчик работает следующим образом. В момент положения Солнца 1 относительно датчика обеспечивается засветка фотоэлемента 17, что соответствует требуемому положению панели установки перпендикулярно лучам солнечного излучения.

Сигнал с этого датчика поступает на блок управления. Когда Солнце находится в положении 2 относительно ДПС (рис.1) фотоэлементом 12 вырабатывается сигнал, который поступает на блок управления, который включает электродвигатель 6 (рис. 3), таким образом, чтобы поворотная панель установки совместно с ДПС поворачивалась влево (против часовой стрелки). Панель установки поворачивается совместно с ДПС до момента, когда Солнце засветит фотоэлемент 17, сигнал с которого обеспечивает выключение двигателя.

Если в период облачности панель находилась в тени, а после того, как облака рассеялись и Солнце оказалось в положении 3, засвеченный фотоэлемент 13 подает сигнал на блок управления, и панель установки поворачивается в том же направлении, что и от элемента 12, при повороте последовательно засвечиваются элементы 13 и 12, а при попадании солнечного излучения на ФЭП 17 сигнал с последнего останавливает двигатель.

Если ДПС развернут на Запад, что имеет место в конце светового дня, то на рассвете следующего дня засвечивается элемент 16, от которого соответствующий сигнал поступает на блок управления, включается двигатель и панель установки вместе с ДПС поворачивается по часовой стрелке, при этом последовательно засвечиваются элемент 15 и 14, а после попадания света на элемент 17 по сигналу от него двигатель останавливается. Таким образом, панель с ДПС будет вновь сориентирована перпендикулярно солнечным лучам и осуществляется переориентация панели установки с Запада на Восток. Работа системы слежения за Солнцем при его положении, соответствующем позициям 5 и 6 при положении Солнца 5 и 6 относительно ДПС, а, следовательно, и панели 2, осуществляется аналогично вышеописанному.

Концепция выбранной схемы блока управления заключается в том, что его работа осуществляется в соответствии с сигналами от трех групп ДПС, выполненных на основе кремниевых фотопреобразователей небольшой площади (рис.1). Одна группа элементов (17) сигнализирует о нормальном (в пределах до 7°) положении Солнца относительно освещаемой поверхности солнечных батарей. Другая группа элементов (12 и 13) сигнализирует о положении Солнца правее нормального, а третья, включающая элементы 14, 15 и 16, сигнализирует о положении Солнца левее нормального.

Как следует из анализа схемы, при засветке лучами Солнца какого-либо фотоэлемента ДПС сигнал от него поступает на вход компаратора. Если величина этого сигнала, определяемая уровнем освещенности фотоэлемента в данный момент времени, превышает величину заданного опорного напряжения для данного компаратора, то этот сигнал возрастает, проходя через него, и подается на вход транзисторного усилителя. Второй конец обмотки этого реле постоянно находится под номинальным напряжением +12В. Усилитель срабатывает как электрический ключ (открывается) и замыкает один конец обмотки реле первого ряда на землю.

Лабораторные исследования функционирования блока и его периферийных узлов показали, что энергопотребление схемы не превышает 10 мА при напряжении 12 В. Выработка электроэнергии солнечными панелями существенно зависит от ориентации принимающей поверхности на Солнце. По разным оценкам [2], она возрастает на 32% [1] или на 30% [4] при слежении по одной и на 40 % при слежении по двум осям. Установки двухкоординатного слежения обычно характеризуются наличием двух электродвигателей. Рис. 4 иллюстрирует механизм функционирования основных элементов системы.

Из рассмотрения рис. 3 и 4 легко понять принцип работы установки. При засветке лучами солнца элементов датчика солнечной ориентации, сигналы от него поступают на блок автоматического управления. После обработки сигнала, блок осуществляет управление реверсивным электродвигателем, обеспечивая подачу напряжения заданной полярности на электродвигатель. Через редуктор электродвигатель приводит в действие поворотную раму, жестко зафиксированную с вертикальным валом. В зависимости от полярности напряжения, происходит изменение положения поворотной рамы по азимуту влево или вправо относительно оси N . К раме с помощью шарниров прикреплена приемная панель, которая перемещается по азимуту совместно с рамой. В свою очередь, панель за счет шарниров может перемещаться относительно оси M , изменяя, таким образом, угол наклона относительно горизонта.

В процессе слежения при перемещении поворотной рамы по азимуту автоматически происходит поворот панели и по углу возвышения за счет изменения положения стержня, один конец которого связан шарнирно со станиной, а другой – шарнирно с приемной панелью (рис. 3, 4). Таким образом, происходит изменение положения приемной панели по углу возвышения относительно оси M и по азимуту относительно оси N .

Поворот приемной панели по азимуту осуществляется по радиусу r относительно оси N . Поворот по углу возвышения зависит от параметров r , l , a , H , R , где буквой l обозначается длина стержня. Прямая a лежит на плоскости панели и определяет расстояние от оси поворота M до крепления панели со стержнем. H – это высота, на которой относительно нижнего конца стержня располагается поворотная рама. Буквой R обозначено расстояние от места крепления стержня со станиной до оси вращения N . Параметры установки рассчитаны таким образом, что при повороте рамы по азимуту обеспечивается необходимый поворот приемной панели по углу возвышения. Оптимально подобранные параметры обеспечивают необходимую точность слежения приемной панели установки.

Размеры элементов (r , l , a , H , R) рассчитываются индивидуально для каждой широты, где предполагается использование системы (согласно расчетным зависимостям угла возвышения Солнца над горизонтом на заданной широте) в течение светового дня. Корректировка по зенитальному параметру положения приемной панели для различных дат года обеспечивается изменением длины стержня с помощью регулирующего узла.

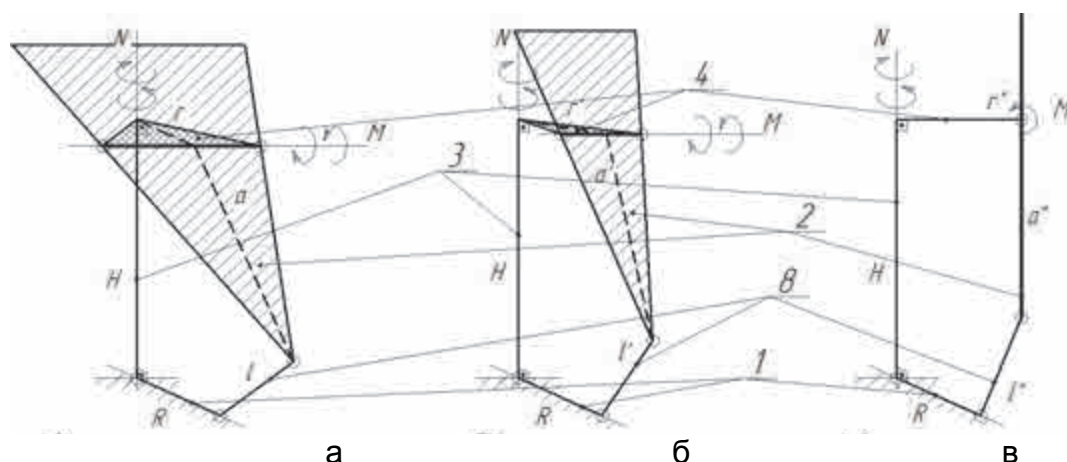


Рис. 4. Механизм функционирования основных элементов системы:

а – вид, когда наблюдается максимальный угол возвышения Солнца для данной местности; *б* – вид при некотором отклонении угла возвышения Солнца от максимума; *в* – вид при восходе Солнца

Положения приемной панели и поворотной рамы установки автоматического слежения за положением Солнца в различные периоды работы системы показаны на рис. 5.

Приемная панель установки приспособлена для размещения гелиоколлекторов, фотоэлектрических тепловых модулей (PV Thermal modules), фотоэлектрических батарей.

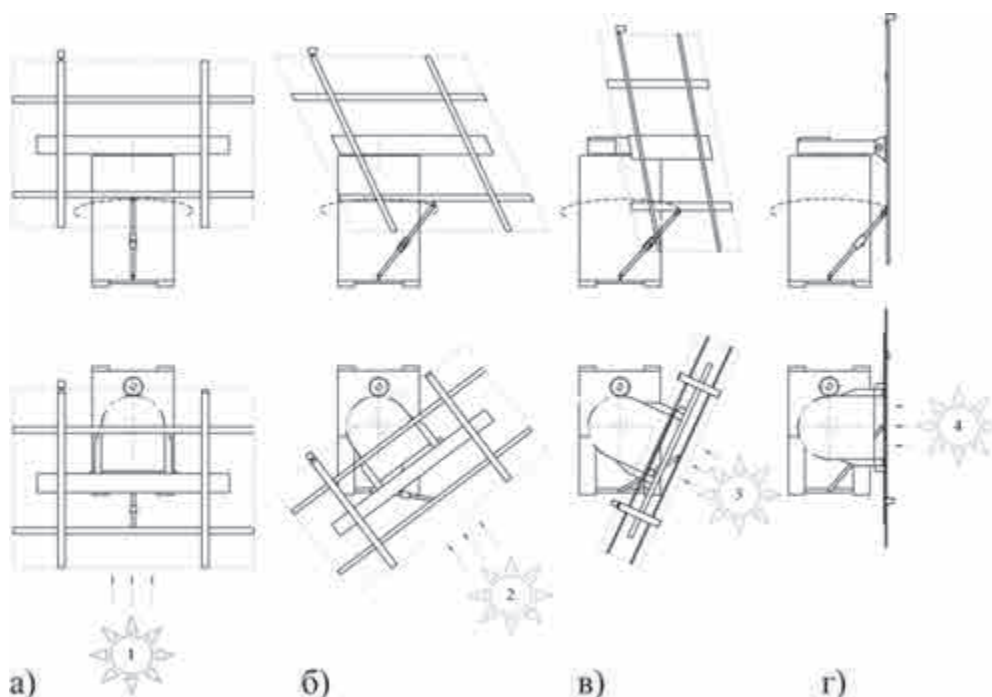


Рис. 5. Различные варианты положения приемной панели установки (вид спереди и сверху):

а – при максимальном угле возвышения Солнца; *б, в* – при некотором отклонении Солнца от максимума; *г* – при восходе Солнца

Был создан макет установки с разработанной системой слежения. На макете могут быть размещены ФЭМ с пиковой мощностью до 500 Вт. Слежение за положением Солнца установка осуществляет от двигателя мощностью 120 Вт. Блок автоматического управления (рис. 2) и датчик положения Солнца (рис. 1) были разработаны таким образом, чтобы установка осуществляла перемещение приемной панели вместе с установленными приборами один раз в час. При этом изменение положения приемной панели на 15° обеспечивается работой двигателя в течение 3 с.

Оценка дневного потребления электроэнергии двигателем для случая весеннего равноденствия показывает, что потребляемая мощность двигателя с учетом пусковых токов составляет 480 Вт. При разовом перемещении приемной панели за 3 сек в течение дня двигатель в общем проработает 36 сек и потребит 4,8 Вт·ч электроэнергии. При возврате приемной панели потребление составит около 1,5 Вт·ч. Суточное потребление электроэнергии на собственные нужды блоком автоматического управления составляет не более 4 Вт·ч. Т.е. суммарное потребление электроэнергии установкой 10,3 Вт·ч. Выработка ФЭМ 500 Вт даже в облачный день обычно составляет не менее 1000 Вт·ч, т.е. в этом случае электропотребление установки слежения на собственные нужды составит порядка 1 % от выработки. На основе приведенных результатов была разработана специальная конструкция системы, пригодная для эксплуатации в различных условиях [5]. Разработанная система может успешно применяться в солнечных станциях различной мощности и особенно эффективна будет при использовании на СЭС в составе микросетей, работающих на удаленных территориях [6].

Выводы и перспективы. По результатам испытаний разработанной системы слежения солнечных панелей за Солнцем можно сделать вывод, что предлагаемая система слежения представляется перспективной для практического использования.

Особенный интерес разработанная система представляет для установки на СЭС, работающих в составе микросетей на основе ВИЭ на удаленных территориях.

Список литературы

1. Никитин Б. А. К вопросу повышения суточной эффективности фотопреобразователей в наземных условиях путем выбора оптимальных вариантов коррекции их ориентации относительно Солнца / Б. А. Никитин // Автономная энергетика. НПП «Квант». – 2007. – № 23. – С. 8–20.
2. Влияние ориентации лучевоспринимающей поверхности на эффективность солнечных модулей / В. В. Харченко, Б. А. Никитин, В. А. Майоров [и др.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2015. – Вип. 224. – С. 20–25.
3. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии (Теория и практика использования солнечной энергии) : монография / В. Поулук, М. Либра, Д. Стребков, В. Харченко. – Москва-Прага, 2013. С. 175–186.

4. Системы слежения за Солнцем с применением ФЭД / А. В. Охорзина, М. В. Китаева, А. В. Юрченко, А. В. Скороходов // Ползуновский вестник. № 2, вып. 1. – 2012. – С. 213–217.

5. Патент РФ № 2482401 РФ МКП F24J 2/54. Установка автоматического слежения приемной панели за Солнцем. Никитин Б. А., Харченко В. В., Тихонов П. В., Тихонов А. В. Всероссийский науч. исслед. институт электрификации сельского хозяйства. – № 2011121234/06 ; заявл. 26.05.11 ; опубл. ; 20.05.13, Бюл. № 14. – 9 с.

6. Adomavicius V., Kharchenko V., Valickas J., Gusarov, V. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture, Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic, p. 51–55.

References

1. Nikitin, B. A. (2007). K voprosu povysheniya sutochnoy effektivnosti fotopreobrazovateley v nazemnykh usloviyakh putem vybora optimal'nykh variantov korrektsii ikh oriyentatsii otnositel'no Solntsa [To the question of increasing the daily efficiency of photoconverters in terrestrial conditions by choosing the optimal options for correcting their orientation relative to the Sun]. Avtonomnaya energetika. NPP «Kvant», 23, 8–20.

2. Kharchenko, V. V., Nikitin, B. A., Mayorov [et al]. (2015). Vliyaniye oriyentatsii luchevosprinyimayushchey poverkhnosti na effektivnost' solnechnykh moduley [Influence of the orientation of the radiation-receiving surface on the efficiency of solar modules]. Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukrainy, 224, 20–25.

3. Poulek, V., Libra, M., Strebkov, D., Kharchenko, V. (2013). Fotoelektricheskoye preobrazovaniye solnechnoy energii (Teoriya i praktika ispol'zovaniya solnechnoy energii) [Photoelectric conversion of solar energy (Theory and practice of using solar energy)]. Moskva-Praga, 175–186.

4. Okhorzina, A.V., Kitayeva, M.V., Yurchenko, A.V., Skorokhodov, A.V. (2012). Sistemy slezheniya za Solntsem s primeneniym FED [Systems for tracking the Sun using FED]. Polzunovskiy vestnik, 2, Vyp. 1, 213–217.

5. Patent RF № 2482401 RF МКП F24J 2/54. Ustanovka avtomaticheskogo slezheniya priyemnoy paneli za Solntsem [Setting automatic tracking of the receiving panel behind the Sun]. Nikitin, B. A., Kharchenko, V. V., Tikhonov, P. V., Tikhonov, A. V. Vserossiyskiy nauch. issled. institut elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. – № 2011121234/06; zayavl. 26.05.11; opubl. 20.05.13, Byul. №14, 9.

6. Adomavicius, V., Kharchenko, V., Valickas, J., Gusarov, V. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture, Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic, 51–55.

СИСТЕМА СТЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

**В. В. Харченко,
Б. А. Нікітін,
П. В. Тихонов,
Г. Н. Узаков**

Анотація. Застосування систем точного стеження за Сонцем у фотоелектричних системах забезпечує значне підвищення загального виробітку енергетичних сонячних систем. Відоме значне число розроблених та реалізованих на практиці систем стеження за Сонцем. У цій статті наводиться опис нової конструкції системи стеження, використання якої в ряді випадків краще, порівняно з відомими пристроями.

Ключові слова: фотоелектричні системи, стеження за Сонцем, датчики стеження

SYSTEM OF TRACKING FOR THE POSITION OF THE SUN

V. V. Kharchenko,
B. A. Nikitin,
P. V. Tikhonov,
G. N. Uzakov

Abstract. The use of precision solar tracking systems in photovoltaic systems provides a significant increase in the overall production of solar energy. A significant number of solar tracking systems developed and implemented in practice are known. In the present article, a new description of the tracking system is described, the use of which in some cases is preferable to the known devices.

Keywords: photovoltaic systems, tracking the sun, tracking sensors