

Міністерство аграрної політики  
та продовольства України



ПРАЦІ  
Таврійського державного  
агротехнологічного університету

Випуск 13 Том 2

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2013 р.

**УДК 621.311:631**

**ПЗ.8**

Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип. 13. Т.2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 204 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
протокол № 9 від 26 березня 2013 р.

У випуску наукових праць друкуються матеріали учасників щорічної науково-технічної конференції, співробітників та аспірантів Таврійського державного агротехнологічного університету. Представлено результати досліджень у галузі енергетики, електротехнології та автоматизації процесів сільськогосподарського виробництва.

Випуск призначений для науковців, інженерів, аспірантів, магістрів і студентів технічних та сільськогосподарських спеціальностей.

Редакційна колегія праць ТДАТУ:

Кюрчев В.М. – к.т.н., професор, ректор ТДАТУ (головний редактор);  
Надикто В.Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., професор (заст. головного редактора);  
Діордієв В.Т. – к.т.н., професор, (відповідальний секретар);  
Дідур В.А. – д.т.н., професор;  
Кушнар'єв А.С. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., професор;  
Найдиш А.В. – д.т.н., професор;  
Никифорова Л.Є. – д.т.н., професор;  
Овчаров В.В. – д.т.н., професор;  
Панченко А.І. – д.т.н., професор;  
Рогач Ю.П. – к.т.н., професор;  
Скляр О.Г. – к.т.н., доцент;  
Тарасенко В.В. – д.т.н., професор;  
Шацький В.В. – д.т.н., с.н.с.;  
Ялпачик Ф.Ю. – к.т.н., професор.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Овчаров В.В.  
(кафедра «Теоретична і загальна електротехніка»)

Адреса редакції: ТДАТУ  
Просп. Б. Хмельницького 18,  
м. Мелітополь, Запорізька обл.,  
72312 Україна

ISSN 2078-0877

**© Таврійський державний  
агротехнологічний університет, 2013.**

УДК 621.365

## **ЕЛЕКТРИЧНИЙ КОТЕЛ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ НАГРІВАЧЕМ**

Овчаров В.В., д.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена розробці електричного котла з низькотемпературним нагрівачем, який призначено для нагрівання води.

**Ключові слова** – електричний котел, низькотемпературний нагрівач, теплова дія струму, потужність, нагрівання води.

*Постановка проблеми.* Опалення та гаряче водопостачання індивідуальних будинків в Україні були та залишаються об'єктом постійного вдосконалення, головна мета якого полягає у зменшенні металоемності, габаритів та вартості систем опалення та гарячого водопостачання, а також у підвищенні їх надійності та енергоефективності.

Одним з джерел енергії для системи гарячого водопостачання індивідуального будинку є електрична енергія. Головним елементом системи гарячого водопостачання індивідуального будинку із використанням електричної енергії є електричний котел [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Електричні котли за принципом дії розподіляються на такі групи: прямої дії, не прямої дії, індукційні та вихрові генератори. Електричні котли прямої дії мають багато недоліків, головні серед яких наступні: у процесі роботи знижується коефіцієнт корисної дії, утворюється накип, виникають значні струми витокку, перегоряють електроди. Електричні котли не прямої дії мають менше недоліків, головні серед яких такі: у процесі роботи перегоряє нагрівний елемент, утворюється накип, у разі сухого ходу призводять до виникнення пожеги. Індукційні котли теж мають певні недоліки – це великі габарити та вартість, важко відчищаються від накипу, який утворюється у процесі роботи. Вихрові генератори теж не позбавлені недоліків: великі габарити та вартість, шум при роботі, неможливість регулювання потужності [1 – 3].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи була розробка електричного котла для опалення та гарячого водопостачання з низькотемпературним нагрівачем, який на відміну від наведених вище електричних котлів перетворює електричну енергію в

низькотемпературну теплову енергію, що дозволяє знизити вартість електричного котла та збільшити його строк експлуатації при незмінних теплових показниках [2].

У відповідності до цього було поставлено наступні задачі: розробити конструкцію електричного котла; розробити низькотемпературний електричний нагрівач; визначити максимальну потужність, яка виділяється в обмотці низькотемпературного електричного нагрівача.

*Основна частина.* На кафедрі теоретичної і загальної електротехніки ТДАТУ розроблено електричний котел з низькотемпературним нагрівачем, загальний вигляд якого наведено на рис.1.

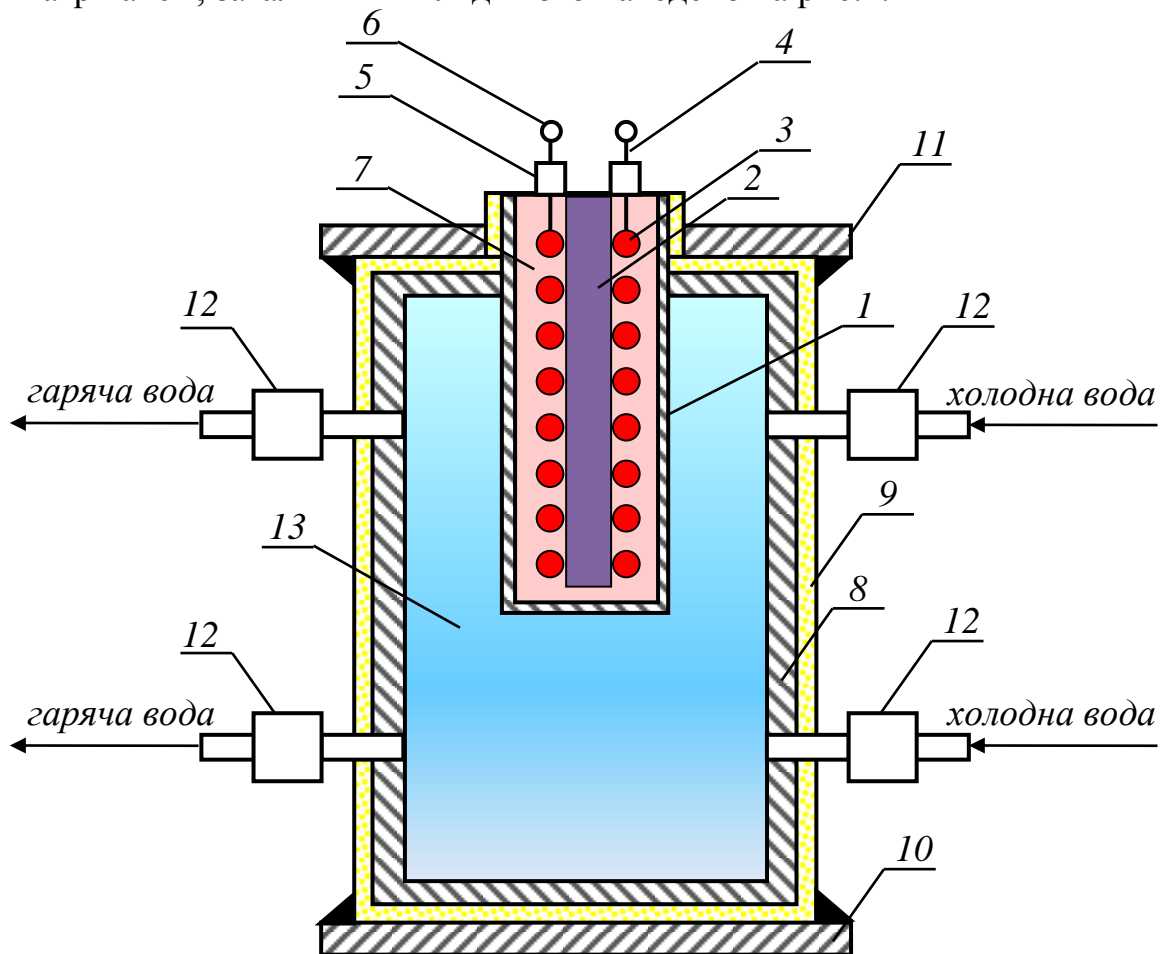


Рис. 1. Загальний вигляд електричного котла з низькотемпературним нагрівачем.

На рис.1 наведено наступні позначення: 1 – корпус електронагрівача; 2 – ізоляційне осердя електронагрівача; 3 – обмотка електронагрівача; 4 – живлячий провід електронагрівача; 5 – ввід; 6 – затискач для підключення електронагрівача; 7 – ізоляційне теплопередавальне середовище; 8 – бак електричного котла; 9 – теплоізоляція; 10 – верхній фланець; 11 – нижній фланець; 12 – кульові крани з патрубками; 13 – вода на нагріві.

Принцип дії електричного котла, приведеного на рис.1, побудований на явище теплової дії електричного струму. До обмотки нагрівального елемента 2, яка встановлена на ізоляційному осерді 3, за допомогою живлячих проводів 4 через вводи 5 підводиться змінна синусоїдна напруга, внаслідок чого в обмотці протікає змінний синусоїдний струм. При протіканні струму в обмотці спостерігається теплова дія електричного струму, внаслідок чого обмотка нагрівається та передає теплову енергію до ізоляційного теплопередавального середовища 7, яке нагрівається та через стінки корпусу 1 електронагрівача передає теплову енергію воді 13. Вода на нагрів поступає до баку 8 електричного котла через кульові крани з патрубками 12. Після нагріву вода знов потрапляє у систему через кульові крани з патрубками 12. Бак електричного котла встановлюється за допомогою верхнього і нижнього фланців 10, 11 та вкривається шаром теплоізоляції 9.

Використовувати вказаний електричний котел пропонується у системах гарячого водопостачання та опалення індивідуальних житлових будинків та виробничих приміщень.

Нагрівальний елемент котла розташовується на дерев'яному осерді та розміщується у сталевій бочці зі з'ємним верхнім дном, об'єм якої залежить від потужності нагрівача. Нагрівальний елемент виготовляється зі сталевий катанки діаметром 3 мм.

Ізоляційне осердя нагрівача виготовляється з дерев'яного бруса. Осердя має чотири стрижні, скріплені зверху та знизу хрестовинами. Розміри осердя залежать від потужності нагрівача. Обмотка нагрівача укладається у пази глибиною 5 мм та висотою 4 мм, кількість яких залежить від потужності нагрівача.

Потужність нагрівача визначається, головним чином, потужністю обмотки нагрівального елемента. Розрахунковий опір нагрівального елемента за температури 20°C визначається формулою [4]:

$$R_{20} = \rho_{20} \frac{l}{S}, \quad (1)$$

де  $R_{20}$  – розрахунковий опір обмотки нагрівального елемента за температури 20°C, Ом;

$\rho_{20}$  – питомий опір сталі за температури 20°C, Ом;

$l$  – розрахункова довжина обмотки нагрівального елемента, м;

$S$  – площа поперечного перерізу обмотки нагрівального елемента, мм<sup>2</sup>.

Один виток обмотки нагрівального елемента буде являти собою прямокутник, який складається із чотирьох прямокутних трикутників з однаковими катетами. Гіпотенузи цих трикутників є сторонами прямокутника витка обмотки. З урахуванням довжини внутрішніх підк-

лючень максимально можлива розрахункова довжина обмотки нагрівального елемента буде дорівнювати 72 м.

Питомий опір сталі за температури 20°C дорівнює 0,139 Ом·мм<sup>2</sup>/м [4], а площа поперечного перерізу дорівнює 7,07 мм<sup>2</sup>. Тому розрахунковий опір сталі при температурі 20°C становить:

$$R_{20} = 0,139 \frac{72}{7,07} = 1,42 \text{ Ом.}$$

У свою чергу, розрахунковий опір сталі при температурі 100°C (тобто в номінальному режимі роботи котла) визначається формулою [4]:

$$R_{100} = R_{20}(1 + \alpha \cdot 80), \quad (2)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору сталі, 1/°C.

Для сталі  $\alpha = 0,006$  1/°C [4], тому розрахунковий опір сталі при температурі 100°C (тобто в номінальному режимі роботи котла) дорівнює:

$$R_{100} = 1,42 \cdot (1 + 0,006 \cdot 80) \approx 2,1 \text{ Ом.}$$

Розрахункове діюче значення сили струму  $I_H$  обмотки нагрівального елемента в номінальному режимі роботи котла при напрузі живлення  $U_H = 220$  В дорівнює [4]:

$$I_H = \frac{U_H}{R_{100}}; \quad (3)$$

$$I_H = \frac{220}{2,1} = 104,8 \text{ А.}$$

Тому з'єднання нагрівального з живлячими проводами здійснюється за допомогою введів низької напруги ВСТ-1/250 (або введів ВСТ 0,5/100 для нагрівального елемента меншої потужності).

Розрахункова потужність нагрівального елемента в номінальному режимі роботи котла дорівнює [4]:

$$P_H = R_{100} \cdot I_H^2; \quad (4)$$

$$P_H = 2,1 \cdot (104,8)^2 \approx 23064 \text{ Вт} \approx 23 \text{ кВт.}$$

Ізоляційним теплопередавальним середовищем є трансформаторна олія. Баком котла є сталева бочка зі з'ємним верхнім дном, об'єм якої залежить від потужності котла. Приєднання корпусу нагрівача до баку виконується за допомогою зварного з'єднання. Для теплової ізоляції котла використано мати з мінеральної вати ALFAROCK, які вкриті підсиленою алюмінієвою плівкою, що приклеєна до слою мінеральної вати. Максимально можливий об'єм води, що підігрівається у котлі, становить 0,16 м<sup>3</sup>.

**Висновок.** В результаті досліджень розроблена конструкція електричного котла з низькотемпературним водонагрівачем потужністю

23 кВт, який на відміну від звичайних електричних котлів перетворює електричну енергію в низькотемпературну теплову енергію, що дозволяє знизити вартість електричного котла та збільшити його строк експлуатації при незмінних теплових показниках.

#### Література

1. Корчемний М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. Низкотемпературный электронагрев / [А.П. Альтгаузен, М.Б. Гутман, С.А. Малышев и др.] // Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергия 1978. – 207 с.
3. Свистунов В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства / В.М. Свистунов, Н.К. Пушняк. – М.: Политехника, 2001. – 214 с.
4. Багаев А.А. Электртехнология / А.А. Багаев, А.И. Багаев, Л.В. Куликова. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 320 с.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОТЁЛ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ

Овчаров В.В., Вовк А.Ю.

#### *Аннотация*

Работа посвящена разработке электрического котла с низкотемпературным нагревателем, который предназначен для нагрева воды.

## ELECTRIC COPPER WITH THE LOW-TEMPERATURE HEATER

V. Ovcharov, O. Vovk

#### *Summary*

Work is devoted to development of an electric copper with the low-temperature heater which is intended for water heating.

УДК 621.316

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ І МІКРОСТРУКТУРИ ВІДНОВЛЕНИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КОМУТАЦІЇ СТРУМУ

Радько І.П., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (044) 527-85-22

**Анотація** – робота присвячена дослідженню морфології та мікроструктури відновлених робочих поверхонь контактних матеріалів при комутації струму.

**Ключові слова** – напилення, плазмотрон, електричний апарат, пускач, вимикач, контактор, контакт-деталь.

*Об'єкт досліджень* – контакти комутаційних апаратів, які відновлені методом газоплазмового напилення, що експлуатуються в електроустановках тваринницьких ферм і комплексів.

*Мета роботи* – розробити наукові принципи відновлення робочої поверхні контактів методом газоплазмового напилення з використанням композиційних контактних матеріалів, які дозволяють продовжити тривалість роботи апарату в цілому й підвищити економічну ефективність його використання. Дослідити морфологію при комутації постійного струму та мікроструктуру контактів.

*Методи досліджень*. У процесі проведення досліджень використовувалися різні технологічні процеси напилення, металографічні та рентгеноспектральні аналізи робочого шару напилення. Проведено аналіз просторово-часової структури розвитку теплових і динамічних процесів, що супроводжують удар, розтікання і кристалізацію напилених частинок при формуванні покриттів.

Досліджено процес взаємодії частки з напиленою поверхнею, який можна представити фазами: утворення фізичного контакту, активації контактних поверхонь з утворенням хімічних міжатомних зв'язків на межі розподілу, розвитку об'ємної взаємодії матеріалів. Встановлено, що якість та формування газоплазмового покриття обумовлюється міцністю зчеплення покриття з основою, коефіцієнтом використання порошку та пористістю покриття.

Експериментально досліджено електроерозійну стійкість відновлених контакт-деталей магнітних пускачів серії ПМЛ -3100 04А і



ПМЛ -4100 04А. Проведено металографічний та рентгеноструктурний аналіз відновлених робочих поверхонь після випробування їх на електроерозійну стійкість.

Металографічний та рентгеноспектральний аналіз дослідження морфології робочих поверхонь та їх мікроструктури дозволив виявити закономірність впливу енергії дуги на розподіл фаз складових в поверхневих шарах контакт-деталей.

На графічній залежності (рис.1) зміни масопереносу від сили комутуючого струму можна виділити три зони: доінверсійна, інверсійна та позаінверсійна.

Перша зона – до інверсійна, для дослідного контактного матеріалу № 1 знаходиться в межах струму 1-5А. При струмах 1-3А на катоді формуються кратери з оплавленими межами, також поверхня катоду покрита сконденсованими краплями срібла (рис. 3, а). Анод при цьому вкривається частинками перенесеного з катоду срібла в вигляді пласти (рис. 3, б). Характерним є локальне поверхнєве нагрівання контакт-деталей.

Наявність в матеріалі оксиду ітрію  $Y_2O_3$  полегшує виникнення емісійних центрів на межі метал-діелектрик, які є центрами пароутворення (рис. 3, б). Особливо це проявляється при струмах 4-5 А. Маса аноду при цьому струмі трохи зменшується, хоч його поверхня збагачується сріблом з катоду, котрий осідає на ній, формуючи гладку поверхню, на якій формуються оплавлені ділянки (рис. 3, г).

Друга зона - інверсійна - знаходиться в межах струму 5-7 А (рис. 1) і характеризується мінімальним ерозійним зношуванням контакт-деталей. Електрична ерозія іде одночасно з двох контакт-деталей. До точки інверсії – 6,3А (рис. 1) направлений масоперенос переважає на катоді, після точки інверсії – на аноді. Поверхня катоду характеризується численними дрібними кратерами-слідами центрів пароутворення під поверхнею, величина яких зростає із збільшенням струму. Поверхня катоду починає оплавлятися внаслідок сумарного нагрівання, як з поверхні, так і шляхом передачі тепла з глибинних шарів (рис. 3, д). Мікрорельєф аноду згладжується, хоч кількість ділянок вкритих частинками срібла, які осіли, значно збільшується, на поверхні також спостерігаються кратери, з яких випаровується срібло (рис. 3, е). За даними мікроаналізу на катоді та аноді присутні лінії всіх елементів композиційного матеріалу: срібла, цирконію, оксиду ітрію (рис. 4).

Третя зона – поза інверсійна, знаходиться в межах 7-10 А (рис. 1) та характеризується інтенсивністю ерозійних процесів і горизонтальним градієнтом температур на робочій поверхні. Процеси масопереносу посилюються порівняно з першими двома зонами.

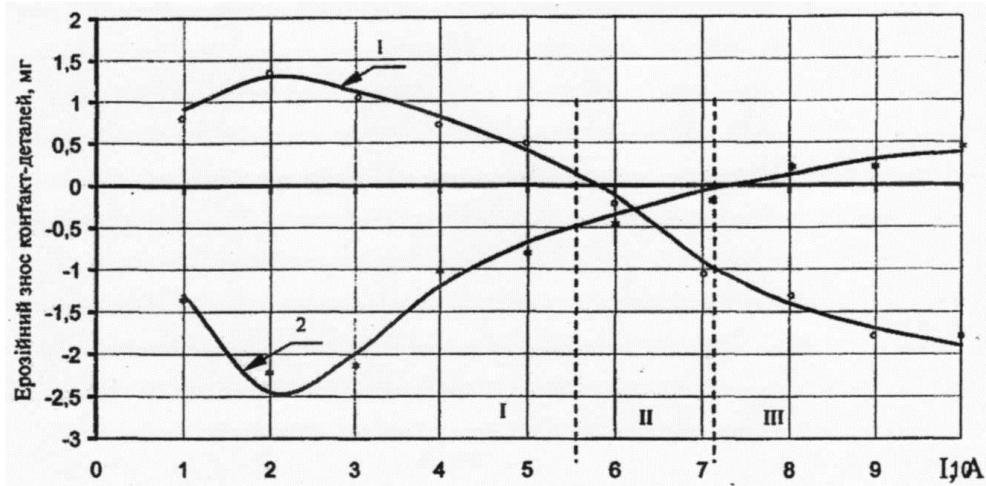


Рис. 1. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму ( $n = 5 \times 10^4$  циклів комутації). Матеріал 95% Ag+4% Zr+1% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 1 – анод; 2 – катод.

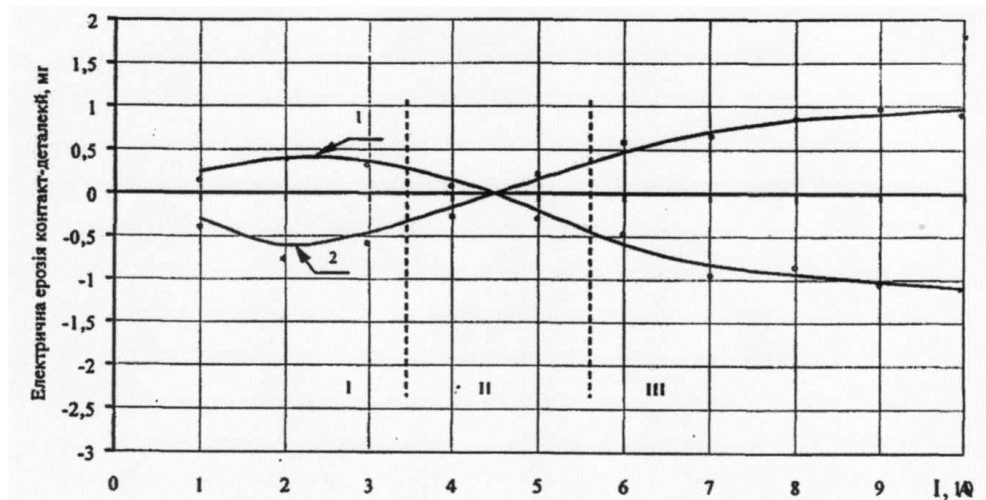


Рис. 2. Залежність електричної ерозії дослідних зразків контакт-деталей реле від величини струму ( $n = 5 \times 10^4$  циклів комутації). Матеріал 92,8% Ag+3,5% Zr+2% C+1% CaO+0,7% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 1 – анод; 2 – катод.

Переважає анодна дуга і на катоді утворюється виступ матеріалу внаслідок масопереносу з аноду на катод. Мікроструктура поперечного перерізу виступу кратеру на аноді (рис. 5, а), дозволила визначити характер масопереносу на робочу поверхню катоду.

В початковий період комутації на поверхню катоду переноситься срібло, що призводить до збагачення поверхні аноду введеними домішками.

Із збільшенням кількості комутацій, поверхня аноду збагачується оксидом ітрію та цирконію, які переносяться на катод і розташовуються паралельно його робочій поверхні у вигляді темних включень (рис 5, б).

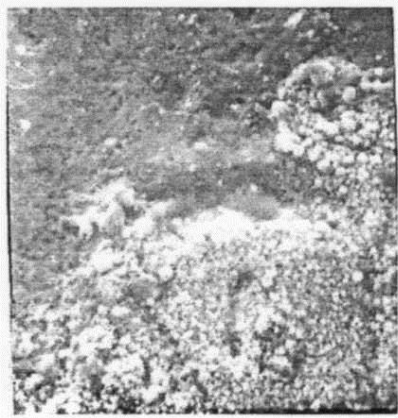
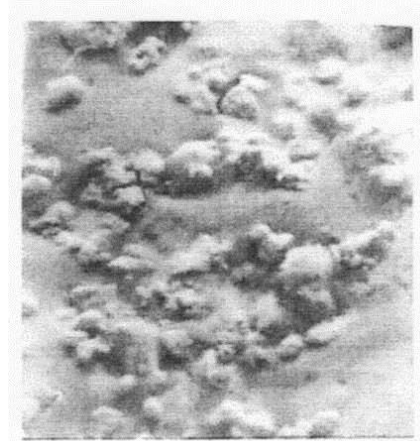
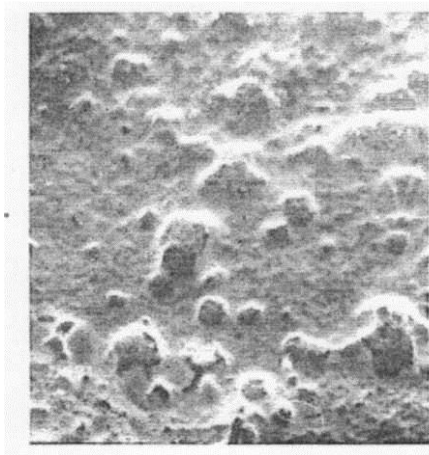
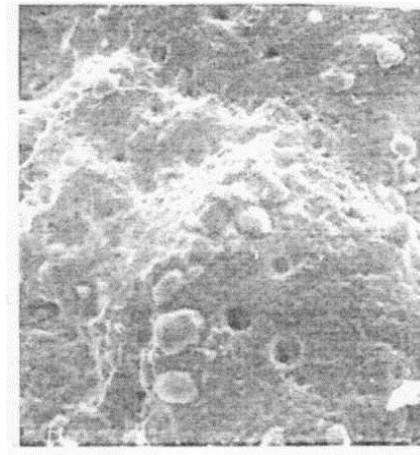
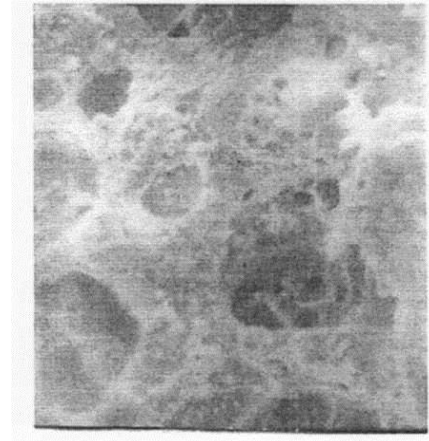
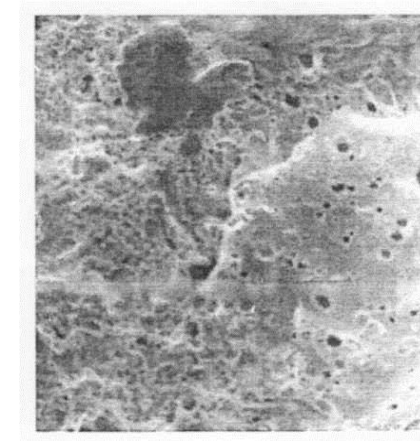
а)  
×4000б)  
×800в)  
×900г)  
×600д)  
×1000е)  
×10000

Рис. 3. Мікроструктура робочих поверхонь контакт-деталей дослідного композиційного контактного матеріалу  $95\% \text{Ag} + 4\text{мас}\% \text{Zr} + 1\text{мас}\% \text{Y}_2\text{O}_3$  при  $5 \times 10^4$  циклів комутацій та навантаженні 10 А постійного струму.

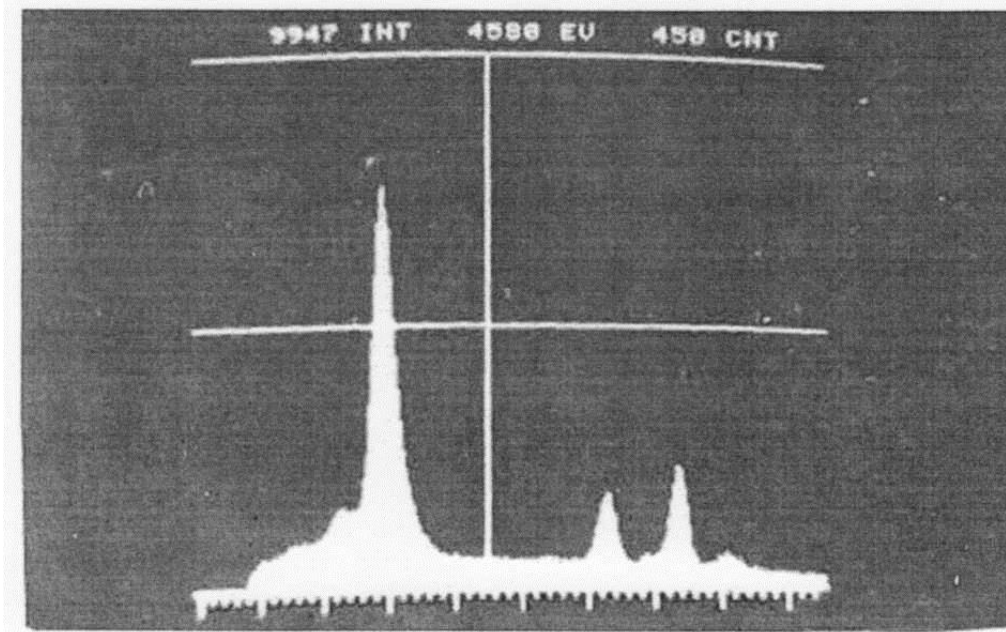
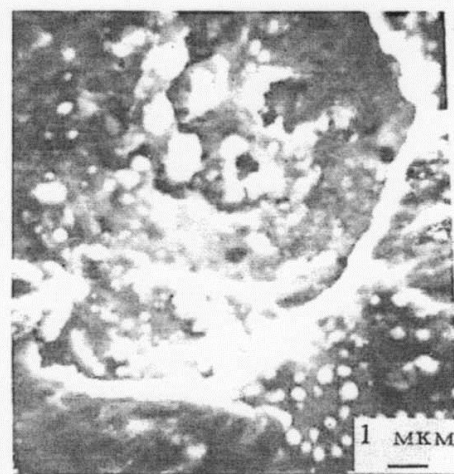


Рис. 4. Енергетичний спектр рентгенівського випромінювання робочої поверхні контакт-деталі, при комутації струму 10 А, кількості циклів комутацій  $n = 5 \times 10^4$ .

а)  
×3700



б)  
×1300

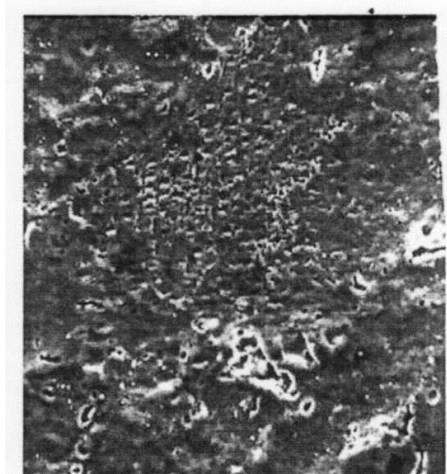


Рис 5 Мікроструктура поверхневого шару контакт деталей при комутації струму 10 А, Матеріал контакт-деталей: 92,8мас% Ag+3,5мас% Zr+2мас% C+1мас% CaO+ +0,7мас%  $U_2O_3$  (кількість циклів комутацій  $n = 5 \times 10^4$ ): а) анод; б) катод.

Дослідження морфології робочих поверхонь більш складного за кількістю інгредієнтів дослідного композиційного контактного матеріалу №2 наступного складу: 92,8мас%Ag+3,5мас%Zr+2мас%С+1мас%СаО+0,7мас%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, виявили специфічні особливості процесу електричної ерозії.

Специфічною особливістю даного матеріалу є утворення нової точки інверсії при струмовому навантаженні 4,5 А, а також підвищення електроерозійної стійкості в цілому порівняно з дослідним матеріалом №1 (рис. 1) та дослідним №2 (рис. 2).

Так в доінверсійній зоні при струмовому навантаженні 2 А, електроерозійна стійкість в 4 рази вища порівняно з дослідним матеріалом №1 і в 2 рази при струмі 10 А (рис. 1 та рис. 2). Це досягається за рахунок введення в композиційний матеріал додаткового комплексу добавок, якими є 2мас% С (графіт) та 1мас% СаО (оксид кальцію). Внаслідок цього відбувається поетапний масоперенос інгредієнтів, які послідовно приймають участь в ерозійних процесах за порядком зростання температури плавлення та зниження теплопровідності.

Якщо для першої зони дуга складається переважно із парів срібла, то в другій зоні в дузі одночасно утримуються пари срібла і легуючих домішок, а для третьої зони типовими є переважна наявність в дузі парів срібла або парів легуючих домішок. Внаслідок цього відбувається поетапний масоперенос інгредієнтів, які послідовно приймають участь в ерозійних процесах за порядком зростання температури плавлення та зниження теплопровідності.

*Висновки.* Проведені теоретичні та експериментальні дослідження відновлення контактних вузлів дозволяють зробити такі основні висновки:

1. Отримані локальні покриття з різноманітних типів контактних матеріалів, які характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю методом газоплазмового напилення.

2. Визначена структурна схема керування кінетикою утворення фізико-механічних властивостей, відновлення зношених поверхонь контакт-деталей електричних апаратів. Частинки матеріалу розподіляються по діаметру круга, а товщина покриття визначається згідно розподілу Гауса.

3. Встановлені функціональні залежності впливу сили струму, характеру навантаження, параметрів навколишнього середовища, фізико-механічних властивостей матеріалу (температура плавлення,

твердість і тлі.) на процеси руйнування робочих поверхонь контактів та показники надійності контактування.

Література.

1. Антошин Е.В. Нанесение металлических и неметаллических покрытий посредством газопламенного напыления. / Е.В. Антошин. – М.:, 1965. – 72 с.
2. Кулик А.Я. Газотермическое напыление композиционных порошков. / А.Я.Кулик. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
3. Намитоков К.К. Испытание аппаратов низкого напряжения. / К.К. Намитоков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
4. Тушинский Л.И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск, 1986. – 196 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И МИКРОСТРУКТУРЫ ВОССТАНОВЛЕННЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМУТАЦИИ ТОКА**

Радько И.П.

### *Аннотация*

Работа посвящена исследованию морфологии и микроструктуры восстановленных рабочих поверхностей контактных материалов при коммутации тока.

## **STUDY OF THE MORPHOLOGY AND REDUCED MIKROSTUKTURU SURFACE CONTACT MATERIALS FOR CURRENT COMMUTATION**

I. Radko

### *Summary*

The work is devoted to the study of the morphology and microstructure of reduced working surfaces should contact the material in the switching current.

УДК 621.316

## О ПРИРОДЕ И МЕХАНИЗМЕ ДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Червинский Л.С., д.т.н.

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*  
Тел. (044) 527-85-22

**Аннотация** – на основе законов электродинамики проанализированы первичные механизмы действия энергии электромагнитного излучения на биологические объекты.

**Ключевые слова** – энергия, электромагнитное излучение, биологические структуры, механизм действия.

*Постановка проблемы.* В современном технотронном развитии человеческого общества все большее влияние оказывают на жизнь биологических организмов различные электромагнитные излучения. Понимание их природы и механизмов воздействия есть актуальной задачей.

*Формулирование целей статьи (постановка задачи).* Используя законы классической электродинамики изучить первичные механизмы взаимодействия электромагнитного излучения со структурами биологических объектов. Методика и материалы исследования изложены на основе использования положений системного анализа и современных знаний об электромагнитном излучении.

*Основная часть.* Согласно теории Максвелла изменения в материальной среде пространственной конфигурации электрического поля порождаются изменением во времени магнитного поля. Изменения же в среде пространственной конфигурации магнитного поля порождаются как изменением во времени электрического поля (токами смещения), так и обычным током проводимости. Источниками в материальной среде электрического поля являются электрические заряды (согласно закону Кулона), а вот источников магнитного поля (магнитных зарядов, или, как их еще называют, магнитных монополей) в природе еще не обнаружено. Общее электромагнитное поле порождается движущимися электрическими зарядами, но если просто движущийся с постоянной скоростью электрический заряд порождает стационарное магнитное поле, то заряд, движущийся с ускорением, и, в частности, колеблющийся в пространстве заряд (при колебаниях за-

ряд постоянно то разгоняется, то тормозит и меняет направление своего движения на противоположное), порождает переменное электромагнитное поле.

В этом переменном поле отдельно его электрическая и магнитная составляющие как бы постоянно порождают друг друга в пространстве, поэтому поле может распространяться на большие расстояния от места расположения источника. При очень малых ускорениях и медленных колебаниях зарядов поле в пространстве практически неотличимо от соответствующих стационарных электростатического и магнитостатического полей. Если же ускорение зарядов резко возрастает, это приводит к резким «всплескам» электромагнитного поля в пространстве около заряда. Поскольку при изменении электрической и магнитной составляющих поля они взаимно снова порождают друг друга то, на расстоянии чуть дальше от источника, весь «всплеск» или импульс поля плавно перемещается в пространстве как единое целое. Так порождается и распространяется в пространстве материальной среды *электромагнитная волна*.

Наглядно представить себе распространение электромагнитной волны можно с помощью изображения изменения силовых линий магнитного и электрического полей ( $E$  и  $H$ ) в пространстве (рис. 1). Эти линии, в общем случае однородной и изотропной диэлектрической среды, перпендикулярны направлению распространения волны и перпендикулярны друг другу, т.е. электромагнитная волна является волной поперечных колебаний векторов  $E$  и  $H$  в пространстве. Плоскость колебаний вектора  $E$  определяет так называемую *плоскость поляризации* электромагнитной волны. Это очень важное понятие. Поляризованной считается волна, у которой есть какое-либо одно выделенное направление (плоскость), в котором преимущественно и совершает колебания вектор  $E$ . Если он все время совершает колебания в одной и той же плоскости, как бы вдоль одной прямой линии, как показано на рис. 1, то говорят, что волна «линейно поляризована».

В случае, когда вектор  $E$  по пути своего распространения меняет плоскость поляризации (например, он может в пространстве закручиваться подобно штопору) говорят о «круговой поляризации» волны. Если же вектор  $E$  произвольным образом (хаотически) во времени меняет свою плоскость поляризации, такая волна считается неполяризованной. Вектор  $H$  при этом будет всегда в каждый конкретный момент времени оставаться перпендикулярным вектору  $E$ , т.е. он также будет менять свою плоскость колебаний (плоскость поляризации), следуя за  $E$ . Электромагнитная волна, как и любой другой волновой процесс, характеризуется скоростью своего распространения  $V$  и частотой колебаний ( $\omega$  или  $\nu$ ), периодом колебаний  $T$  и длиной волны в пространстве  $\lambda$ .



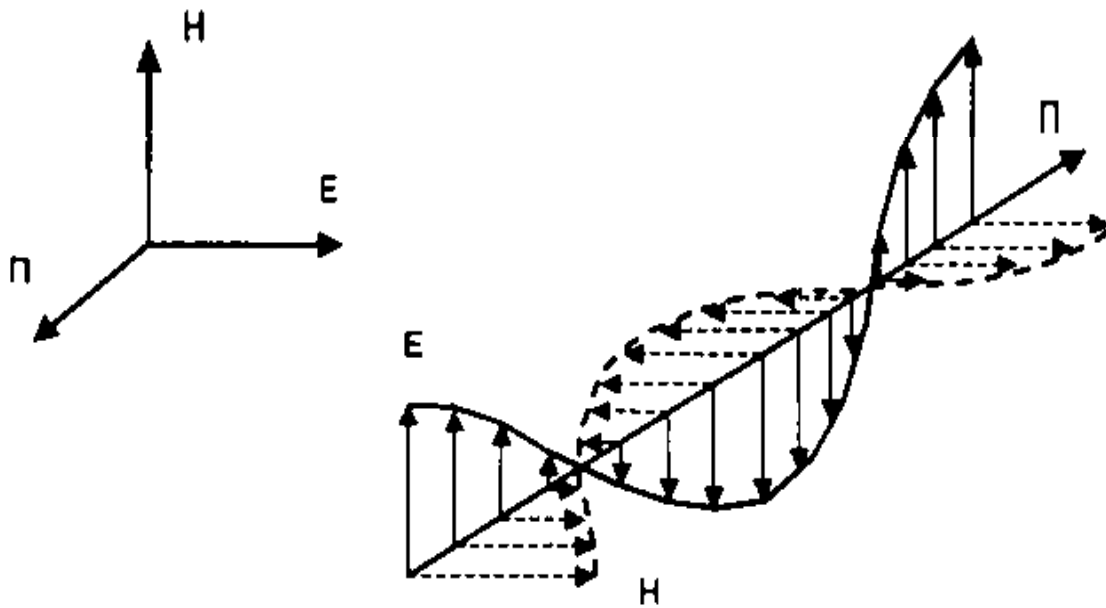


Рис.1. Электромагнитная волна в диэлектрической среде.

Она также несет с собой и энергию поля, но для практических задач по изучению взаимодействия электромагнитной энергии и биологических объектов удобнее характеризовать электромагнитную волну через ее поверхностную плотность мощности, т.е. энергию, удельную во времени и одновременно удельную по площади поверхности, на которую эта волна падает. Для этого используется *вектор  $\Pi$*  (в классической электродинамике вектор Пойтинга, а во многих русскоязычных (советских) руководствах вектор Умова-Пойтинга):

$$\Pi = [E \times H] \quad (1)$$

где  $\Pi$  – вектор (мгновенное значение) поверхностной плотности мощности электромагнитной волны ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).

В квадратных скобках указана операция векторного перемножения векторов  $E$  и  $H$ . Тройка векторов  $E$ ,  $H$  и  $\Pi$  образует пространственную тройку векторов, как показано на рис. 1. В практических расчетах для определения мощности, которая падает на площадку  $S$  облучаемой поверхности, надо модуль вектора  $\Pi$  умножить на площадь поверхности  $S$  и найти среднее значение этого произведения за период колебаний волны. Модуль среднего значения вектора  $\Pi$  можно  $\varepsilon$  через модули векторов  $E$  и  $H$  следующим образом:

$$\Pi = \frac{1}{2} E^2 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} = \frac{1}{2} H^2 \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (2)$$

где  $\varepsilon\varepsilon_0$  и  $\mu\mu_0$  – электрические и магнитные проницаемости среды и вакуума, соответственно.

Для любых изотропных (однородных) сред из выражения (2) следует, что модули векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  связаны между собой простым соотношением:

$$E\sqrt{\varepsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0} \quad (3)$$

При изучении влияния магнитной составляющей электромагнитного поля на биологические объекты более употребительной величиной является вектор магнитной индукции  $\mathbf{B}$ , с учетом формулы (3) можно представить в виде:

$$E\sqrt{\varepsilon_0\mu\mu_0} = B, \quad (4)$$

где  $B$  — модуль вектора магнитной индукции (Тл).

Из уравнений Максвелла следует, что скорость распространения электромагнитной волны (скорость переноса энергии, соответственно) в любой изотропной материальной среде можно определить по формуле:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} \quad (5)$$

Для вакуума эта скорость точно определяется введенными двумя фундаментальными физическими константами  $\varepsilon_0$  и  $\mu_0$ , так как  $\varepsilon = \mu = 1$  и равняется скорости света  $c$ :

$$v_{\text{вакуума}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c \quad (6)$$

Попробуйте убедиться в этом и вычислить ее самостоятельно. С учетом (5), кстати, соотношение (4) можно записать как:

$$E = B \cdot v \quad (7)$$

Это соотношение справедливо для любых случаев однородных и изотропных материальных сред, если рассматривается, конечно, единая электромагнитная волна, а не отдельно электростатическое и магнитостатическое поля. Постоянные электрические и магнитные поля, обладая собственной энергией поля, не осуществляют ее перенос в пространстве. В материальной среде при обычных условиях скорость распространения электромагнитной волны будет меньше скорости света в вакууме, т.е.  $v < c$ . Отношение этих скоростей называется *коэффициентом преломления среды*  $n^*$ .

$$n^* = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon\mu} \quad (8)$$

Именно коэффициентом преломления определяются свойства и особенности материальной среды по взаимодействию с электромагнитной волной, которая в нее проникает и распространяется. Причем, коэффициент преломления является сложной (*комплексной*) функцией диэлектрических и электропроводных свойств среды. Например, если материальная среда является идеальным диэлектриком (изолятором),

то  $n^* = n$  – обычная действительная величина, определяемая по (8) через действительные величины  $\varepsilon$  и  $\mu$ .

Идеальные диэлектрики просто пропускают через себя электромагнитную волну без потерь энергии. Потери же электромагнитной энергии происходят только в реальных, проводящих ток средах. А все биологические ткани, особенно жидкости, как раз и являются реальными материальными средами, в той или иной степени проводящими электрические токи. Поэтому целесообразно ввести понятие *импеданса среды*, который характеризует свойства среды «сопротивляться» прохождению сквозь нее электромагнитной волны. Импеданс среды  $Z$  определяется выражением:

$$Z = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\varepsilon\varepsilon_0}} \quad (9)$$

Измеряется он в Омах, как и сопротивление в электрических цепях. Установлено, что для вакуума (при  $\varepsilon = \mu = 1$ ) импеданс равен примерно 377 Ом. Все другие среды имеют, как правило, меньшее сопротивление (так как обычно  $\varepsilon > \mu$ ). В теоретической электродинамике импеданс называют ещё *волновым сопротивлением* среды, в отличие от обычного электрического сопротивления проводников с током. Волновое сопротивление отвечает за поглощение энергии электромагнитных волн в среде. Проходя материальную среду, электромагнитные волны наводят в ней электрические токи и магнитные поля. Электрические токи преодолевают сопротивление среды, магнитные поля ослабевают, и энергия волны, в общем случае, теряется или преобразуется. Происходит, например, нагрев среды. Принцип действия СВЧ печей основан именно на этом явлении. Это же явление положено и в основу физиотерапевтического действия процедур УВЧ терапии для людей или сельскохозяйственных животных, а также для электротехнологий передпосевной обработки зерновых культур.

Волновое сопротивление среды, вследствие частотной зависимости параметров среды  $\varepsilon$  и  $\mu$ , является также функцией частоты колебаний электромагнитной волны  $\nu$ , поэтому волны разной частоты по-разному взаимодействуют с материальной средой и имеют разную способность распространяться в окружающем пространстве. На рис. 2 представлен спектр электромагнитных излучений в зависимости от частоты или длины волны колебаний.

При падении волны электромагнитного излучения на поверхность облучаемого тела (границу раздела двух различных сред), согласно волновой теории света и теории электромагнетизма Максвелла учитывают *коэффициент отражения*  $r_\lambda$ , который определяется ком-

плексним коефіцієнтом преломлення среды  $n^*$  (см. формулу (8)) или, что то же самое, ее импедансом (9).

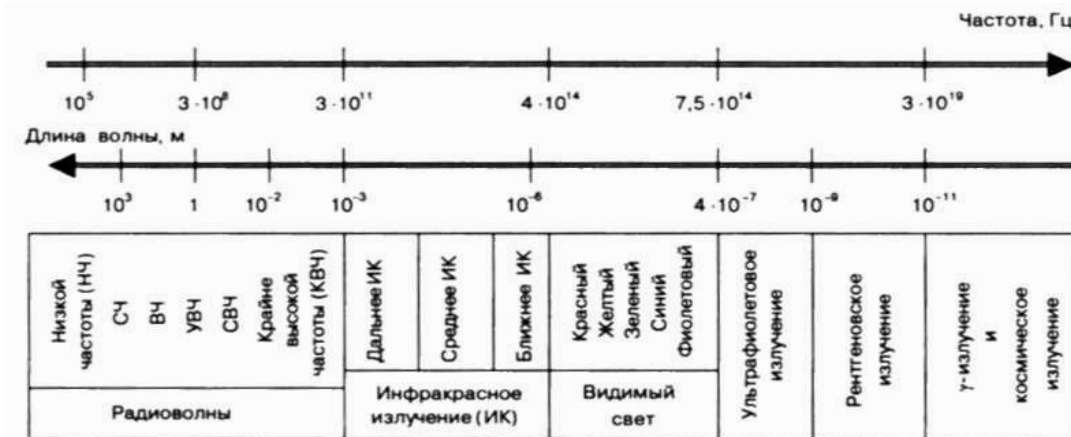


Рис.2. Спектр электромагнитных колебаний.

При падении излучения из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела сред поляризация излучения не имеет значения, и коэффициент отражения  $r$  может быть вычислен по упрощенной формуле Френеля:

$$r = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \quad (10)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – импеданс сред 1 и 2, соответственно.

Если излучение падает на среду из вакуума (воздуха), то с большой степенью точности можно выразить импеданс среды через относительный комплексный показатель преломления, вернее, через его отдельные части  $n$  и  $\sigma$ . Тогда (10) может быть записано в виде:

$$r = \frac{(n-1)^2 + \sigma^2}{(n+1)^2 + \sigma^2} \quad (11)$$

где  $n$  – действительная часть показателя преломления;

$\sigma$  – параметр проводимости среды (проводимости для переменного электрического тока, с данной частотой колебаний).

Сильно отражать излучение могут, только хорошо проводящие ток материалы и среды ( $\sigma \gg 0$ ). Именно поэтому хорошо отражают свет полированные металлы (до 90...95%). Поверхность стекла имеет коэффициент отражения порядка 51%. В биологических тканях основными проводниками тока являются растворы электролитов (кровь, например). Ее проводимость существенно меньше, чем у металлов. Поэтому ожидать больших коэффициентов отражения электромагнитного излучения от биологических тканей не приходится.

Мощность  $W$ , падающая на какую либо площадку  $S$ , создает облученность этой площадки, соответствующую пространственной

плотности мощности излучения в электродинамике, т.е. модулю вектора Умова-Пойтинга:

$$P = \frac{W}{S} \quad (12).$$

*Выводы.* Все изложенные здесь явления и действующие физические факторы присущи электромагнитным излучениям любой частоты колебаний, в том числе и оптическому излучению. Свет – это обычная электромагнитная волна. Если инфракрасный свет (излучение), проходя сквозь материальную среду (биологическое тело), сильно поглощается в ней, то среда нагревается, так как поглощенная энергия в среде переходит главным образом в тепловую через колебания молекул. Но это не значит, что биоткань не нагревается похожим образом от излучения зеленого диапазона спектра, красного или даже СВЧ. Любое поглощенное излучение в той или иной степени переходит в тепло вызываемое колебаниями соразмерных структур биологического облучаемого объекта. СВЧ-печи («микроволновки») и УВЧ-терапия прямое тому подтверждение. Если говорят об интерференции (наложении волн с учетом их фазы) для света, то это означает, что интерферировать могут и любые другие переменные электрические токи в тканях, а также переменные магнитные поля. Это же касается и рассеяния, отражения, поглощения. Просто свет – очень наглядный (в буквальном смысле этого слова) пример, с помощью которого легко представить все другие электромагнитные волновые явления и изучить их внутреннюю логику и взаимосвязь.

Следует также отметить, что все изложенное выше характерно для электромагнитного излучения сравнительно невысоких уровней плотности энергии. При высоких уровнях энергии электромагнитных излучений проявляются квантовые свойства (воздействие на структуры биологической среды как от потока движущихся материальных частиц (квантов)), что наглядно изучается на ультрафиолетовом, рентгеновском или гамма излучениях, но уже законами квантовой биофизики.

#### Литература

1. *Вестерхофф Х.* Термодинамика и регуляция превращений свободной энергии в биосистемах / *Х. Вестерхофф, К. Ван Дам* // Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 686 с.
2. *Вихман Э.* Квантовая физика / *Э. Вихман* // Пер. с англ. – 3-е изд. испр. – М.: Наука, 1986. – 392 с.
3. *Владимиров Ю.А.* Физико-химические основы фотобиологических процессов / *Ю.А. Владимиров, А.Я. Потапенко.* – М.: Высшая школа. 1989. – 199 с.
4. *Биофизика* / [*Ю.А. Владимиров, Д.И. Рошупкин, А.Я. Потапенко, А.И. Леев*]. – М.: Медицина, 1983. – 272 с.

5. *Волькенштейн М.В.* Биофизика / *М.В. Волькенштейн.* – М.: Наука, 1981. – 575 с.
6. *Кузнецов А.Н.* Биофизика электромагнитных воздействий (Основы дозиметрии) / *А.Н. Кузнецов.* – М.: Энергоатомиздат. 1994. – 256 с.
7. *Рубин А.Б.* Биофизика: Теоретическая биофизика / *А.Б. Рубин.* – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 448 с.
8. *Рубин А.Б.* Биофизика: Биофизика клеточных процессов / *А.Б. Рубин.* – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 469 с.
9. *Самойлов В.О.* Элементы квантовой биофизики / *В.О. Самойлов.* – СПб: Изд-во СПб ГТУ, 2001. – 44 с.
10. *Самойлов В.О.* Медицинская биофизика / *В.О. Самойлов.* – СПб.: Спец-Лит, 2004. – 496 с.

## **ПРО ПРИРОДУ І МЕХАНІЗМ ДІЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Червiнський Л.С.

### *Анотація*

**На основі біофізики проаналізовано первинні механізми дії енергії оптичного випромінювання на структури біологічних об'єктів.**

## **THE NATURE AND MECHANISM OF ACTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION**

L. Chervinskiy

### *Summary*

**There was analyzed the primary mechanisms of action energy optical radiation on the structure of biological objects with help of biophysics.**

УДК 621.3.077:614.31:637.5

## **АНАЛІЗ ДИСПЕРСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ІНТЕГРАЛЬНИМИ МЕТОДАМИ**

Сторожук Л.О., к.і.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
Тел. (044) 527-85-22

**Анотація** – робота присвячена дослідженню методу аналізу інтегральних характеристик дисперсного складу за допомогою контактних кондуктометричних комірок.

**Ключові слова** – технологічний процес, електричні методи, дисперсна система, електричний опір, питома провідність, перетворювач, вимірювальна комірка, інтегральні характеристики.

*Постановка проблеми.* Сучасний розвиток переробної промисловості та вимоги міжнародних стандартів посилили вимоги до якості продукції. При переробці м'яса контроль якості продукції здійснюється на всіх етапах, починаючи з відбору сировини. В різних галузях промисловості широко застосовують хімічні, оптичні, седиментаційні, електрохімічні та ін. методи аналізу дисперсних речовин. Також велике значення у визначенні складу і якості продукції мають електричні методи. Їх застосування має ряд суттєвих переваг, таких як швидкодія, можливість використання в дистанційних методах аналізу, високі чутливість, надійність, безпеку, точність і простоту в експлуатації. Сучасні автоматизовані системи контролю складу і якості продукції дозволяють використовувати електричні аналізатори без обмежень щодо керування процесом.

*Аналіз останніх досліджень.* Визначення якості продукції є актуальним і проблемним питанням. На сьогодні існує широкий вибір способів і методів відповідного визначення. Але виробники намагаються застосовувати безпечні методи діагностування. До них можна віднести електричні методи аналізу дисперсних характеристик м'ясних продуктів. Дослідження базується на фізичних основах електричних методів аналізу з використанням математичного розрахунку [1, 2].

*Формулювання цілей статті.* Дослідити кондуктометричні методи аналізу дисперсних характеристик м'ясної продукції, що базуються на залежності зміни характеристик електромагнітного поля від структури, складу і фізичних властивостей речовини у процесі їх взаємодії.

*Основна частина.* У харчовій промисловості кондуктометричний метод аналізу широко використовується для визначення таких інтегральних характеристик дисперсного складу, як концентрація, жирність, вологість з метою контролю і регулювання технологічних процесів і визначення якісних показників продукції. За допомогою контактних кондуктометричних комірок визначають, наприклад, концентрацію різних сольових розчинів, вологість шкір, порошкоподібних сипучих м'ясних продуктів та ін. Домінуючим методом аналізу дисперсних систем за допомогою контактних кондуктометричних комірок є метод вимірювання за допомогою постійного струму або струму низької промислової частоти [3]. Визначення інтегральних характеристик дисперсного складу цим методом ґрунтується на використанні залежності питомої провідності (опору) системи від концентрації і природи розчиненої речовини або від об'ємної частки і електричних властивостей компонентів дисперсної системи. Нехтуючи діелектричними втратами, що є виправданим при низьких частотах змінного струму, шукану інтегральну характеристику дисперсного складу речовини визначають вимірюванням опору контактної комірки, величина якого залежить від питомої провідності:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{S} \quad (1)$$

де  $\frac{L}{S}$  – константа вимірювальної комірки;

$L$  – відстань між електродами комірки;

$S$  – площа електродів комірки.

Константу вимірювальної комірки визначають дослідним шляхом за допомогою еталонних розчинів речовин із відомою провідністю. Після вимірювання опору комірки константу комірки розраховують за формулою:

$$\frac{L}{S} = \sigma_e \cdot R \quad (2)$$

де  $\sigma_e$  – питома електропровідність еталонної речовини.

На практиці в якості еталонної речовини широко використовують водний розчин хлориду калію, величина електропровідності якого залежить від концентрації при різних температурах відома з достатньо великою точністю.

Необхідність знаходження константи комірки дослідним шляхом пояснюється складністю аналітичного розрахунку похибки, пов'язаної з нерівномірністю електричного поля вимірювального об'єму комірки, а також можливим відхиленням від розрахованих геометричних характеристик комірки, викликаних конструктивними неточностями при виготовленні та зборці комірки.



Для визначення опору комірки на постійному струмі в кондуктометрії використовується вимірювальні схеми аналізаторів мостового типу. Принципова мостова вимірювальна схема постійного струму складається із чотирьох плечей, які включають в себе опори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і вимірювальну кондуктометричну комірку з шуканим опором  $R_x$ , а також джерело напруги живлення та нуль-інструмент. Шуканий активний опір контактної кондуктометричної комірки знаходиться після приведення вимірювальної схеми моста до стану рівноваги шляхом підбору опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . З умови рівноваги моста постійного струму розраховують шуканий опір комірки.

Для зменшення похибки вимірювання від поляризаційних явищ рекомендується зменшити силу струму і час вимірювання.

В харчовій промисловості контактні кондуктометричні комірки на постійному струмі в основному використовуються у простих вимірювальних приладах типу омметрів і мегометрів для визначення вологості продуктів, які володіють великим питомим опором. Типова схема омметра складена із джерела живлення, вимірювального та калібрувального опорів  $R_1$  і  $R_2$  і вимірювального приладу. Величину електричного опору речовини знаходять по шкалі приладу, в якості якого використовують мікроамперметр. Шкалу мікроамперметра градуують в одиницях електричного опору або вологості у відповідності з виразом:

$$R_x = R \left( \frac{I_0}{I} - 1 \right), \quad (3)$$

де  $R$  – сума постійних опорів кола при замкнутих накоротко затискачах вимірювальної комірки;

$I$ ,  $I_0$  – струм в колі, яке містить вимірювальну комірку і при її відсутності.

Електрична схема електровологоміра, вимірювальна частина якого побудована за схемлю послідовного омметра, типовою для електровологомірів, приведена на рис. 1. Вимірюваний опір комірки  $R_x$  з речовиною увімкнене послідовно з джерелом струму, гальванометром і опорами  $R_1$ ,  $R_2$ . Для вимірювання вологості речовини з високим опором, наприклад шкіри, можна використовувати електронні мегометри, дія яких оснований на вимірювання падіння напруги  $U_1$  на опорі кондуктометричної контактної комірки, ввімкненої послідовно в електричне коло з еталонного опору  $R$  та джерела постійного струму. В якості реєструючого приладу використовують електронний вольтметр. Падіння напруги при проходженні електричного струму через комірку, через її опір, пояснюється вологістю досліджуваного продукту, визначають за виразом:

$$U_x = \frac{U}{\left( 1 + \frac{R}{R_x} \right)} \quad (4)$$

де  $U$  – напруга джерела живлення постійного струму.

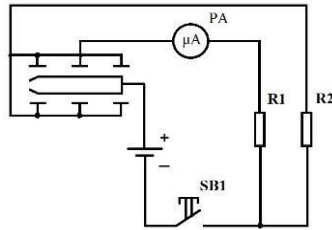


Рис.1. Електрична схема електровологоміра.

Очевидно, при незмінності  $U$  шкалу вольтметра можна відградувати в одиницях опору або вологості. Живлення електровологоміра здійснюється від батарейних джерел постійного струму, напруга яких змінюється в часі у зв'язку зі старінням елементів живлення, тому аналізатори перед кожним вимірюванням повинні бути заново відкалібровані. Шкалу омметра, наприклад, з послідовним включенням зразкового опору та кондуктометричного осередку калібрують при замкнених затискачах останньої за допомогою регулювання калібрального опору  $R_{обр}$ .

Застосовують електронні вольтметри з операційними підсилювачами ОП, на вхід яких включається зразковий опір, а в ланцюг зворотного зв'язку – вимірювальна величина опору комірки з речовиною. Вихідна напруга операційного підсилювача за такою схемою (рис. 2) пропорційна опору вимірювальної комірки:

$$U_{вих} = -\left(\frac{E}{R_{обр}}\right) \cdot R_x = a \cdot R_x \quad (5)$$

Незважаючи на досить розвинену в кондуктометрії теорію аналізу, кондуктометричні перетворювачі постійного струму в м'ясній промисловості мають обмежене застосування, що пов'язано з побічними електрохімічними явищами, що викликають спотворення результатів вимірів.

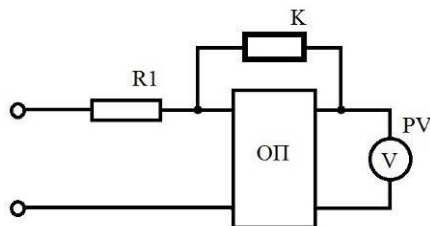


Рис.2 Схема електронного омметра на операційному підсилювачі

Велику популярність мають аналізатори з контактними кондуктометричними комірками, що працюють на змінному струмі порівняно низької частоти. Більшість таких аналізаторів працює на змінному струмі промислової частоти 50 Гц. Проте в окремих випадках частота підвищується до 1000 Гц і більше. Робота аналізаторів на таких частотах дозволяє звести до мінімуму поляризаційні явища і в той же час нехтувати похибками від паразитних ємностей. Найбільше застосування у

вимірювальних пристроях змінного струму низької частоти мають різні варіанти чотириплечих мостів, які на відміну від мостів постійного струму утворені з чотирьох комплексних опорів:  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ .

Аналіз речовин за допомогою мостів змінного струму базується на попередньому приведенні вимірювальної схеми до стану рівноваги шляхом виконання певних регулювань комплексних опорів тих чи інших плечей мосту. Однак на відміну від мостів постійного струму для досягнення рівноваги моста змінного струму необхідно регулювати два параметри: модуль і фазу комплексних опорів відповідних плечей мосту. Умова рівноваги моста змінного струму досягається в тому випадку, якщо:

$$|Z_1 Z_3| = |Z_2 Z_4| \text{ і } \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4, \quad (6)$$

де  $|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$  – модулі комплексних опорів;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  – фазні кути комплексних опорів.

Мостова вимірювальна схема врівноважується за модулем за допомогою активних складових, а по фазі – за допомогою реактивних складових комплексних опорів плечей. Зміна при регулюванні активного або реактивного опору викликає одночасну зміну і модуля, і фази, тому операція урівноваження може здійснюватися тільки методом послідовних наближень, що пояснюється тривалістю і трудомісткістю процесу. Кількість поперемінних операцій, необхідних для врівноваження, називається збіжністю мосту, яка характеризує швидкість досягнення рівноваги. Як впливає з виразів (6), рівновагу мостової вимірювальної схеми можна забезпечити набором не довільних, а певних активних і реактивних елементів. Наприклад, якщо вимірювальна комірка із речовиною, включена в одне з плечей мостової схеми, відноситься до напівпровідників і володіє активним опором і ємністю  $Z_1$ , то для врівноваження такого моста по фазі суміжне плече  $Z_2$  має містити також активні і реактивні елементи.

Мостові вимірювальні схеми на змінному струмі збирають за допомогою стандартних елементів З відомих мостових схем найбільш досконалою є мостова вимірювальна схема моста змінного струму з індуктивно-пов'язаними плечима відносини. До основних переваг трансформаторної мостової схеми відноситься висока точність вимірювань, яка пояснюється великою стабільністю параметрів плечей, що є обмотками одного і того ж трансформатора, під дією найрізноманітніших дестабілізуючих факторів, таких, як температура, волога, старіння елементів схеми. Крім того, сильний індуктивний зв'язок між обмотками трансформатора, виконаними у вигляді взаємопов'язаних котушок індуктивності, забезпечує виняткову стійкість плечових співвідношень при дії паразитних провідностей, а також симетрію напруг і сталість коефіцієнта трансформації на обмотках навіть при несиметричних навантаженнях на плечі мостової схеми.

Трансформаторні мости дозволяють перекрити широкий діапазон вимірювання опорів від 0,0001 Ом до 1000 МОм, що є великою перевагою в порівнянні з іншими вимірювальними пристроями.

*Висновки.* На основі врівноважених низькочастотних мостів змінного струму в м'ясній промисловості розроблено і широко застосовуються різноманітні інтегральні аналізатори складу, які залежно від контролюваного параметра називаються концентратомірами, вологомірами, кислотомірами і т.д.

Виходячи із вище наведеного можна зробити висновок, що у сучасному виробництві м'ясної продукції застосування електричних методів аналізу має актуальність і перспективність.

#### Література.

1. Барковский В.Ф. Основы физико-химических методов анализа. Учебное пособие / В.Ф. Барковский, Т.Б. Городенцева, Н.Б. Топорова. – М.: Высшая школа, 1983. – 248 с.
2. Говоров В.А. Электрические и магнитные поля / В.А. Говоров – М.: Пищевая промышленность, 1960. – 463 с.
3. Рогов И.А. Дисперсные системы мясных и молочных продуктов./ И.А. Рогов, А.В. Горбатов, В.Я. Свинцов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 320 с.

## **АНАЛИЗ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ИНТЕГРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ**

Сторожук Л.А.

#### *Аннотация*

**Работа посвящена исследованию метода анализа интегральных характеристик дисперсного состава при помощи контактных кондуктометрических ячеек.**

## **THE ANALYSIS OF DISPERSED CHARACTERISTICS OF MEAT PRODUCTS BY ELECTRICAL INTEGRAL METHODS**

L. Storozhuk

#### *Summary*

**The work is devoted to the method of analysis of the integral characteristics of the particulate composition with contact conductivity cells.**

УДК 621.311

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Овчаров В.В., д.т.н.

Катюха І.А., аспірант \*.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

Тимчук С.О. к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка,*

Тел. (056) 712-35-37

**Анотація** – робота присвячена використанню методики довгострокового прогнозу електроспоживання на основі застосування нечіткого регресійного аналізу з комбінованим критерієм на прикладі прогнозу електроспоживання підприємством протягом року. Даний критерій враховує як ступінь близькості оцінок до вихідних даних, так і ступінь нечіткості.

**Ключові слова** – нечіткий регресійний аналіз, прогноз електроспоживання, функція належності, метеоумови.

*Постановка проблеми.* Серед вживаних наразі методів прогнозу найпоширенішим є регресійний аналіз. Здебільше вихідна для прогнозу інформація несе в собі невизначеність, що обумовлена неодноразовою реєстрацією приладів, недосконалістю системи обліку, впливом зовнішніх факторів, недостатнім об'ємом інформації, тощо. Ці типи невизначеності не можуть бути однозначно інтерпретовані як випадковість. Тому застосування традиційного регресійного аналізу, що базується на теорії вірогідності та математичній статистиці не є коректним. Одним з методів розв'язання окресленої задачі є нечіткий регресійний аналіз, що дозволяє обробляти дані, що містять в собі багатозначність, розмитість, лінгвістичну невизначеність.

*Аналіз останніх досліджень.* Нечіткий регресійний аналіз [1] базується на критерії мінімізації нечіткості. Існує підхід, що комбінує критерій мінімуму суми квадратів нев'язок і мінімум нечіткості [2]. Функції приналежності при цьому здебільше вважаються трикутними

---

\* Науковий керівник: д.т.н. В.В. Овчаров

© д.т.н. Овчаров В.В., аспірант Катюха І.А.

та симетричними [3]. Розглядається здебільше лінійна регресія і методи отримання результату також орієнтовані на цей випадок. Критерій мінімізації нечіткості доповнюється рядом обмежень, що обумовлюють попадання вихідних даних в межі регресії. Здається, що такий підхід є відходом від суті. Адже метою є саме опис даних, а мінімізація нечіткості – супутня вимога. Тому такі підходи потребують доробки, оскільки в загальному випадку функції приналежності трикутних нечітких чисел асиметричні, регресія може бути нелінійною. Доробка може полягати в побудові спеціального критерію отримання коефіцієнтів регресії і виборі оптимального метода розв'язання задачі.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Необхідно отримати регресійну залежність для довгострокового прогнозу електроспоживання підприємством (автозаправною станцією). Вихідними даними є результати вимірів електроспоживання апаратурою АСКОЕ підприємства за попередній рік. Прогнозна залежність повинна давати можливість отримання добового графіка електроспоживання для будь-якого дня місяця наступного року.

*Основна частина.* Процес розв'язування задачі складається з ряду етапів. На першому етапі на основі аналізу вихідних даних (рис. 1) визначений вид функції регресії [4]. Слід зазначити, що процес визначення оптимального виду функції регресії не формалізовано. Традиційно використовується поліноміальний підхід, який виправданий в задачах інтерполяції, частіше виявляється даремним для задач прогнозу. На погляд авторів для прогнозних задач слід використовувати залежності, які якісно вірно описують тенденції розвитку процесу, що розглядається, зі взаємозв'язками з зовнішніми для даного процесу факторами.

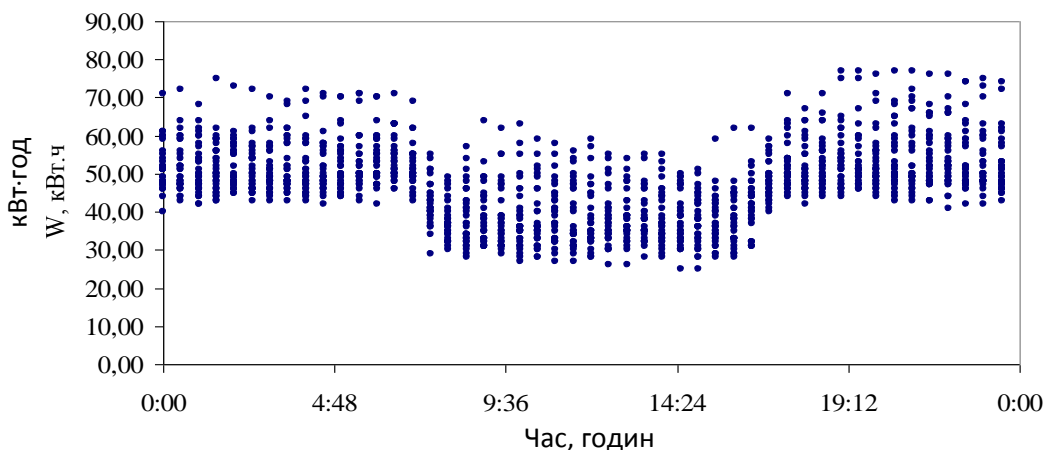


Рис. 1. Добовий графік електроспоживання автозаправною станцією.

Проаналізувавши характер зміни добового графіка електроспоживання (рис. 1), можна зробити висновок, що він періодичний і має

два розриви. Точки  $t_1$  та  $t_2$  залежать від дня на протязі року і, як очевидно, пов'язані зі зміною тривалості світлового дня. Величини електроспоживання всередині діапазону ( $t_1, t_2$ ) та за його межами залежать від метеоумов (в основному від температури повітря), а метеоумови залежать від дня року.

Таким чином, спрощена прогнозна регресійна залежність добового електроспоживання підприємства має вид, представлений на рис. 2.

Відповідно, регресійна залежність повинна складатись із двох функцій, які описують дані всередині діапазону ( $t_1, t_2$ ) та за його межами.

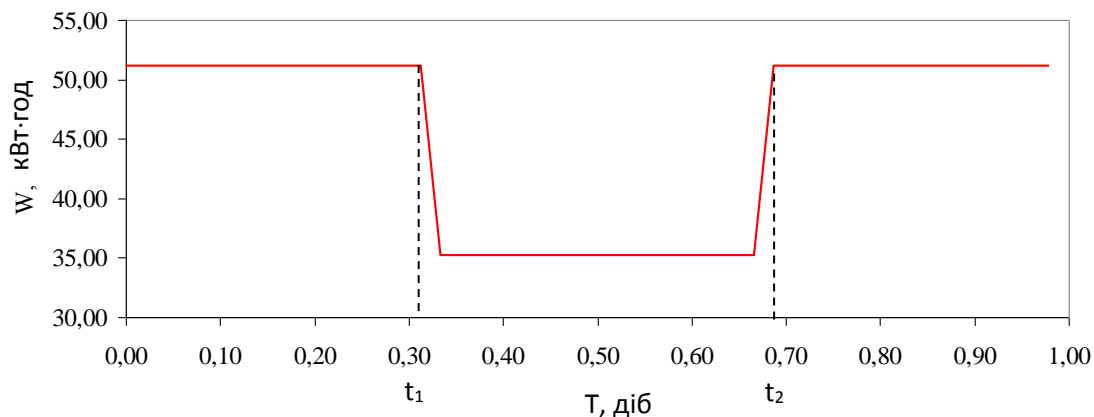


Рис. 2. Спрощений вид залежності для прогнозу добового графіку електроспоживання.

На другому етапі знайдена регресійна залежність  $t_1$  і  $t_2$  від номеру дня року. Для цього в експериментальних даних виділені точки розриву, а для функцій регресії вибрано косинусуїдальну залежність, яка зкорельована з часом світанку (для  $t_1$ ) та часом заходу сонця (для  $t_2$ ). За допомогою традиційного регресійного аналізу отримані наступні залежності:

$$t_1 = 0,0518 \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - 353,462)) + 0,276,$$

$$t_2 = 0,1044 \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - 175,431)) + 0,77.$$

де  $d$  – номер дня у році.

В графічному виді вони представлені на рис. 3. В даному випадку одиниця вимірювання  $t_1, t_2$  – доба.

На третьому етапі отримані регресійні залежності для електроспоживання всередині та зовні діапазону ( $t_1, t_2$ ). Для цього використана розроблена методика нечіткого регресійного аналізу.

Розроблений варіант регресійного аналізу для обробки даних, представлений у виді нечітких чисел може бути використаний до задач прогнозу на основі статистичної інформації, що розв'язується. В даному випадку універсальність його витікає із того положення, що одно-

значні результати вимірювання, представлені у виді детермінованого часового ряду, є окремим випадком нечіткого подання даних. Тобто для нечіткого регресійного аналізу вони являються сінглтонами.

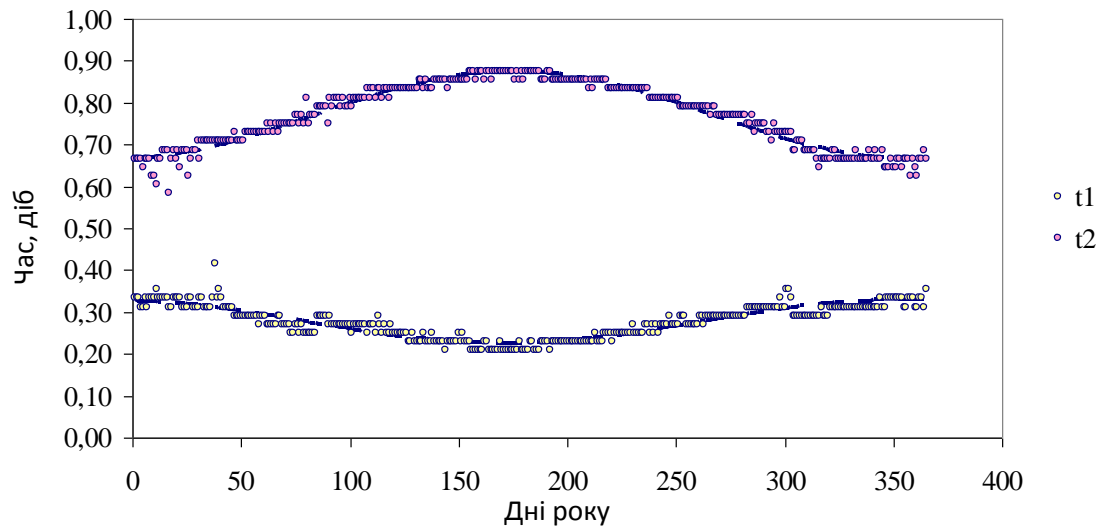


Рис. 3. Залежності для точок розриву функції регресії.

Параметр  $y$ , заданий у виді сінглтона може бути представлений як трикутне нечітке число, у якого  $y_{min} = y_{cp} = y_{max}$  (рис. 4).

Тоді перетинання нечіткого трикутного числа  $y_l$  (оцінки) з сінглтоном  $y$  можна оцінити не за площею перетинання фігур під функціями належності, а за значенням функції належності оцінки  $\mu_{y_l}(y)|_x$  (на рис. 4 виділено жирним).

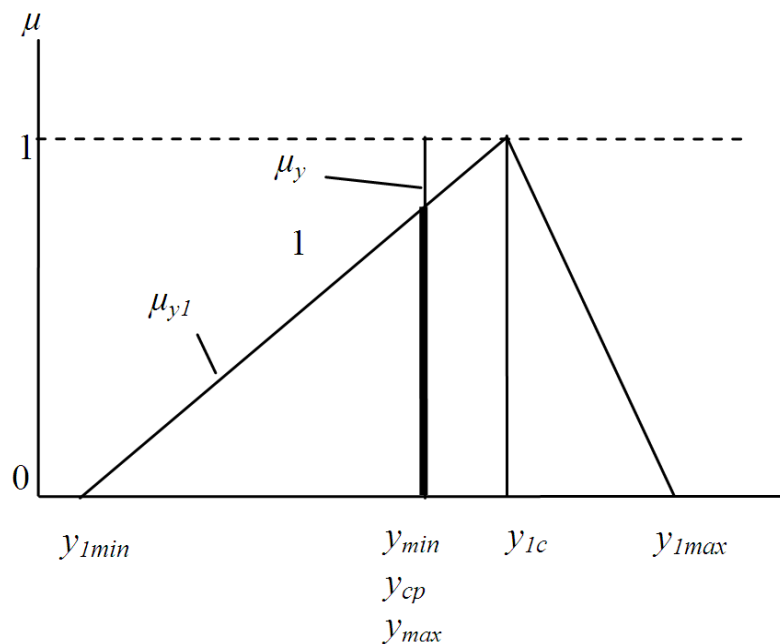


Рис. 4. Перетин нечіткого трикутного числа і сінглтона.

Таким чином, якщо маємо  $n$  значень параметру  $y$  при різних значеннях  $x$ , то ступінь близькості оцінок та вихідних даних буде відображати величина:



$$\mu_{\cap} = \sum_{i=1}^n \mu_{y_1}(y_i)$$

Тоді вираз [5]

$$S = \sum_{i=1}^n (S_{\Delta i} - S_{\cap i}) + \sum_{i=1}^n (S_{\Delta i} - S_{\cap i}) \rightarrow \min$$

Матиме вид:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{1maxi} - y_{1mini}) + \sum_{i=1}^n (1 - \mu_{y_1}(y_i)) \rightarrow \min$$

Оскільки дані АСКОЕ можуть бути інтерпретовані як часові послідовності чисел, які несуть в собі невизначеність, то вони в даному випадку являються сінглтонами і для пошуку коефіцієнтів регресії використано критерій  $S$ .

В процесі регресійного аналізу використані косинусоїдальні залежності, які відображають зміну потоку сонячної радіації протягом року.

Алгоритм пошуку коефіцієнтів регресії багатоступеневий з поетапним визначенням значень коефіцієнтів регресії. За основу взятий метод просторової сітки зі змінним кроком, оскільки він належить до методів пошуку глобального оптимуму, не накладає обмежень на вид цільової функції і має абсолютну збіжність.

В результаті обробки отримана залежність електроспоживання від номеру дня року у вигляді трикутного нечіткого числа  $W = \langle W_{min}, W_{cp}, W_{max} \rangle$ .

При  $t_1 < t < t_2$

$$W = \langle 9,03; 8,166; 8,648 \rangle \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - \langle 13,735; 14,025; 13,402 \rangle)) + \langle 26,243; 30,916; 35,903 \rangle,$$

а при  $t_1 > t, t > t_2$

$$W = \langle 9,362; 9,793; 10,307 \rangle \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - \langle 10,984; 10,141; 12,795 \rangle)) + \langle 41,4; 45,223; 50,138 \rangle,$$

де  $d$  – номер дня року,  $t$  – час доби.

На рис. 5 наведені приклади результатів розрахунку добового електроспоживання для декількох дат. Для обробки використані дані по електроспоживанню за 2012 рік, які зафіксовані АСКОЕ підприємства з інтервалом в півгодини.

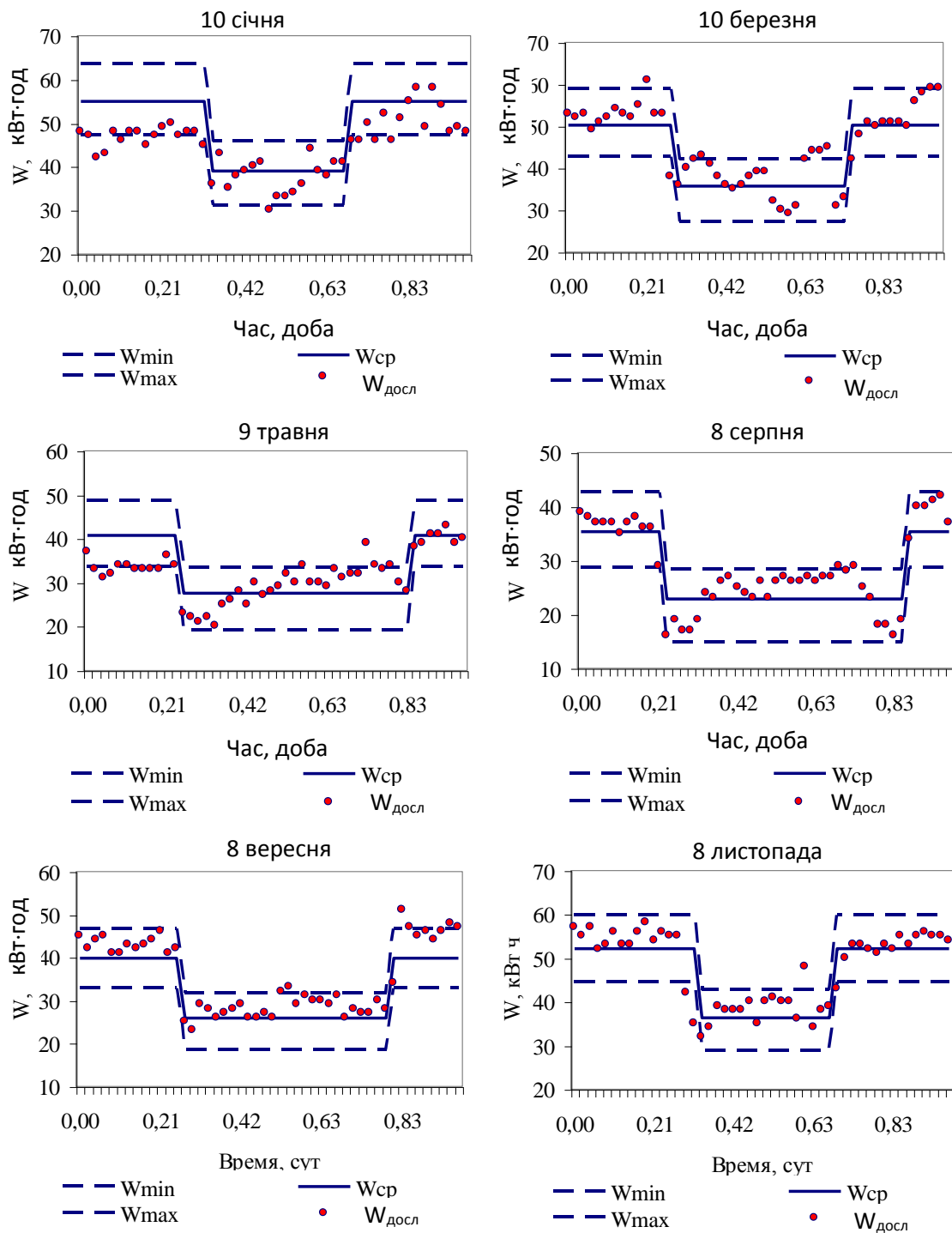


Рис. 5. Прогнозна нечітка залежність електроспоживання від дати та часу доби.

Точність отриманих результатів оцінювалась за наступним критерієм:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i(W),$$

де  $\mu_i(W)$  – значення функції належності виміряного електроспоживання розрахунковому нечіткому числу, яка відображає ступінь збігу виміряного значення і його нечіткого опису.

Очевидно, максимальне значення  $\delta = 1$  при абсолютно точному збігу значень  $W_{cp}$  з усіма дослідними даними.

Для обробленого масиву даних  $\delta = 0,3758$ .

Для перевірки прогнозних властивостей отриманих залежностей проведено порівняння розрахункових значень електроспоживання з даними АСКОЕ підприємства, що не використовувались в процесі визначення прогнозних залежностей. Для даних за 2011 рік точність прогнозу на всьому об'ємі дослідних даних  $\delta = 0,3462$ . За перші три дні 2013 року  $\delta = 0,3968$ . Даний результат свідчить про те, що на наступний рік точність прогнозу суттєво не змінюється.

*Висновки.* Користуючись даною методикою, можливо отримати нечіткі регресійні залежності і в іншому вигляді. Наприклад, календарні параметри можна замінити на метеорологічні, час доби – на рівень освітленості. В цьому випадку отримані залежності можуть бути використані для короткострокового прогнозу. Причому, оскільки регресія нечітка, то заміри параметрів метеоумов можуть бути і нескоординовані з реєстрацією електроспоживання.

Маючи прогнозні дані в нечіткій формі, керівництво підприємства може більш інформативно планувати та обґрунтовувати заходи щодо економії електроенергії.

#### Література.

1. *Chang Yun-Hsi O.* Fuzzy regression methods – a comparative assessment / *Yun-Hsi O. Chang, Bilal M. Ayyub*// Fuzzy Sets and Systems. – V. 119 (2). – 2001. – P. 187-203.
2. *Chang Yun-Hsi O.* Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures.// Fuzzy Sets and Systems. – Vol. 119 (2). – 2001. – P. 225-246.
3. *Манусов В.З.* Анализ и прогнозирование электропотребления в энергосистемах при интервальном характере исходных данных / *В. З. Манусов, А. В. Могиленко, В. П. Костромин* // Проблемы энергетики. Баку. – №1. – 2003. – С. 33-39.
4. *Тимчук С. А.* Получение регрессионных зависимостей для данных, представленных в виде треугольных нечетких чисел / *С. А. Тимчук* // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-

25: сб. трудов XXV Междунар. Науч. Конф.: в 10 т. – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – Т. 2. – С. 25-26.

5. *Тимчук С. О.* Прогнозування електроспоживання на основі нечіткого регресійного аналізу / *С. О. Тимчук, І. А. Катюха* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 36-38.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Овчаров В.В., Тимчук С.О., Катюха І.А.

### *Аннотация*

**Работа посвящена использованию методики долгосрочного прогноза электропотребления на основе использования нечеткого регрессионного анализа с комбинированным критерием на примере прогноза электропотребления предприятием в течение года. Данный критерий учитывает как степень близости оценок к исходным данным, так и степень нечеткости.**

## **USING OF THE FUZZY REGRESSION ANALYSIS FOR POWER CONSUMPTION FORECASTING AT THE ENTERPRISE**

V.Ovcharov, S. Tymchuk, I. Katyukha

### *Summary*

**Activity is dedicated to use of a technique of the long-term forecast of a power consumption on the basis of use of the fuzzy regression analysis with the combined criterion on the example of the power consumption forecast the enterprise within a year. This criterion considers as degree of proximity of estimates to basic data, and fuzzy degree.**

УДК 635.64

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО КОРМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мунтян В.О., д.т.н.

Чумак В.О., аспірант \*.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-11-74

**Анотація** – розглянуто особливості дії інфрачервоного випромінювання в процесі підготовки зернового корму для сільськогосподарських тварин. Проаналізовано результати досліджень внутрішньої структури, хімічного складу та харчової цінності зерен після обробки.

**Ключові слова** – інфрачервоне випромінювання, зерновий корм, мікронізація, хімічний склад, поживна цінність.

*Постановка проблеми.* В умовах сучасного рівня розвитку аграрного сектору часто постає питання щодо раціонального використання корму у тваринництві. Відомо, що підготовлений корм краще засвоюється організмом тварини. А це дає можливість підвищити продуктивність галузі в цілому. У зв'язку із цим особливої актуальності набули різноманітні методи підготовки зернового та зернобобового корму. До таких відносять: подрібнення, запарювання, плющення, гранулювання, обжарювання, обробка за допомогою високого тиску і температури (екструзія), а також обробка високочастотним полем та інфрачервоним випромінюванням, до яких все частіше звертаються останнім часом.

Кожен з методів потребує певних затрат енергії та матеріальних ресурсів, вони побудовані на основі різних фізичних факторів. Важливо володіти повною інформацією про кожен з методів для того, щоб уникнути невиправданих витрат на виробничий процес. Лише якщо правильно враховано всі переваги і недоліки, використання кожного з них дає можливість підвищити ефективність виробничих процесів у сільському господарстві.

Основним питанням, яке необхідно вирішити в процесі використання методів підготовки кормів, є скорочення енергетичних витрат

---

\* Науковий керівник: д.т.н. В.О. Мунтян

© д.т.н. Мунтян В.О., аспірант Чумак В.О.

та підвищення ефективності обробки кормів, так як деякі з вищевказаних методів є дуже енергоємними та потребують значних капіталовкладень.

*Аналіз останніх досліджень.* Останнім часом в Україні і закордоном почали розвиватися передові технології, пов'язані з тепловою дією інфрачервоних променів. Такий метод обробки зернового корму дістав назву «мікронізація». Чисельні дослідження показали високу ефективність обробки таким методом. Після дії інфрачервоного випромінювання на корм, значно підвищуються якість його хімічного складу та смак. Тварина більш охоче поїдає його, він краще засвоюється організмом, і як результат підвищується продуктивність в цілому та скорочуються споживання зерна та витрати на корм.

Проводилися дослідження, направлені на вивчення структури і хімічного складу зернових кормів та виявлення їх харчової цінності після обробки інфрачервоним випромінюванням. Ряд дослідів виконувалися з кормовими культурами пшениці, ячменю, кукурудзи, сорго, рису, а також сої та гороху. Порівнювалися зразки вихідного та обробленого матеріалу, і відповідно робилися висновки щодо зовнішнього стану оболонки, хімічного складу (суха речовина, білок, крохмаль) зерен і т.д.

Для вивчення було взято три сорти пшениці (Канзас, Скіпетр та Лаура). Вони оброблялися інфрачервоним випромінюванням протягом 1 хвилини до досягнення внутрішньої температури ядра 90-100°C. При цьому було оцінено склад білка та крохмалю. Лабораторні дослідження показали, що у зразку пшениці «Канзас» відносно початкового складу, загальний білок змінився на 10,0-21,2 %, крохмаль на 61,6-73,9 %, суха речовина на 8,5-11,8 %, об'ємна маса на 753-842 г/л, а твердість ядра склала 0,0-32,0. Коефіцієнт сухої речовини відрізнявся у різних сортів пшениці [3].

При обробці зерен помітно знизився ступінь сухої речовини ( $p = 0,001$ ), у порівнянні зі швидкістю і ступенем зникнення сухої речовини та білка контрольних зразків. В результаті мікронізації підвищився коефіцієнт переварювання крохмалю пшениці. Проте, виділення аміаку в інкубаційному середовищі було помітно знижено, припускаючи, що обробка збільшила опір білка мікробному ураженню. Склад сухої речовини, білка і крохмалю був різний у кожного виду злакових зерен. Мікронізація знизила швидкість зникнення сухої речовини ( $p = 0,011$ ) та розкладання білкових фракцій ( $p = 0,03$ ), при цьому коефіцієнт розкладання крохмалю на фракції підвищився ( $p = 0,004$ ) у кожного з трьох злаків. Експертиза у природних умовах за допомогою скануючої електронної мікроскопії підтвердила, що білок матриці має

достатній опір проти мікробної активності. Дані результати говорять про те, що мікронізація сприяє підвищенню ефективності обробки зернових та може бути використана для збільшення проценту виходу білка у злакових зерен та переварювання крохмалю [3].

*Формулювання цілей статті.* На основі вивчених матеріалів необхідно провести аналіз процесу обробки кормових культур за допомогою інфрачервоного випромінювання. Вказати на характерні особливості дії ІЧ-променів. Зробити висновок про те, чи є доцільним використання даного способу підготовки корму для тварин, його ефективність та енергоємність.

*Основна частина.* Звичайно теплові методи потребують певних енергозатрат та супроводжуються втратами тепла, але загальна ефективність їх дуже висока. В Україні існує вже велика кількість спеціалізованих машин для обробки злакових та бобових зерен, які носять назву мікронізатори. Кожен з них відрізняється конструкцією та продуктивністю. Вони широко використовуються у виробничих процесах.

Обробка зернових з використанням інфрачервоних променів останнім часом почала широко використовуватися у сільському господарстві зарубіжних країн, а також в Україні. Такий спосіб переробки кормового зерна дістав назву «мікронізація». Під терміном «мікронізація» розуміють високотемпературну обробку продуктів, при якій здійснюється дуже швидке нагрівання зерна за допомогою інфрачервоного випромінювання.

Згідно з рис. 1, потік інфрачервоного випромінювання, потрапивши на зволене зерно, зосереджує вологу в окремих краплинах по всьому об'єму матеріалу. Діючи на матеріал, промінь проникає в середину зерна на певну глибину (залежить від структури зернини та від інтенсивності випромінювання), дрібні краплі вологи в зерні під дією променів починають нагріватися та випаровуватися. Так як коефіцієнт поглинання води вище сухої речовини, то промені діятимуть інтенсивніше при більшому зволоженні зерен [1].

Процес підігрівання, пароутворення та пароперегріву рідини в середині зерна показаний на рис. 2 у вигляді діаграми.

Як видно з діаграми, весь процес охоплює три стадії. При досягненні у водяній капсулі перегрітим паром критичних значень температури та тиску, відбувається своєрідний вибух. Енергія вибуху розламує зерно та вивертає його вміст назовні. У цей час в зерні відбуваються корисні біохімічні зміни [1].

Фактично відбувається варіння зерна за рахунок його власної вологи. Закипаючи, рідина перетворюється в пару та утворює пористу

структуру. Миттєве нагрівання дозволяє швидко нагріти зерно, а іноді навіть спучити (підірвати) верхній шар (оболонку).

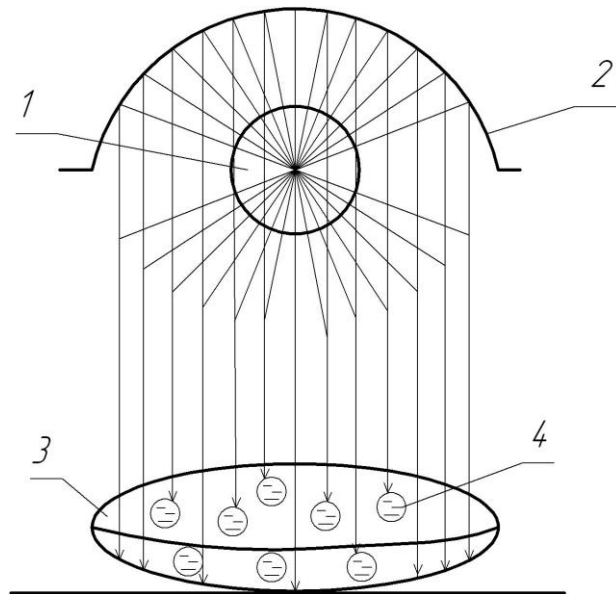


Рис. 1. Процес дії інфрачервоних променів на зерно пшениці:

- 1 – випромінювач інфрачервоних променів;
- 2 – відбивач;
- 3 – пшеничне зерно;
- 4 – краплини вологи в середині зерна.

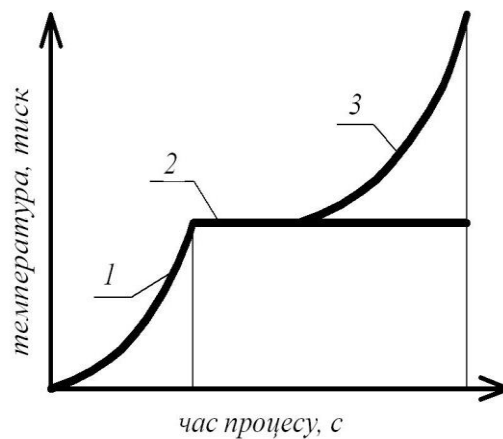


Рис. 2. Графік зміни фазного стану вологи в середині зерна:

- 1 – процес нагрівання;
- 2 – процес пароутворення;
- 3 – процес пароперегріву

Розглянемо основні закони, за якими відбувається процес обробки зерна інфрачервоним випромінюванням.



Рівняння елементарної енергії, яка споживається джерелом інфрачервоного випромінювання за певний проміжок часу має наступний вигляд [2]

$$d\mathcal{E} = P \cdot d\tau, \quad (1)$$

де  $P$  – потужність джерела інфрачервоного випромінювання, Вт;  
 $\tau$  – проходження процесу за певний проміжок часу, с.

Відповідно, потужність, яка споживається джерелом випромінювання від трьохфазної мережі буде визначатися

$$P = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi}, \quad (2)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;  
 $I_{\phi}$  – фазний струм, А.

Якщо вважати, що навколишнє середовище між випромінювачем та матеріалом не поглинає енергію, то елементарна енергія складатиме

$$d\mathcal{E}' = A \cdot P \cdot \eta \cdot d\tau, \quad (3)$$

де  $A$  – коефіцієнт поглинання зерном енергії ІЧ-випромінювання;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії випромінювального пристрою.

Елементарна енергія, яка поглинається матеріалом, буде витратитися на нагрів зерна та на втрати енергії в навколишнє середовище шляхом конвекції та випромінювання [2]

$$A \cdot P \cdot \eta \cdot d\tau = C \cdot d\tau + P_K \cdot d\tau + P_B \cdot d\tau, \quad (4)$$

де  $C$  – теплоємність зерна, Дж/°С

$P_K$  – втрати енергії в навколишнє середовище шляхом конвекції;

$P_B$  – втрати енергії в навколишнє середовище шляхом випромінювання.

$$C = c_3 \cdot m_3, \quad (5)$$

де  $c_3$  – питома теплоємність зерна, Дж/кг·°С;

$m_3$  – маса зерна, кг.

Питома теплоємність вологого зерна

$$C = \frac{c_{c3}(100 - W) + c_e \cdot W}{100} = \frac{c_{c3} \cdot 100 + c_e \cdot u}{100 + u}, \quad (6)$$

де  $c_{c3}$  і  $c_e$  – відповідно питома теплоємність сухої речовини зерна та води, Дж/кг·°С;

$W$ ,  $u$  – вологість та вологомісткість зерна, %.

Втрати енергії шляхом конвекції

$$P_K = \alpha_K \cdot F(t - t_n), \quad (7)$$

де  $\alpha_K$  – коефіцієнт конвекційного теплообміну, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$F$  – площа теплообміну, м<sup>2</sup>;

$t$  – температура зерна, °С;

$t_n$  – температура навколишнього середовища, °С.

Втрати енергії через випромінювання

$$P_B = \alpha_B \cdot F \cdot \left[ \left( \frac{t}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_n}{100} \right)^4 \right], \quad (8)$$

де  $\alpha_B$  – коефіцієнт теплообміну випромінюванням, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Враховуючи вищевказані параметри та розрахунки, приведемо рівняння потужності інфрачервоного випромінювача

$$P = \frac{(t_{opt} - t_n) \alpha_{KB} \cdot F}{A \cdot \eta} \quad (9)$$

де  $t_{opt}$  – оптимальне значення температури процесу обробки (мікронізації) зерна, для різних культур, °С;

$t_n$  – температура навколишнього середовища, °С;

$\alpha_{KB}$  – сумарний коефіцієнт теплообміну конвекції та випромінювання.  $\alpha_{KB} = \alpha_K + \alpha_B$ , Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$F$  – площа теплообміну, м<sup>2</sup>.

Дане рівняння може бути використане при розрахунку потужності випромінювачів інфрачервоних променів для мікронізації різноманітних культур.

Мікронізація підвищує поживну цінність зерна, воно краще засвоюється організмом тварини. З однієї порції переробленого корму, організм одержує набагато більше енергії та поживних речовин, ніж з порції непідготовленого зерна. При цьому значно поліпшується смак та аромат корму. У зерні зберігаються вітаміни (В, В2, РР), корисні мікроелементи (залізо, магній, фтор, кальцій) та необхідні організму харчові волокна, що мають властивості сорбенту.

*Висновки.* Впровадження нових технологій підготовки зернового корму для сільськогосподарських тварин має велике значення у розвитку аграрного виробництва. Вже давно експериментально доведено, що після обробки кормовий матеріал краще споживається та засвоюється тваринами, підвищується його біологічна цінність, а відповідно зростає продуктивність виробничих процесів у сільському господарстві. Швидкий розвиток методів теплової обробки дозволяє вирішувати ряд основних питань підготовки та використання зерна для потреб аграрного сектору. Використання даного явища у поєднанні з іншими методами обробки підвищує не тільки ефективність процесу, а й економію енергетичних ресурсів в цілому.

#### Література

1. Волф Л. Уильям Справочник по инфракрасной технике / У.Л.Волф, Г.Д. Цисис, Л. Биберман. В 4-х тт. Т.4. Проектирование ин-

фракрасных систем: Пер с англ. под ред. *Н.В. Васильченко*. – М.: Мир, 1999. – 472 с.

2. *Криксунов Л.З.* Справочник по приборам инфракрасной техники / *Л.З. Криксунов, В.А. Волков*. – К.: Техніка, 1980. – 232 с.

3. *McAllister T.A.* Effects of micronization on the digestion of cereal grains in situ and in vitro [Электронный ресурс] / *T.A. McAllister, H. Sultana*. – Canada: Lethbridge Research Centre, Agriculture and Agri-Food. – Режим доступа до журн.: <http://www.ajas.info/Editor/manuscript/upload/24-109.pdf>

4. Электронный научно-методический комплекс «Облучение». Лекционный курс. Раздел 1, глава 8. Облучательные установки инфракрасного нагрева и особенности их расчета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://light.jino.ru/obluchenie/obluch/gl8.htm>

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО КОРМА ПРИ ПОМОЩИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Мунтян В.О., Чумак В.О.,

### *Аннотация*

**Рассмотрены особенности действия инфракрасного излучения в процессе подготовки зернового корма для сельскохозяйственных животных. Проанализированы результаты исследований внутренней структуры, химического состава и пищевой ценности зерен после обработки**

## **ANALYSIS OF FEED GRAIN PROCESSING WITH INFRARED RADIATION**

V Muntyan, V. Chumak.

### *Summary*

**It was considered peculiarities of infrared radiation in the process of preparing the grain food for agricultural animals. Analyzed the research results of internal structure, chemical composition and nutritional value of grains after treatment.**

УДК.621.317

## ПАРАМЕТРАЛЬНІ ПРИЙОМИ МОДЕЛЮВАННЯ МАСОПЕРЕНОСУ ЧАСТОК ДЛЯ ЕЛІПСОЇДНОГО СФЕРОЇДА НА ПРИКЛАДІ СПЕРМІЇВ ТВАРИН

Федюшко Ю.М., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет,

Тел.+38(0619)42-57-97

**Анотація** – пропонується математична модель процесу масопереносу часток кріоконсервуючого середовища до поверхні біологічних об'єктів за наявності акустичних коливань.

**Ключові слова** – еліпсоїдний сфероїд, біологічний об'єкт, середовище.

*Постановка проблеми.* Процес дії звукової хвилі на біологічний об'єкт описується краєвим завданням лінійної акустики. В результаті рішення цієї задачі отримані аналітичні вирази для коливальної швидкості і надмірного тиску в границях меж біологічного об'єкту. Ці величини використовуються для розрахунків швидкості мікропотоків, що виникають в кріоконсервуючому середовищі на межі біологічних об'єктів та при моделюванні процесу масопереносу часток кріоконсервуючого середовища до поверхні біологічного об'єкту[1,4].

*Аналіз останніх досліджень.* Кріоконсервуюче середовище розглядається як суцільне середовище із заданими значеннями щільності, швидкості звуку і в'язкості. Біологічні об'єкти моделюються геометричними тілами у вигляді кулі і еліпсоїдами обертання (витягнутий сфероїд). На поверхнях цих тіл ставиться гранична умова: рівність нулю, суми тиску збудливої звукової хвилі і надмірного тиску, що виникає в результаті дифракції звукової хвилі на біологічному об'єкті.

Асимптотичні методи засновані на використанні параметрів щодо малої величини. З урахуванням деяких припущень, рівняння механіки безперервних середовищ можуть бути спрощені [2]. Наприклад, такий експериментальний факт, як незначна зміна профілю сигналу на відстанях порівняних з довжиною хвилі, визначається мінімальністю числа Маху ( $M$ ). Малий параметр  $Ml$  може бути використаний для отримання рівняння Бюргера, що описує розповсюдження плоских нелінійних хвиль. Для опису слабкої дифракції ультразвукової хвилі використовується інший малий параметр, тобто відношення довжини ультразвукової хвилі до радіусу ультразвукового випроміню-

нювача. Відповідне припущення може бути застосоване в теорії розповсюдження електромагнітних хвиль і лазерних променів (так зване квазіоптичне приближення). Повна система диференціальних рівнянь в окремих похідних для ультразвукового пучка і поля гідродинамічних швидкостей і температур [3], має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tilde{M}}{c_0} \frac{\partial p}{\partial \tau} - \frac{\varepsilon}{c_0^3 \rho_0} \cdot p \frac{\partial p}{\partial \tau} - \frac{b}{2c_0^3 \rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial \tau^2} \right] = \Delta_- p = \frac{c_0}{2} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial p}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_r \frac{\partial U_x}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_0}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho_0} \Delta_- U_x + F - \beta g T; \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r U_r) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U_x \frac{\partial T}{\partial x} + U_r \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\chi}{\rho C_p} \Delta_- T + \frac{c_0}{C_p} F, \quad (4)$$

де  $(x, r)$  – циліндричні координати, вісь  $x$  співпадає з віссю пучка;

$p$  – звуковий тиск;

$\tau = t - x/c_0$  – час;

$\rho_0$  і  $c_0$  – щільність середовища та швидкість звуку;

$g$  – гравітаційне прискорення;

$\varepsilon = 1 - \frac{1}{2} c_0^4 \rho_0 \left( \frac{\partial^2 \rho}{\partial p^2} \right)_s$  – параметр нелінійності;

$b = \xi + \frac{4}{3} \eta + \chi \left( \frac{1}{C_v} + \frac{1}{C_p} \right)$  – параметр, який описує ефективні втрати;

$\xi$  і  $\eta$  – відповідно, коефіцієнти об'ємний та зсуву в'язкості;

$\chi$  – теплопровідність середовища;

$C_p$  і  $C_v$  – теплоємності середовища при постійному тиску та об'ємі.

У кріоконсервуючому середовищі розповсюджується задана монохроматична звукова хвиля з потенціалом швидкостей  $U^i$ . В результаті розсіювання цієї хвилі на біологічному об'єкті виникає розсіяна акустична хвиля з потенціалом коливальної швидкості  $U^s$ . Тоді функція  $U^s$  повинна задовольняти однорідне рівняння Гельмгольца, а на межі біологічного об'єкту повний тиск повинен обернутися в нуль, тобто:

$$\left( U^i + U^s \right) \Big|_{\partial S} = 0, \quad (5)$$

де  $\partial S$  – гранична поверхня біологічного об'єкту.

На великих відстанях від біологічного об'єкту функція  $U^s$  повинна прагнути до нуля при  $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \rightarrow \infty$ . Якщо поглинання в кріоконсервуючому середовищі достатньо мале ( $\gamma \rightarrow 0$ ), то функція  $U^s$  повинна задовольняти умову випромінювання Зоммерфельда [4].

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є побудова та вирішення задачі по визначенню граничного інтегрального рівняння першого роду відповідно нормальної компоненти швидкості на основі теорії потенціалу.

*Основна частина.* Безпосередня дискретизація граничного інтегрального рівняння першого роду за допомогою існуючих квадратурних виразів для інтегралів [5], частіше за все приводить до невизначеної обумовленої системи лінійних алгебраїчних рівнянь, тому ми будемо розглядати випадок для біологічного об'єкту в вигляді еліпсоїдального сфероїда (модель спермія).

Введемо сфероїдальні координати за наступними виразами:

$$\begin{aligned} x &= c \sqrt{(\xi^2 - 1)(1 - \eta^2)} \cos \varphi ; \\ y &= c \sqrt{(\xi^2 - 1)(1 - \eta^2)} \sin \varphi ; \\ z &= c \xi \eta, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $c = \sqrt{a^2 - b^2}$ ,  $a$  та  $b$  – відповідно, більша й менша напівосі еліпсоїдального сфероїда.

Змінні  $\xi, \eta, \varphi$  визначаються в інтервалах  $\xi \in [1, \infty]$ ,  $\eta \in [-1, 1]$ ,  $\varphi \in [-\pi, \pi]$ . Ці змінні виражаються через декартові координати  $x, y, z$  за виразами :

$$\xi = \frac{r_1 + r_2}{2c}; \quad \eta = \frac{r_1 - r_2}{2c}; \quad \varphi = \arctg(y/x), \quad (7)$$

де введені додаткові позначення:

$$r_1 = [x^2 + y^2 + (z + c)^2]^{1/2}, \quad r_2 = [x^2 + y^2 + (z - c)^2]^{1/2}. \quad (8)$$

Рівняння поверхні еліпсоїдального сфероїда в сфероїдальних координатах мають простий вид:

$$\xi = \xi_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}}. \quad (9)$$

Нехай координати точки на цій поверхні будуть  $\xi_0, \eta_0, \varphi_0$ , а координати довільної точки поза поверхнею  $\xi = \xi_0$ , будуть  $\xi, \eta, \varphi$  причому  $\xi > \xi_0$ . Тоді легко показати, що

$$\eta_0 = \pm \left(1 - \cos^2 \tau / (1 - e^2 \cos^2 \tau)\right)^{1/2},$$

де  $\tau$  – параметр параметризації поверхні еліпсоїда обертання.

Для функції Гріна  $G(kR)$  [5], справедливо розкладання в ряд по сфероїдальним функціям:

$$\begin{aligned} G(kR) &= -\frac{ik}{2\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{p=m}^{\infty} \frac{\varepsilon_m}{\gamma_{mp}} S_{mp}(h, \eta_0) S_{mp}(h, \eta) \times \\ &\times \cos m(\varphi - \varphi_0) j e_{mp}(h, \xi_0) h e_{mp}(h, \xi), \end{aligned} \quad (10)$$

де  $S_{mp}(h, \eta)$  – кутові сфероїдальні функції;

$je_{mp}(h, \xi)$  та  $he_{mp}(h, \xi)$  – радіальні сфероїдальні функції;

$h = k \sqrt{a^2 - b^2}$  при  $\varepsilon_0 = 1$ ,  $\varepsilon_m = 2$ ,  $m \neq 0$ ;

$$\gamma_{mp} = \int_{-1}^1 |S_{mp}(h, \eta)|^2 d\eta,$$

$$R^2 = (a^2 - b^2) \left[ \xi^2 + \xi_0^2 - \eta^2 - \eta_0^2 - 2\xi\xi_0\eta\eta_0 - \right.$$

$$\left. - 2\sqrt{(\xi^2 - 1)(\xi_0^2 - 1)(1 - \eta^2)(1 - \eta_0^2)} \cos(\varphi - \varphi_0) \right].$$

Використовуючи (10), можна розрахувати внутрішній інтеграл

$$\int_{-\pi}^{\pi} G(kR) d\varphi = -ik \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{\gamma_{0p}} S_{0p}(h, \eta_0) S_{0p}(h, \eta) je_{0p}(h, \xi_0) he_{0p}(h, \xi). \quad (11)$$

Після ряду перетворень отримаємо наступний вираз для потенціалу  $U^S$  коливальної швидкості:

$$U^S = 2A \sum_{p=0}^{\infty} \frac{ip}{\gamma_{0p}} a_p S_{0p}(h, 1) S(h, \eta) he_{0p}(h, \xi), \quad (12)$$

де  $a_p = -je_{0p}(h, \xi_0) / he_{0p}(h, \xi_0)$ .

Оскільки довжина збуджуючої звукової хвилі значно більше геометричних розмірів еліпсоїдального сфероїда, то, параметр  $h = k \sqrt{a^2 - b^2}$  повинен бути менше одиниці ( $h \rightarrow 0$ ).

Надалі вважатимемо, що амплітуда розсіяної хвилі нормована на амплітуду  $A$  збудливої хвилі і вважати  $A = 1$ .

Виконавши ряд перетворень та врахувавши граничні умови члену ряду (12) з індексом  $p = 0$ , в результаті отримаємо приближений вираз для потенціалу коливальної швидкості:

$$U^S = - \frac{AR}{r_1 + r_2} e^{ik \frac{r_1 + r_2}{2}}, \quad (13)$$

$$\text{де } r_1 = \left( x^2 + y^2 + (z + c)^2 \right)^{1/2};$$

$$r_2 = \left( x^2 + y^2 + (z - c)^2 \right)^{1/2};$$

$x, y, z$  – декартові координати точки, де визначається потенціал  $U^S$  (початок координат співпадає з центром симетрії еліпсоїдального сфероїда);

$$R = \frac{4a}{2 + \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \ln \frac{b}{a + \sqrt{a^2 - b^2}}}. \quad (14)$$

Звідки видно, що при  $a = b = R$ , еліпсоїдний сфероїд перетворюється на сферу радіусу  $R$ . Якщо скористатися виразом для хвильового числа  $k$ , то отримаємо:

$$U^s = - \frac{A R e^{-\alpha \frac{(r_1+r_2)}{2}}}{r_1+r_2} \cos \left( k_0 \frac{(r_1+r_2)}{2} - \omega t \right) \quad (15)$$

Таким чином, потенціал коливальної швидкості для еліпсоїдного сфероїда по своїй структурі подібний до потенціалу для кулі. Насправді, з (15) витікає, що при значних відстанях від межі еліпсоїдного сфероїда, коли виконується умова  $r_1+r_2 \cong 2r = 2(x^2+y^2+z^2)^{1/2}$ , вираз потенціалу  $U^s$  набуде вигляду:

$$U^s = - \frac{A R e^{-\alpha r}}{r} \cos(k_0 r - \omega t), \quad (15)$$

$$R = \frac{2a}{2 + \frac{a}{\sqrt{a^2-b^2}} \ln \frac{b}{a + \sqrt{a^2-b^2}}}. \quad (16)$$

З (15) витікає, що потенціал коливальної швидкості еліпсоїдного сфероїда на великих відстанях ( $r_1+r_2 \cong 2r$ ) співпадає з потенціалом коливальної швидкості сфери з радіусом що задається по формулі (16). Тоді швидкість поля визначається:

$$\vec{V} = \frac{A R \vec{r} e^{-\alpha \frac{(r_1+r_2)}{2}}}{\rho_0 r_1 r_2} \left[ \cos \left( k_0 \frac{(r_1+r_2)}{2} - \omega t \right) \left( \frac{1}{r_1+r_2} + \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{k_0}{2} \sin \left( k_0 \frac{(r_1+r_2)}{2} - \omega t \right) \right], \quad (17)$$

де  $\vec{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z$ ,  $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$  – орти декартової системи координат з початком співпадаючим з центром симетрії еліпсоїдного сфероїда.

*Висновки.* Таким чином, побудована математична модель процесу дії звукової хвилі на кріоконсервуюче середовище, що містить біологічні об'єкти, дозволяє визначати всі основні характеристики процесу впливу. За допомогою цієї моделі в низькочастотному приближенні отримані аналітичні вирази для розрахунку коливальної швидкості і надмірного тиску, що виникають в кріоконсервуючому середовищі під дифракцією звукової хвилі на біологічному об'єкті. Ці вирази є основою для аналізу процесу масопереносу часток кріоконсервуючого середовища до поверхні біологічних об'єктів за наявності акустичних коливань.

Література

1. Кунденко Н.П. Математическое моделирование процесса воздействия акустического поля на кріоконсервирующую среду с био-



логическим объектом: матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" / *Н.П. Кунденко*. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2011. – Вип 117. – С. 140-142.

2. *Еременко З.Е.* Объемный полусферический резонатор для измерения диэлектрической проницаемости в малом объеме сильно поглощающей жидкости / *З.Е. Еременко, Е.М. Гананольский* // Радиоп физика и электроника: сб. науч. тр. / – Харьков: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2003. – Т. 8, № 2. – С. 187–196.

3. *Ширман Я.Д.* Радиоволноводы и объемные резонаторы / *Я.Д. Ширман*. – М.: Гос. изд-во лит-ры по вопросам связи и радио, 1959. – 380 с.

4. *Акопян В.Б.* Исследование механизмов действия ультразвука на биологические среды и объекты. / *В.Б. Акопян, А.П. Сарвазян* // Акустический журнал. – 1979. – Т. 25. – С. 462-463.

5. *Бахвалов Н.С.* Численные методы. / *Н.С. Бахвалов*. – М.: Наука, 1975. – 632 с.

## **ПАРАМЕТРАЛЬНЫЕ ПРИЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА ЧАСТИЦ ДЛЯ ЭЛЛИПСОИДНОГО СФЕРОИДА НА ПРИМЕРЕ СПЕРМИЕВ ЖИВОТНЫХ**

Федюшко Ю.М.

### ***Аннотация***

**Предлагается математическая модель процесса массопереноса частиц криоконсервующей среды к поверхности биологических объектов при наличии акустических колебаний.**

## **PARAMETRAL'NI RECEPTIONS OF DESIGN TO CARRY THOSE THE MASS OF PARTICLES FOR ELLIPSOID SPHEROID OF STEP EXAMPLE OF SPERM OF ANIMALS**

Yu. Fediushko

### ***Summary***

**The mathematical model of process of carry those the mass of particles of kriocanning environment is offered to the surface of biological objects at presence of acoustic vibrations.**

УДК 621.316.1

## ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ В СИСТЕМАХ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Козирський В.В., д.т.н.,

Гай О.В., к.т.н.,

Бодунов В.М., інженер,

Костюк В.А., інженер.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (044) 267-85-22

**Анотація** – у статті розглянута проблема відновлення системи електропостачання (СЕП) з розподіленою генерацією після аварії та запропонована схема реалізації цього процесу. Наведені методи і алгоритми розв'язку основних завдань відновлення СЕП. На прикладі тестової схеми розподільної електричної мережі, що містить джерело електропостачання споживачів електричної енергії.

**Ключові слова** – система електропостачання, джерела розподіленої генерації, динамічні енергоострова, засоби управління, комутаційна апаратура.

**Постановка проблеми.** Звичайно СЕП, проектуються як замкнені, але працюють за радіальною схемою з одним (або більш) пунктом живлення від основної електричної мережі (основного пункту живлення). Одним з найбільш важливих завдань керування режимами СЕП є відновлення електропостачання споживачів після аварійного відключення основного пункту живлення [1]. Особливої актуальності ця тема набирає в останній час завдяки дуже широкому впровадженню джерел розподіленої генерації до складу розподілених мереж напруження 0,38-10 кВ.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі в цій області дослідження засновані на використанні методів теорії графів і комбінаторної математики [2-5], бази знань, формованої шляхом моделювання безлічі конфігурацій і режимів роботи розподільної мережі поза реальним часом [6 - 8], і ін. В [9] розглядається комплексний метод відновлення схеми СЕП шляхом комбінації алгоритму обробки графів і попередньо навченої штучної нейронної мережі.

При наявності розподіленої генерації аварія може привести до поділу СЕП на "острови", що включають джерела розподіленої генерації, що забезпечують електроенергією найбільш відповідальних прилеглих споживачів, при цьому процес відновлення їх живлення суттєво міняється. Аналізу різних проблем відновлення СЕП із розподіленою генерацією присвячений ряд робіт. Зокрема, в [10] розглянуті нові принципи побудови захисту й автоматики при наявності розподіленої генерації в радіальній розподільній електричній мережі при її відновленні.

*Формування цілей статті.* Розглянутий в рамках статті підхід відноситься до аварійних захисних схем для автоматичного відключення, що безпосередньо реагують на небажане відхилення від нормального неелектричного робочого режиму з наступним повторним підключенням або без нього, а саме до режимів роботи розподільних електричних мереж з приєднаними джерелами розподіленої генерації.

*Основна частина.* Один із відомих способів формування енергоострову полягає в відокремленні групи ділянок централізованої розподільної електричної мережі в автономну систему електричної мережі, що живиться від джерел розподіленої генерації, причому відокремлення відбувається при виникненні аварійної ситуації.

Недоліками відомого способу є відсутність враховування динамічного характеру зміни навантаження; додаткові затрати на мінімізацію кількості перемикань під час формування енергоостровів, оскільки сучасні автоматичні комутаційні апарати розподільних електричних мереж мають значний комутаційний ресурс.

В основу заявленого підходу поставлено задачу створення способу формування динамічного енергоострову для забезпечення мінімуму недовідпуску електроенергії споживачам.

Поставлена задача вирішується тим, що на відміну від існуючих підходів щодо формування енергетичних островів, згідно з якими енергоострів формується на повну тривалість після аварійного періоду відповідно до максимальної розрахункової потужності навантажень, запропонований енергоострів формується одночасно з ізолюванням пошкодженої внаслідок аварії ділянки, та має динамічно змінну структуру з фіксацією інтервалів часу по ділянках відокремленої системи електричної мережі протягом яких структура є сталою. При цьому джерелом електроживлення відокремленої системи електричної мережі (енергоострову) є джерела розподіленої генерації.

Суть підходу полягає в формуванні раціонального принципу функціонування розподільної мережі з джерелом розподільної генерації, при якому система автоматика внаслідок аварійного стану знеструмує мінімально можливу кількість споживачів, внаслідок інтелек-

туального перерозподілу між електричними джерелами ґрунтуючись на прогнозованих значеннях навантажень.

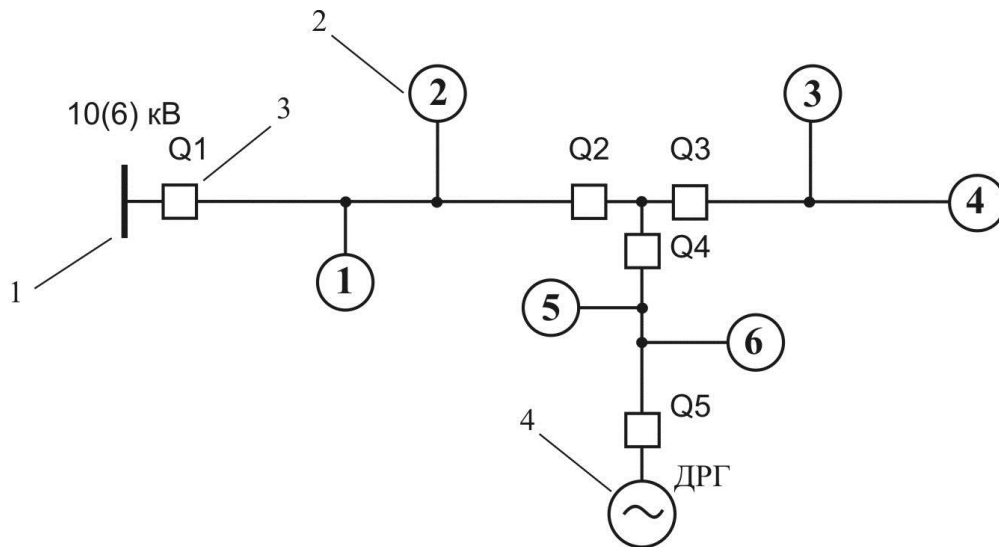


Рис. 1. Структурна схема фрагменту розподільної електричної мережі з джерелами розподіленої генерації.

Особливості запропонованого підходу пояснюється кресленнями, на яких зображено структурну схему фрагменту розподільної електричної мережі з джерелами розподіленої генерації (рис. 1), добові графіки навантаження електроспоживачів за активною потужністю (рис. 2) та алгоритм управління комутаційними апаратами в електричній мережі з джерелами розподіленої генерації (рис. 3).

Запропонований спосіб формування динамічного енергоострову полягає у наявності джерела електроживлення 1, вузлів навантаження 2, секціонуючих комутаційних апаратів 3 та джерел розподіленої генерації 4 (рис.1).

Принцип роботи динамічного енергоострову полягає в тому, що при виникненні аварії системна автоматика аналізує стан мережі за алгоритмом наведеним на рис. 3 і формує сигнали на керування переключеннями комутаційної апаратури. Ділянка, на якій відбулась аварія, відключається з обох сторін та виконується автоматичне відновлення електропостачання від загальної системи електроживлення та від ДРГ.

При відновленні електропостачання споживачів від ДРГ проводиться ретроспективний аналіз прогнозованих графіків навантаження з моменту початку аварії для ділянок, що відокремлені від енергосистеми аварійною точкою та з визначеним інтервалом дискретності приймаються експертні рішення стосовно підключення тих чи інших груп споживачів до ДРГ (рис. 2).

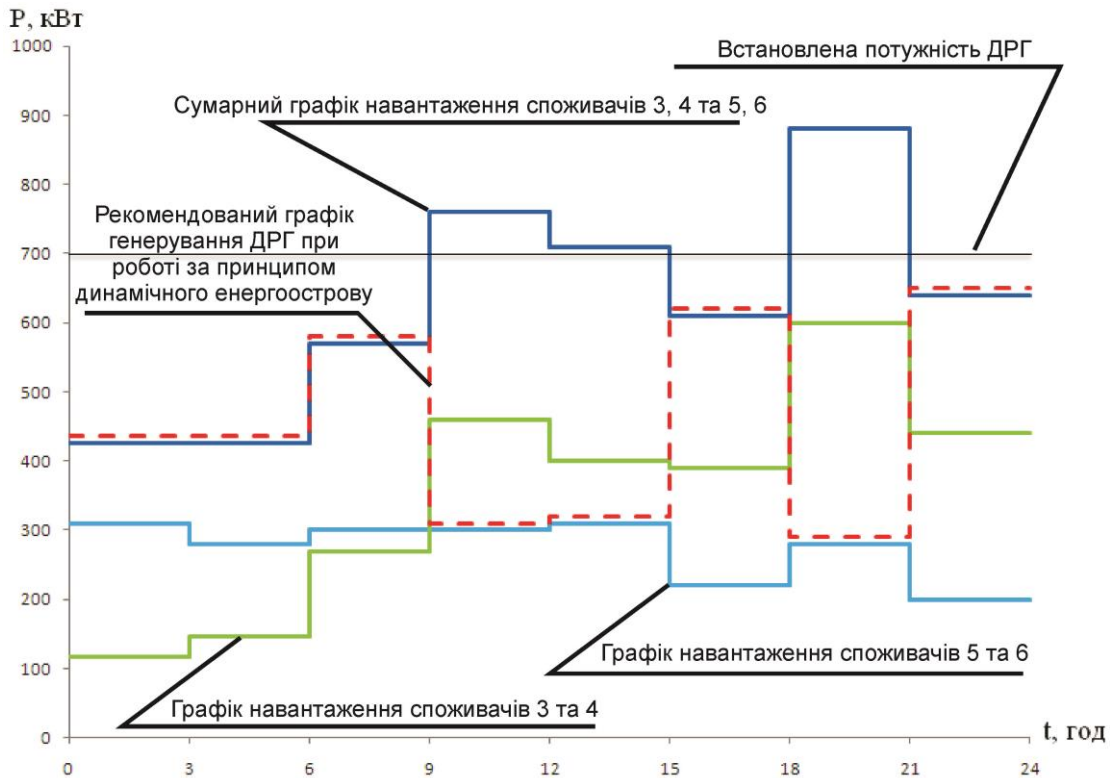


Рис. 2. Добові графіки навантаження електроспоживачів за активною потужністю.

Формування динамічного енергоостроу ґрунтується на виконанні запропонованого алгоритму:

1. формується вектор вузлів навантаження, що з'єднані непошкодженими ділянками електричної мережі з джерелом розподіленої генерації ( $H_1, H_2, \dots, H_k$ ) (вузли навантаження 3-6 на рис. 1);

2. проводиться прогнозування навантаження у вузлах  $H_1 - H_k$  на тривалість розрахункового періоду;

3. формуються групи вузлів навантаження  $j=1..J$  (потенціальні енергоострови) за умовами:

$$\begin{cases} P_{ДРГ \max} \geq \sum P_{ni} \\ Q_{ДРГ \max} \geq \sum Q_{ni} \end{cases}; \quad (1)$$

4. проводиться розрахунок прогнозованого значення відпуску енергії  $W_j$  за розрахунковий період для кожного енергоостроу  $j = 1..J$ ;

5. обирається варіант енергоостроу  $j$ , що забезпечує мінімум невідпуску електроенергії;

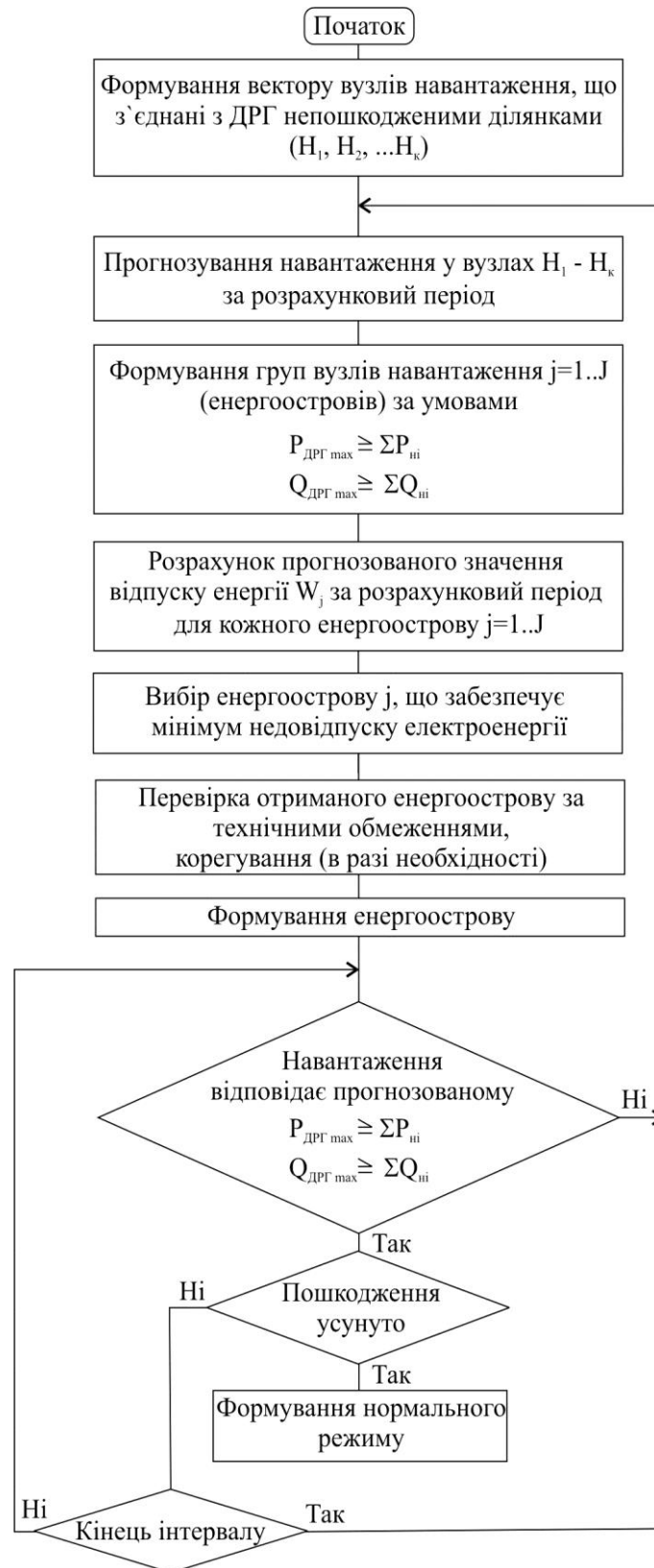


Рис. 3. Алгоритм управління комутаційними апаратами в електричній мережі з джерелами розподіленої генерації.

6. після перевірки отриманого енергоострову за технічними обмеженнями, та корегування (в разі необхідності), автоматична система формує керуючі сигнали для комутаційної апаратури з метою формування енергоострову.

Отриманий енергоострів  $j$  є незмінним протягом розрахункового інтервалу часу, якщо за цей період фактичне навантаження споживачів не перевищить допустимого та не буде відновлене живлення від енергосистеми. По завершенні розрахункового інтервалу алгоритм повторюється, починаючи з пункту 2.

*Висновки.* Використання даного підходу дозволить створити новий спосіб формування динамічного енергоострову для забезпечення мінімуму недовідпуску електроенергії споживачам, що дозволить підвищити ефективність використання потужності джерел розподіленої генерації та зменшити недовідпуск електроенергії споживачам.

#### Література

1. *Баасан Бат-Ундрал.* Методы комплексного исследования нормальных и послеаварийных режимов систем электроснабжения с распределенной генерацией / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / *Бат-Ундрал Баасан.* – Иркутск.: – 2009. – 15 с.

2. A new network reconfiguration technique for service restoration in distribution network / *N. D. R. Sarma, V. C. Prasad, Rao K. S. Prakasa, V. Sankar.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1994, vol. 9, No. 4.

3. Real time service restoration in distribution network / *N.D.R. Sarma, V.C. Prasad, Rao K.S. Prakasa, M. Srinivas.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1994, vol. 9, No. 4.

4. *Popovic D. A.* A multi objective algorithm for distribution network restoration. / *D.A. Popovic, R.M. Giris.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1999, vol. 14, No. 3.

5. *Успенский М.И.* Компьютеризация управления режимами на подстанциях. / *М.И. Успенский, Т.Б. Старцева, Г.П. Шумилова.* – Сыктывкар: Изд-во КомиНЦ УрО РАН, 1996.

6. *Hsu Yuan-Yih.* Application of microcomputer-based database management system to distribution system reliability evaluation. / *Hsu Yuan-Yih, Chen Li-Ming, Chen Jian-Liang.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1990, vol. 5, No. 1.

7. *Zhang Z.Z.* A knowledgebased approach to optimize switching in substations. / *Z.Z. Zhang, G.S. Hope, O.P. Malik.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1990, vol. 5, No. 1.

8. *Dabbaghchi L.* An abductive expert system for interpretation of real time data. / *L. Dabbaghchi, R.J. Gurski.* – IEEE Trans. Power Delivery, 1993, vol. 8, No. 3.

9. *Успенский М.И.* Комплексный метод восстановления схемы электроснабжения потребителей распределительной сети / *М.И. Успенский, И.В. Кызродев* // Электричество. – 2002. – № 12.

10. *Taylor J.K.* Restoration of fuse-recloser coordination in distribution system with high DG penetration. / *J.K. Taylor, A.H. Osman.* – IEEE PES General Meeting, Pittsburgh, USA, 2008, July 20-24.

### **ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Козырский В.В. Гай А.В. Бодунов В.Н., Костюк В.А.

#### *Аннотация*

**В статье рассмотрена проблема восстановления системы электроснабжения (СЭП) с распределенной генерацией после аварии и предложена схема реализации этого процесса. Приведены методы и алгоритмы решения основных задач восстановления СЭП. На примере тестовой схемы распределительной электрической сети, содержащей источник электроснабжения потребителей электрической энергии.**

### **DYNAMIC MODEL OF RECOVERY ELECTRICITY CONSUMERS IN SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION SOURCES**

V. Kozyrsky, A.Guy, V. Bodunov N, V. Kostyuk

#### *Summary*

**In this paper the problem of restoration of power supply (EPS) with distributed generation after the accident and the proposed scheme of this process. The methods and algorithms for solving the basic problems restoring EPS. For example test circuit distribution mains, which contains a source of electricity consumers of electricity.**



УДК 631.333.5

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОЗОВАНОГО ВИВАНТАЖЕННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ БУНКЕРІВ РОЗКИДАЧІВ КУЗОВНОГО ТИПУ

Гуцаленко О.В., к.т.н.

Вінницький національний аграрний університет

Тел. +38(097)751-41-95

**Анотація** – в статті здійснено аналіз способу дозованого витікання мінерального добрива, як сипкого матеріалу з бункерів розкидачів різноманітних конструкцій.

**Ключові слова** – бункер розкидача, пошаровий розподіл, сипкий матеріал, мінеральні добрива, ущільнені зони.

*Постановка проблеми.* Аналіз конструкцій машин для внесення мінеральних добрив та їх робочих органів з точки зору ефективності їх застосування в керованому землеробстві свідчить, що вони мають певні вади, а саме недосконалість стосовно виконання завдання з заданою нормою внесення і просторовою точністю.

Основні недоліки цих машин: висока нерівномірність розподілу мінеральних добрив по ширині захвату машини, нестабільність ширини захвату, довільний перерозподіл мінеральних добрив в межах ширини захвату та неможливість регулювання траєкторії польоту частинок мінеральних добрив після їх сходу з розсіювального диску. Також робочі органи розкидачів чутливі до зміни рельєфу поверхні поля та дії погодних факторів, зокрема вітру. Ці недоліки роблять недоцільним застосування технології змінних норм внесення мінеральних добрив на машинах з дисковими робочими органами.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомі роботи, які присвячені дослідженню бункерів з вільним витіканням матеріалів під дією сили тяжіння. Цей напрямок в достатній мірі розвинуто завдяки роботам Алфєрова К.П., Карпенка О.М., Семенова А.Н., Володимирова А.А., Василенка П.М., Зенкова Р.Л., Степанова А.А., Новикова А.Н., Генієва Г.А., Берштейна М.С., Мерзлякова І.П., Ареф'єва А.І. та ін.

*Мета дослідження:* здійснити аналіз впливу якості вивантаження сипких матеріалів, якими є мінеральні добрива з бункерів розкидачів кузовного типу, на якість їх внесення.

*Основні матеріали дослідження.* Бункери розкидачів мінеральних добрив кузовного типу являють собою призматичні ємності. По-

шаровий розподіл мінеральних добрив здійснюється за рахунок руху транспортера. Вихід добрив здійснюється через горизонтальний (боковий) розвантажувальний отвір.

Основними вимогами стосовно роботи бункерів розкидачів мінеральних добрив є:

1. Безперервна подача мінеральних добрив до місця їх пошарового розподілу на транспортері.
2. Якість розподілу шарів мінеральних добрив:
  - дотримання заданої товщини шару;
  - рівна поверхня без розривів;
  - рівномірна щільність шару при розподіленні на поверхні транспортера.

Дані бункера мають ряд позитивних властивостей:

- простота конструкції та обслуговування;
- велика пропускна здатність;
- незначні експлуатаційні витрати.

Як показує досвід експлуатації розкидачів мінеральних добрив, існують порушення в технологічному процесі: низька якість розподілу шару мінеральних добрив, перебої в процесі подачі добрив в зону формування шару. Причиною низької якості розподілу шару мінеральних добрив є утворення усередині бункера нерухомих ущільнених зон, які знижують, а в деяких випадках припиняють подачу мінеральних добрив. Таке положення знижує якість внесення мінеральних добрив на полі.

За конструкцією бункера розкидачів бувають двох видів: симетричні і асиметричні.

Симетричні бункера поділяються на бункера з:

- прямокутними стінками;
- двома нахиленими поперечними стінками;
- двома нахиленими повздовжніми стінками;
- комбіновані.

Найбільш поширені бункера комбіновані, тобто з двома нахиленими поперечними і повздовжніми стінками.

Асиметричні бункера зустрічаються в зарубіжних конструкціях розкидачів мінеральних добрив.

Для дозування мінеральних добрив використовують планчасті транспортери, тарілчасті диски, шнеки, скребкові транспортери.

Розділення потоків мінеральних добрив на розкидаючі робочі органи здійснюється за допомогою дефлекторів, секційних тукоспрямуючих воронок, планчастих транспортерів, шнеків, скоб.

В даний час вдосконалення бункерів розкидачів кузовного типу вирішується за трьома напрямками:

- безперервна подача мінеральних добрив до місця їх пошарового розподілу.
- підвищення рівномірності внесення добрив;

- зменшення навантаження на транспортер і зниження потужності на привод транспортера;
- безперервна подача мінеральних добрив до місця їх пошарового розподілу;

Бункера розкидачів мінеральних добрив відносяться до бункерів пошарового розподілу.

Процес роботи бункерів з вільним витіканням достатньо вивчено. Наука про склепінне утворення сипучих матеріалів не тільки дає уяву про природу утворення склепіння над розвантажувальним отвором але й дає достатньо перевірені аналітичні залежності.

Проте в бункерах з пошаровим розподілом витікання сипких матеріалів відрізняється від такого ж процесу в бункерах з вільним витіканням. Це пояснюється тим, що процес витікання матеріалів розпочинається під час руху транспортера. При цьому витікання матеріалів усередині бункера обмежується боковими стінками та полотном транспортера. Вихід матеріалу відбувається через боковий отвір. Ці особливості впливають на характер процесу роботи і параметри бункера.

Роботи, присвячені дослідженням бункерів пошарового розподілу, в літературі висвітлені не достатньо. Вагомий внесок в розвиток теорії роботи бункерів пошарового розподілу вніс Панченко А.М. [1].

Для бункерів з вільним витіканням сипучих матеріалів довжина розвантажувального отвору вздовж бункера повинна дорівнювати

$$L > L_{ск}, \quad (1)$$

де  $L_{ск}$  – склепіннеутворюючий розмір розвантажувального отвору, м.

Чим більша довжина розвантажувального отвору  $L$ , тим стабільніше здійснюється процес витікання матеріалу з розвантажувального отвору.

В бункерах розкидачів мінеральних добрив довжина розвантажувального отвору вздовж бункера (кузова) значно перевищує мінімальний розмір (в 1500–2000 раз і більше). Проте в цих бункерах спостерігається формування нерухомих ущільнених зон мінеральних добрив в передній частині кузова. Це призводить до нестабільної подачі сипучого матеріалу в зону пошарового розподілу, знижує якість шару, що подається до розкидального робочого органу [2].

В роботах [1, 3, 4] були визначені і обґрунтовані основні критерії оцінки роботоздатності бункерів пошарового розподілу сипучих матеріалів, прийняття яких забезпечить стабільність подачі матеріалів до місця пошарового розподілу, ліквідацію нерухомих ущільнених зон матеріалу. Якість розподілу шару залежить від слідує показників: коефіцієнту руху  $K_\eta$  та витікання  $KB$ .

Коефіцієнт руху дорівнює

$$K_\eta = \frac{q_f}{q \cdot K_2} = 0,85 \dots 1,0, \quad (2)$$

де  $q_f$  – об'єм сипучого матеріалу, що рухається усередині бункера, м;  
 $q$  – геометричний об'єм бункера, м;  
 $K_2$  – коефіцієнт наповненості ємності бункера.

Для розрахунку запропонована формула

$$K_\eta = \frac{\cos 0,75\varphi_2}{\cos 0,25\varphi_2 \cdot \sin 0,5\varphi_2} \cdot \frac{h \cdot B \cdot H}{q \cdot K_2}, \quad (3)$$

де  $\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя штучного матеріалу, град;  
 $B$  – довжина розвантажувального отвору по ширині бункера, м;  
 $h$  – товщина шару розкладання, м;  
 $H$  – ширина розвантажувального отвору, м.

Коефіцієнт витікання матеріалів повинен задовольняти умові

$$KB \geq 0,45, \quad (4)$$

де

$$KB = \frac{\pi \cdot d_{50}}{B \cdot H \cdot L \cdot (1 + 2 \sin \alpha)^2} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} \{d_{50} \cdot (1 + 2 \sin \alpha) \cdot (L(K_3 - K_4 \cdot A_3) + 2B(K_1 - K_2 \cdot A_4)) + B \cdot L \cdot (K_3 - K_4 \cdot A_5) - \frac{C}{0,25\gamma \cdot K_\alpha} (2d_{50}(1 + 2 \sin \alpha) \cdot (L \cdot t_2 - B \cdot t_1) + 2B \cdot L \cdot t_2)\} \quad (5)$$

$$t_1 = 3 \cos^2 \alpha \cdot (1 + \sin \alpha) + 2 \sin \alpha + \cos \alpha \cdot (2 + 3 \cos^2 \alpha);$$

$$t_2 = \cos^2 \alpha (1 + \sin \alpha) + \sin \alpha + \cos \alpha (2 + 3 \cos^2 \alpha);$$

$$K_1 = 1 + 10^a + 10^{2a} + 10^{3a} + \dots + 10^{(n-1)a} + 10^{na};$$

$$K_2 = 1 + 10^a + 10^{2a} + 10^{3a} + \dots + 10^{(n-1)a} + 10^{(n-1)a} \cdot (1 + 3 \cos^2 \alpha + 3 \cos^4 \alpha);$$

$$K_3 = 1 + 10^m + 10^{2m} + 10^{3m} + \dots + 10^{(n-3)m} + 10^{nm};$$

$$K_n = 1 + 10^m + 10^{2m} + 10^{3m} + \dots + 10^{(n-3)m} + 10^{(n-2)m} \cdot (1 + 2 \cos^2 \alpha + 4 \cos^4 \alpha);$$

$$a = \lg(\cos^2 \alpha + \cos^4 \alpha);$$

$$m = \lg 2(\cos^2 \alpha + 2 \cos^4 \alpha);$$

$$n = \frac{\lg \left( (3H \cdot \gamma \cdot K_2^{-1}) \cdot (\pi^3 \cdot d_{50}^5 \cdot \Delta^3 \cdot B \cdot L)^{-1} \right)}{a + 2m};$$

$$A_1 = 0,1; A_4 = 0,02; A_5 = 0,2;$$

$d_{50}$  – середній розмір частинок матеріалу, м;

$B, H, L$  – відповідно ширина, висота, довжина розвантажувального отвору вздовж бункера, м;

$\alpha$  – кут укладання частинок матеріалу, град;

$\Delta$  і  $\gamma$  – відповідно питома та об'ємна маси матеріалу, т/м<sup>3</sup>;

$C$  – питоме зчеплення частинок матеріалу, кН/м<sup>2</sup>;

$K_\alpha$  – коефіцієнт розміру частинок, при  $d_{50} < 10$  мм –  $K_\alpha = 1,0$ ; при  $d_{50} > 10$  мм –  $K_\alpha = 0,1$ .

Богомягких В.А. [5] приводить значення кутів укладання кулястих частинок при різних типах укладки (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи щільних укладань кулястих частинок

Тип укладання	Координаційне число	Відстань між шаром куль	Пористість %	Кут укладання, град.
Просте кубічне	6	$2r$	47,14	0
Кубічно тетраїдальне	8	$2r$	39,54	0
Тетрагонально-сфероїдальне	10	$1,73r$	30,19	30
Тетраїдальне	12	$1,62r$	26,595	35
Пірамідальне	12	$0,742r$	25,95	45

Примітка:  $r$  – радіус кулі.

З допомогою теорії випадкових величин Богомягких В.А. визначив середнє статистичне значення кута укладання  $\alpha$  для ідеальних куль ( $\alpha = 29.8^\circ$ ).

Бузенков Г.М. [6] стверджує, що кут укладання частинок знаходиться в межах від  $44.7^\circ$  до  $60^\circ$ .

Для реальних суміші, за рекомендаціями Панченко А.М. [1] необхідно застосовувати формулу для розрахунку укладання:

– для ущільненого стану маси

$$\alpha = \arccos 0,5 \cdot \left( 1 - \left| \sqrt[3]{S_1 - S_2} \right| + \sqrt[3]{S_1 + S_2} \right); \quad (6)$$

– для розпушеного стану маси

$$\alpha = 0,75 \arccos 0,5 \cdot \left( 1 - \left| \sqrt[3]{S_1 - S_2} \right| + \sqrt[3]{S_1 + S_2} \right), \quad (7)$$

$$\text{де } s_1 = 0,5 - 0,172 \frac{\Delta}{\gamma} \left( 1 + \frac{\omega}{100} \right); \quad s_2 = \sqrt{0,5 - 0,34 \frac{\Delta}{\gamma} \left( 1 + \frac{\omega}{100} \right)};$$

$\omega$  – вологість матеріалу, %;

$\Delta$  і  $\gamma$  – відповідно питома вага та об'ємна маси матеріалу, т/м<sup>3</sup>.

Характер і закономірності процесу пошарового розподілу мінеральних добрив усередині бункера кузовного типу розкидачів і вплив їх на якість розподілу добрив у вітчизняній і зарубіжній літературі не висвітлено. Характер процесу залежить від відношення довжини розвантажувального отвору вздовж бункера до товщини розподіленого шару на транспортері, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив.

Невивченість процесів, що відбуваються усередині бункерів кузовного типу розкидачів мінеральних добрив є перешкодою в створенні науково-обґрунтованої методики розрахунку раціональних конструктивних та технологічних параметрів бункерів розкидачів, які дозволять забезпечити стабільну подачу мінеральних добрив до вертикального розвантажувального отвору.

*Висновки.* Для забезпечення комплексної механізації внесення сипких матеріалів, таких як мінеральні добрива необхідно поряд із розробкою нових машин удосконалити існуючі, враховуючи дослідження науковців та практичні рекомендації експлуатаційників.

*Література*

1. *Панченко А.Н.* Повышение работоспособности бункеров послонного распределения сыпучих материалов сельскохозяйственных и мелиоративных машин / *А.Н. Панченко.* – Днепропетровск: Дніпро. 1995. – 52 с.
2. *Семенов А.Н.* Механизация внесения удобрений / *А.Н. Семенов.* – М.: Колос, 1972. – 223 с.
3. *Панченко А.Н.* Бункера дренажников зоны орошения / *А.Н. Панченко.* – Ашхабад: Ылым, 1985. – 100 с.
4. *Панченко А.Н.* Критерии оценки работоспособности бункеров послонного распределения сельскохозяйственных сыпучих материалов // Научно-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 28 / *А.Н. Панченко.* – Кіровоград: 1999. – с. 94-95
5. *Богомягких В.Л.* Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / *В.Л. Богомягких.* – Ростов: РГУ, 1973. – 150 с.
6. *Бузенков Г.М.* Машины для посева сельскохозяйственных культур / *Г.М. Бузенков.* – М.: Машиностроение, 1976. – 269 с.
7. *Вильмер Х.* Сравнение пяти разбрасывателей минеральных удобрений / *Х. Вильмер.* – Пропозиция. 2001. – №2.

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЗИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ  
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БУНКЕРОВ  
РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ КУЗОВНОГО ТИПА**

Гуцаленко О.В.

*Аннотація*

**В статье дан анализ способам дозированного истечения минерального удобрения как сыпучего материала из бункеров разбрасывателей различных конструкций.**

**ANALYSIS RESEARCH DOSING UNLOADING BULK MATERIAL  
FROM HOPPERS SPREADER OF BODYWORK TYPE**

O. Gutsalenko

*Summary*

**The article analyzes the methods of dosage expiration mineral fertilizer as bunkers material hopper spreaders of different designs.**

УДК 621.327.539

## ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРІВ МОЛОКА

Синявський О.Ю., к.т.н.,

Савченко В.В., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (063) 566-96-28

**Анотація** – проведено дослідження впливу відхилення напруги та частоти струму на кутову швидкість і технологічні характеристики сепараторів молока. Встановлені залежності продуктивності сепаратора молока та кутової швидкості барабана від напруги і частоти струму.

**Ключові слова** – сепаратор молока, відхилення напруги, частота струму, електропривод, продуктивність, механічна характеристика.

*Постановка проблеми.* Відхилення напруги і частоти струму від нормованих значень викликає економічні збитки, які мають дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається в основному втратою активної потужності і зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова збитків обумовлена впливом якості електричної енергії на продуктивність технологічних установок та собівартість продукції, що випускається [1].

Сепаратори молока для відокремлення вершків потребують незмінної кутової швидкості барабана. Проте внаслідок відхилення напруги і частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну технологічних характеристик сепаратора. Тому дослідження зміни технологічних характеристик сепараторів молока при відхиленні напруги та частоти струму має теоретичне і практичне значення.

*Аналіз останніх досліджень.* Допустиме відхилення напруги в Україні становить  $\pm 5\%$ , а гранично допустиме її відхилення  $\pm 10\%$ . Допустиме відхилення частоти струму  $\pm 0,2\%$ , а гранично допустиме відхилення  $\pm 0,4\%$  [6].

Проведені дослідження показали, що фактичне відхилення напруги в електромережах України значно перевищує допустиме значення. Математичне очікування відхилення напруги знаходиться в межах  $16\%$ , а діапазон зміни напруги складає  $15\text{--}28\%$  від номінального [5]. Відхилення напруги у 3-4 рази перевищують допустимі значення.

ня. Тривалість постачання неякісної енергії складає (у найвіддаленіших споживачів) 45% від загального часу роботи.

Нині в Україні не проводяться дослідження впливу якості електричної енергії, що постачається сільським електроспоживачам, на технічні характеристики цих споживачів, технологічні характеристики сільськогосподарських машин і агрегатів.

*Формулювання мети статті.* Метою даної роботи є дослідження впливу відхилення напруги і частоти струму у мережі живлення на технологічні характеристики сепараторів молока.

*Основна частина.* При відхиленні напруги і частоти струму асинхронний двигун працює на робочій частині механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [2], тобто

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}(\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;

$\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;

$\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>.

Механічна характеристика сепаратора молока має вентиляторний вигляд [3]

$$M_c = M_0 + b\omega^2, \quad (2)$$

де  $M_0$  – початковий момент, Н·м;

$b$  – коефіцієнт, Н·м·с<sup>2</sup>.

При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}U_*^2(\omega_0 - \omega), \quad (3)$$

де  $U_* = U/U_n$  – напруга у відносних одиницях.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partial}U_*^2(\omega_0 - \omega) = M_0 + b\omega^2, \quad (4)$$

звідки отримаємо

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega^2}{\beta_{\partial}(\omega_0 - \omega)}}, \quad (5)$$

У відносних одиницях вираз (5) має вигляд

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2\omega_*^2}{\beta_{\partial}(\omega_0 - \omega_n\omega_*)}}, \quad (6)$$

де  $\omega_* = \omega/\omega_n$  – кутова швидкість у відносних одиницях.

Як впливає із виразу (6), кутова швидкість сепаратора молока при відхиленні напруги змінюється за складним алгоритмом.

При зміні частоти струму механічна характеристика двигуна на робочій ділянці описується рівнянням [4]:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}\left(\frac{2\pi f}{p} - \omega\right), \quad (7)$$

де  $f$  – частота струму, Гц;



$p$  – число пар полюсів.

В усталеному режимі роботи:

$$\beta_{\partial} \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + b\omega^2. \quad (8)$$

Синхронна кутова швидкість при номінальній частоті струму  $f_n$ :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (9)$$

Тоді рівняння (8) запишеться у вигляді

$$\beta_{\partial} (\omega_{0n} f_* - \omega) = M_0 + b\omega^2, \quad (10)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega^2 + \beta_{\partial}\omega}{\beta_{\partial}\omega_{0n}}, \quad (11)$$

або

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega_n^2 \omega_*^2 + \beta_{\partial}\omega_n \omega_*}{\beta_{\partial}\omega_{0n}}. \quad (12)$$

Вираз (11) можна також представити у вигляді

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega^2}{\beta_{\partial}\omega_{0n}} + \frac{\omega}{\omega_{0n}} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{0n}} + \frac{\omega}{\omega_{0n}}. \quad (13)$$

Оскільки для привода сепараторів молока застосовуються електродвигуни з жорсткою механічною характеристикою, то перепад швидкості невеликий і  $\omega_n \approx \omega_{0n}$ , тому першим додатком у виразі (13) можна знехтувати. Тоді отримаємо

$$f_* \approx \omega_*. \quad (14)$$

У сепараторів молока продуктивність залежить від квадрата кутової швидкості

$$Q = d^2 \omega^2 z \operatorname{tg} \alpha \cdot R_{\partial}^2 - R_M^2 (\rho_n - \rho_{ж}) \eta_c / (8,6 \eta_n), \quad (15)$$

де  $Q$  – продуктивність;

$d$  – діаметр кульки жиру;

$\omega$  – кутова швидкість;

$z$  – кількість міжтарілочних просторів у барабані;

$\alpha$  – кут нахилу тарілки до горизонталі;

$R$  – радіус обертання;

$\rho_n$  – густина плазми;

$\rho_{ж}$  – густина жиру;

$\eta_c$  – ККД сепаратора;

$\eta_n$  – динамічна в'язкість плазми.

Звідси випливає, що продуктивність сепараторів молока дорівнює

$$Q_* = \omega_*^2. \quad (16)$$

Тоді закон зміни продуктивності сепаратора молока при зміні напруги запишеться у вигляді

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2 Q_*}{\beta_\partial (\omega_0 - \omega_n \sqrt{Q_*})}}. \quad (17)$$

Закон зміни продуктивності сепаратора молока запишеться у вигляді

$$Q_* = f_*^2. \quad (18)$$

При експериментальних дослідженнях напругу на двигуні сепаратора молока СОМ-3-1000М змінювали за допомогою автотрансформатора, частоту струму – за допомогою частотного перетворювача, при цьому вимірюючи частоту обертання вала тахометром.

Проведені експериментальні дослідження зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора молока СОМ-3-1000М при зміні напруги показали, що із її зростанням продуктивність і момент статичних опорів молочного сепаратора непрямолінійно зростають. Залежності зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора при зміні напруги показані на рис. 1.

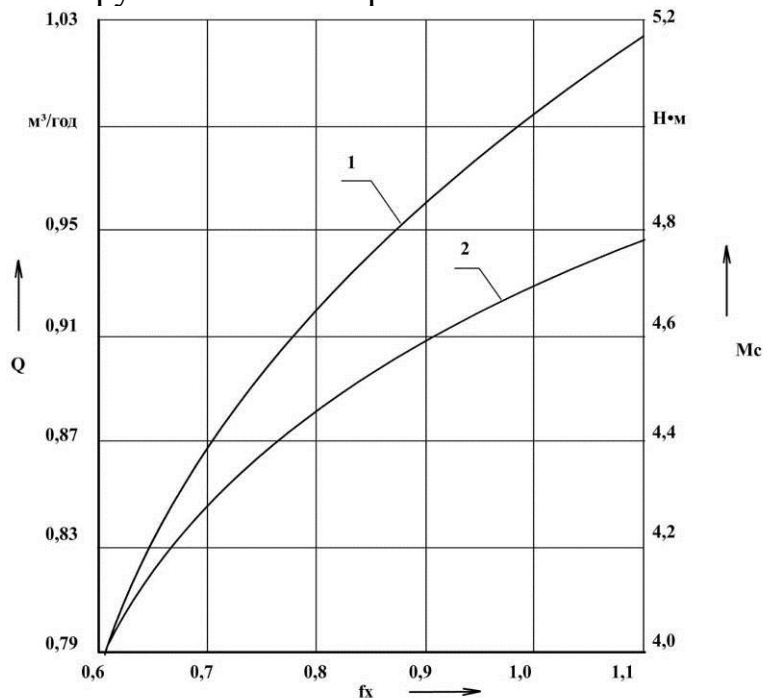


Рис.1. Залежності продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) сепаратора молока СОМ-3-1000М від напруги.

Відхилення напруги впливає на перехідні процеси в електроприводі сепаратора молока, викликаючи при зниженні напруги зростання часу пуску, що призводить до перегрівання двигуна.

Експериментальні криві перехідного процесу  $n = f(t)$  пуску сепаратора молока СОМ-3-1000М при номінальній і зниженій у  $\sqrt{3}$  раз напрузі показані на рис. 2. Як впливає із наведених залежностей, зниження напруги викликає несуттєве зниження частоти обертання, але значно збільшує час пуску.

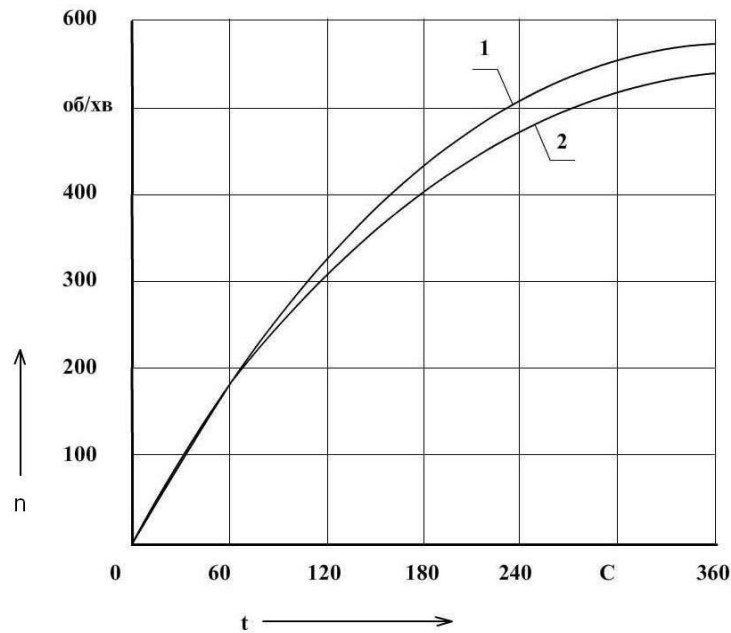


Рис. 2. Криві розгону сепаратора молока СОМ-3-1000М при номінальній (1) і зниженій у  $\sqrt{3}$  раз напрузі (2).

Проведені експериментальні дослідження показали, що продуктивність і момент статичних опорів сепаратора молока залежать від квадрату частоти струму. Залежності зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора молока СОМ-3-1000М при зміні частоти струму показані на рис. 3.

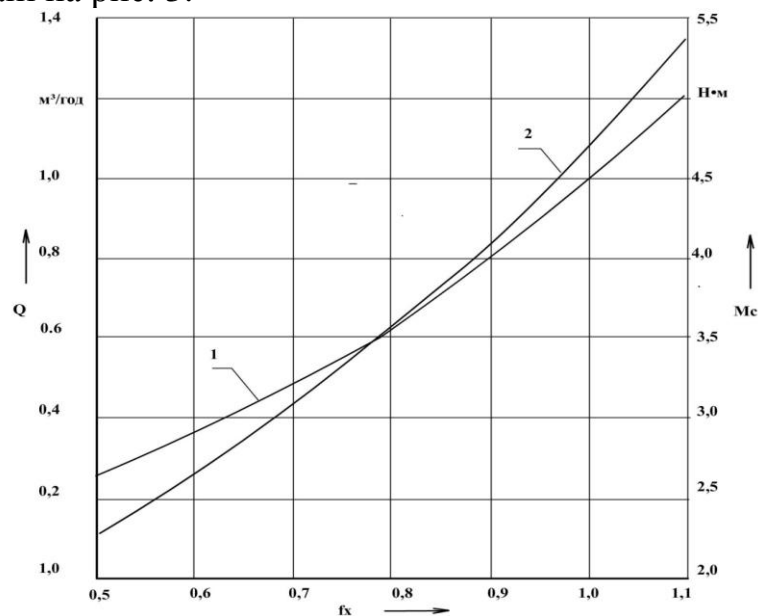


Рис. 3. Залежність продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) сепаратора молока СОМ-3-1000М від частоти струму.

*Висновки.* На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20% кутова швидкість барабана знижується на 4%, а продуктивність сепаратора молока – до 9%. При зниженні частоти струму на 2% його продуктивність знижується до 4%.

## Література

1. *Аванесов В.М.* Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения / *В.М. Аванесов, Е.В. Садков* // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2005. – №4. – С. 19-21.
2. Электропривод / [*Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І.* та ін.]; за ред. *Ю.М. Лавріненка.* – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Электропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [*Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М.* та ін.]; за ред. *Є.Л. Жулая.* – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
4. *Ключев В.И.* Теория электропривода / *В.И. Ключев* – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 560 с.
5. *Перова М.Б.* Качество сельского электроснабжения: комплексный подход / *М.Б. Перова.* – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. – 72 с.
6. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – [Чинний від 1999-01-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 31 с. – (Межгосударственный стандарт).

## **ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ ТОКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРОВ МОЛОКА**

Синявский А.Ю., Савченко В.В.

### *Аннотация*

**Проведено дослідження впливу відхилення напруги і частоти току на кутову швидкість і технологічні характеристики сепараторів молока. Встановлено залежності продуктивності сепаратора молока і кулової швидкості барабана від напруги і частоти току.**

## **INFLUENCE OF THE VOLTAGE AND FREQUENCY DEVIATION ON TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MILK SEPARATOR**

A. Sinyavsky, V. Savchenko

### *Summary*

**There were researches the influence of the voltage and frequency deviation on angular speed and technological characteristics of milk separators. The dependences of the milk separator performance and the angular speed of the drum on voltage and frequency are established.**

УДК 631.53.027

**ІНДУКТОР ІЗ ЗМІННИМ РАДІУСОМ НАВИВКИ**

Лукач В.С., к.п.н.,

Кушніренко А.Г., к.т.н.

ВП НУБіП У “Ніжинський агротехнічний інститут”

Тел. (04631)2-32-61

Катюха А.А. к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)42-23-41

**Анотація** – викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень по розробці індуктора із змінним радіусом навивки та результати визначення параметрів електромагнітного поля.

**Ключові слова** – індуктора із змінним радіусом навивки, параметрів електромагнітного поля.

*Постановка проблеми.* Відомі пристрої для передпосівної обробки мають великі розбіжності у дозі впливу енергії електромагнітного поля на насіння сільськогосподарських культур, що суттєво впливає на результат і якість обробітку.

У зв'язку з цим, виникла необхідність у розробці індуктора із змінним радіусом навивки.

*Аналіз останніх досліджень.* Циліндричний індуктор із суцільною навиткою в один прошарок має розбіжність 75% у дозі впливу енергії електромагнітного поля. А циліндричний індуктор із змінним кроком навивки має – 22% [1,3,4].

*Формування цілей статті.* Стабілізувати дозу впливу енергії електромагнітного поля на насіння сільськогосподарських культур шляхом навивки індуктора із змінним радіусом.

*Основна частина.* Алгоритм змінного радіуса навивки індуктора можна отримати увівши для цього позначення й малюнок циліндричного індуктора (рис. 1) та індуктора зі змінним радіусом навивки (рис. 2):

$R(x)$  – змінний радіус навивки, м;

$X$  – відстань від краю індуктора, уздовж центральної вісі, до точки в якій визначаються параметри, м;

$H(x)$  – напруженість магнітного поля вздовж вісі індуктора. А/м;

$I$  – струм індуктора, А;

$n$  – кількість витків індуктора;

$l'$  – довжина навивки циліндричного індуктора, м;

$l$  – висота навивки індуктора зі змінним радіусом, м;  
 $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – кути, утворені віссю циліндричного індуктора та прямими, які з'єднують точку  $A$  з кінцями навивки;  
 $r$  – радіус навивки циліндричного індуктора, м;  
 $R$  – значення змінного радіуса навивки в центрі індуктора, м;  
 $\Delta H_y$  і  $\Delta H_n$  – відхилення напруженості магнітного поля уздовж вісей, які проходять через центр та периферію індуктора, %.

Розглянемо циліндричний індуктор BCDE (рис. 1).

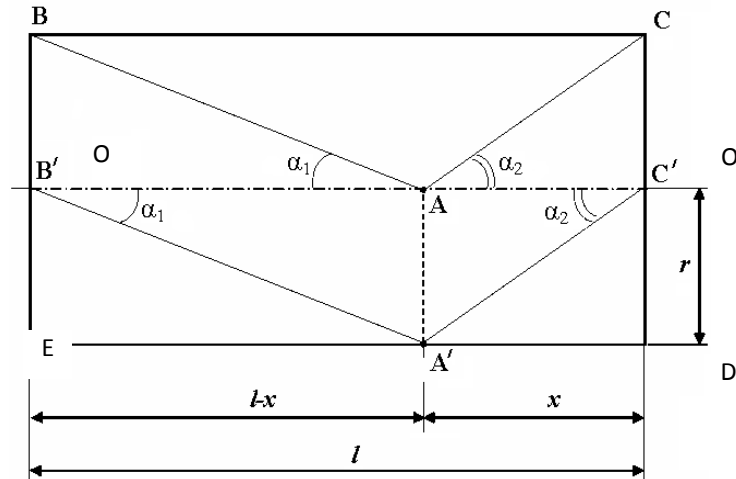


Рис. 1. Обґрунтування вихідних даних для розробки дослідного зразка індуктора із змінним радіусом навивки.

Напруженість магнітного поля в точці  $A$ , яка лежить на вісі  $OO''$ , визначається за виразом:

$$H(x) = \frac{In}{2l'} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2). \quad (1)$$

Перетворивши тригонометричні величини в лінійні вираз 1 набуває вигляду:

$$H(x) = \frac{In}{2l'} \left( \frac{l' - x}{\sqrt{(l' - x)^2 + r^2}} + \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} \right). \quad (2)$$

За виразом 2 цілком очевидно, що стабілізувати напруженість магнітного поля всередині індуктора можна за допомогою зміни геометричних параметрів, тобто змінного радіуса навивки. Це, безперечно, має бути куля.

На рис. 2 нанесено симетрично точці  $A$  точку  $A^1$  на поверхні індуктора із змінним радіусом навивки та з'єднано їх прямими з кінцями вісі  $OO''$  (рис. 1).

На основі властивості перпендикуляру, опущеного з будь-якої точки кола на діаметр

$$R(x)^2 = (l' - x)x, \quad (3)$$

або

$$R(x) = \sqrt{(l' - x)x}. \quad (4)$$

Для того, щоб виконувалась умова

$$H(x) = \frac{In}{l'} = const, \quad (5)$$

необхідно, щоб виконувалась інша умова

$$\frac{l'' - x}{\sqrt{(l' - x)^2 + r^2}} + \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} = 2. \quad (6)$$

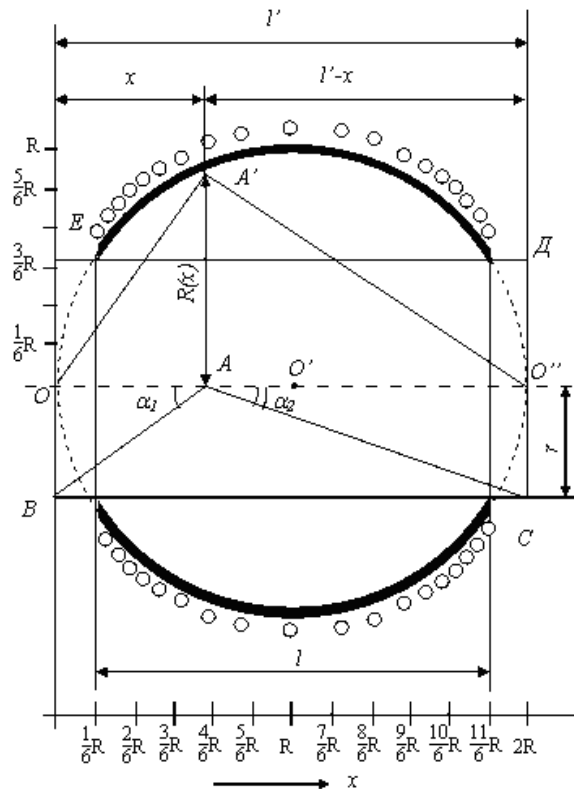


Рис. 2. Розробка експериментального зразка індуктора із змінним радіусом навивки.

Після підстановки в умову замість радіуса навивки циліндричного індуктора  $r$  значення змінного радіуса навивки  $R(x)$  з виразу 3, ліва частина умови 6, після спрощення, має вигляд

$$\sqrt{1 - \frac{x}{l'}} + \sqrt{\frac{x}{l'}}. \quad (7)$$

Вираз 5 для індуктора із змінним радіусом навивки набирає вигляду

$$H(x) = \frac{In}{2l'} \left( \sqrt{1 - \frac{x}{l'}} + \sqrt{\frac{x}{l'}} \right). \quad (8)$$

Значення напруженості магнітного поля при:

1)  $x_1 = 0$

$$H_1(x) = 0,5 \frac{In}{l'}; \quad (9)$$

2)  $x_2 = \frac{1}{6}l$

$$H_2(x) = 0,66 \frac{In}{l'}; \quad (10)$$

$$3) \quad x_3 = \frac{1}{2}l$$

$$H_3(x) = 0,71 \frac{In}{l'}. \quad (11)$$

Відхилення напруженості магнітного поля вздовж вісі, яка проходить через центр індуктора, складає 5%.

$$\Delta H_y = H_3(x) - H_2(x) = 0,05 \frac{In}{l'}. \quad (12)$$

Відхилення напруженості магнітного поля (МП) вздовж вісі, яка проходить на периферії індуктора, визначено нами експериментально й складає

$$\Delta H_{\Pi} = 0,03 \frac{In}{l'}, \quad (13)$$

тобто 3%.

Отже, сумарне відхилення  $\Delta H$  складає 8%, тобто

$$\Delta H = \Delta H_y + \Delta H_n = 0,08 \frac{In}{l'}. \quad (14)$$

Каркас індуктора має форму кульового пояса. Висоту  $l$  можна визначити з виразу:

$$l' = \frac{1}{6}l' + \frac{1}{6}l' + l, \quad (15)$$

Тепер алгоритм навивки індуктора зі змінним кроком набуває вигляду:

$$R(x) = \sqrt{\left(\frac{4}{3}R - x\right)x}. \quad (17)$$

Електрична схема пристрою приведена на рис. 3.

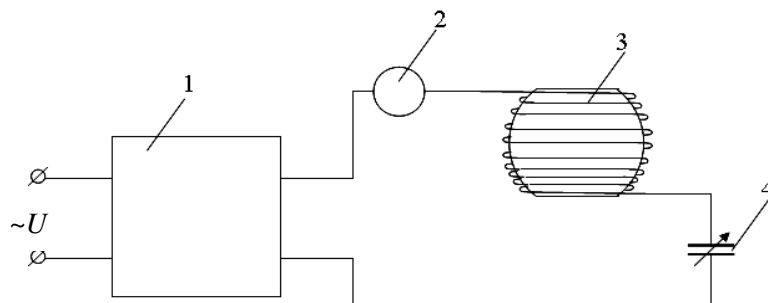


Рис. 3. Електрична схема установки для експериментальних досліджень розробленої електротехнології передпосівної обробітки насіння сільськогосподарських культур: 1 – джерело електромагнітних коливань; 2 – амперметр; 3 – індуктор зі змінним радіусом навивки; 4 – конденсатор змінної ємності.

Пристрій працює наступним чином: насіння розташовують у внутрішню порожнину індуктора 3, вмикають джерело 1 електромаг-



нітних коливань, встановлюють необхідну для даного виду насіння частоту і за допомогою конденсатора 4 змінної ємності та амперметра 2 досягають максимального значення струму. Насіння витримують певний час, після чого вимикають джерело 1 і виймають насіння. Наступну порцію насіння обробляють таким самим чином. Насіння використовують через двадцять діб після обробітку.

Проводилися дослідження розподілу напруженості МП у робочій зоні розробленого індуктора зі змінним радіусом навивки [2]. Враховуючи, що  $l' = 2R$

$$l = \frac{4}{3}R. \quad (16)$$

Результати досліджень та побудова імітаційної моделі розподілу напруженості МП у робочій зоні розробленого індуктора зі змінним радіусом навивки приведено на рис. 4.

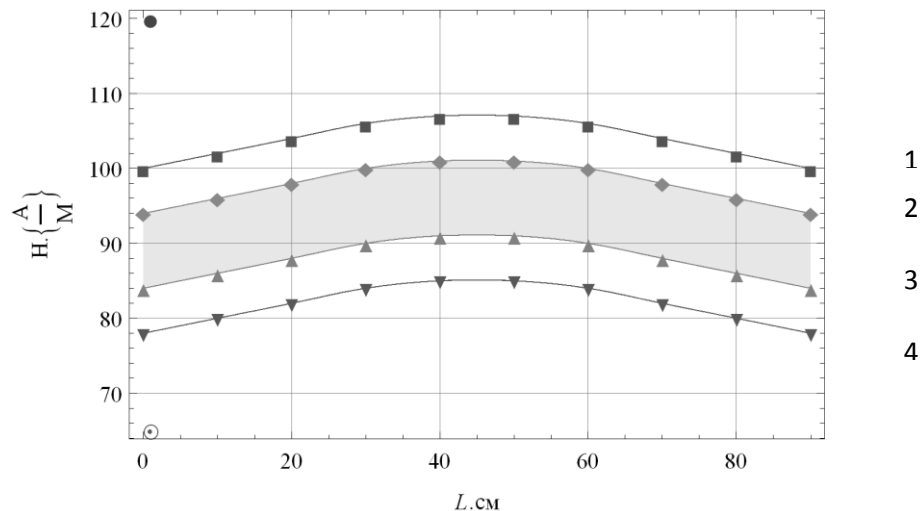


Рис. 4. Розподіл напруженості магнітного поля в робочих зонах індукторів: 1, 4 – напруженості МП циліндричного індуктора відповідно вздовж центральної та периферійної вісей, А/м; 2, 3 – напруженості МП розробленого індуктора відповідно вздовж центральної та периферійної вісей, А/м.

Математична модель розподілу напруженості МП має наступний вигляд:

$$H_1 = 104,527 - 2,552 \times 10^{-4} L; \quad (5.21)$$

$$H_2 = 98,527 - 2,552 \times 10^{-4} L; \quad (5.22)$$

$$H_3 = 88,527 - 2,552 \times 10^{-4} L; \quad (5.23)$$

$$H_4 = 82,527 - 2,552 \times 10^{-4} L, \quad (5.24)$$

де  $H_1, H_4$  – напруженості МП циліндричного індуктора відповідно вздовж центральної та периферійної вісей, А/м;  
 $H_2, H_3$  – напруженості МП розробленого індуктора відповідно вздовж центральної та периферійної вісей, А/м.

*Висновки.* Порівнюючи значення напруженості МП, можна констатувати, що розбіжність для циліндричного індуктора в радіальному напрямі становить 22%, а для розробленого – 11%.

#### Література

1. *Губанів Я.В.* Устройство для обработки семян. А.с. 1022672, СРСР, МКИ 7 А 01 С 1 / 00 / *Я.В. Губанов, Н.А. Потапенко, Г.Н. Третьяков, В.В. Терещенко, В.Д. Корнилов.* – Оpubл. 15.06.83, Бюл. № 22 – 4 с.

2. *Лукач В. С.* Пристрій для передпосівного обробітку насіння в електромагнітному полі. Патент на винахід № 65240 А, Україна, МПК<sup>7</sup> А 01 С 1 / 00 / *В.С. Лукач, А.Г. Кушніренко, В.Ф. Ярошенко, В.І. Мищенко, Н.В. Ніженець.* – К.: ДП УІВ, Оpubл. 16.05.2005. Бюл. № 5. – 6 с.

3. *Мищенко В.И.* Устройство для предпосевной обработки семян в электромагнитном поле А. с. 1720525 СССР МКИ 7 А 01 С 1 / 00 / *В.И. Мищенко, А.И. Мартыненко, А. Г. Кушниренко.* – Оpubл. 23.03.92, Бюл. № 11. – 6 с.

4. *Сазыкин В.Г.* Устройство для предпосевной обработки семян. А. с. № 1464929, СССР, А 01 С 1 / 00 / *В.Г. Сазыкин.* – Оpubл. 15.03.1989. Бюл. № 10 – 4 с.

## ИНДУКТОР С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ НАВИВКИ

Лукач В.С., Кушниренко А.Г., Катюха А.А.

### *Аннотация*

**Изложено результаты теоретических и экспериментальных исследований в разработке индуктора с переменным радиусом намотки и результаты определения параметров электромагнитного поля.**

## THE INDUCTOR WITH A VARIABLE RADIUS OF WINDING

V. Lukach, A. Kushnirenko, A. Katyukha

### *Summary*

**In article results of theoretical and pilot studies in development of the inductor with a variable radius of winding are stated and results definitions of parameters of an electromagnetic field are given.**

УДК 635.64

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРІВ СЛАБОПРОВІДНИХ СУСПЕНЗІЙ

Назаренко І.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)43-54-32

**Анотація** – представлені результати теоретичного обґрунтування геометричних параметрів три та чотирифазних багатоелектродних систем електросепараторів слабопровідних суспензій.

**Ключові слова** – слабопровідна суспензія, електрод, сила, електричне поле, потенціал, електросепарація.

*Постановка проблеми.* В пристроях електричного очищення або сепарації слабопровідних суспензій використовують різноманітні за формою електроди, на які подають постійну або змінну напругу [1]. Найбільш поширеними є пластинчасті або циліндричні електроди розташовані рядами. Такі електродні системи дозволяють як вловлювати зважені частинки слабопровідних суспензій і накопичувати їх між пластинчастими електродами, так і транспортувати частинки вздовж рядів електродів на які подається багатозфазна система напруг [2].

Ефективність роботи електросепараторів та електроочищувачів залежить від величини сили, що діє на поляризовану частинку, яка знаходиться в електричному полі. Величина цієї сили залежить від багатьох чинників [2], в тому числі і від співвідношення відстаней між рядами електродів та електродами в ряду, тобто від співвідношення розмірів елементарної міжелектродної області. Тому визначення геометричних параметрів електродних систем, при яких сили, що діють на частинки будуть максимальні, є дуже важливими з точки зору підвищення ефективності роботи пристроїв очищення або сепарації слабопровідних суспензій в електричному полі.

*Аналіз останніх досліджень.*

В роботі [3] отримані аналітичні вирази, що описують поле сили, що діє на поляризовану частинку у вигляді кулі в системі пластинчастих безкінечних дворядних електродів при довільних потенціалах на електродах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{F} = \dot{A} \cdot \frac{B}{D} \cdot \frac{\overline{D} \cdot \overline{C} - \overline{H} \cdot \overline{B}}{(\overline{D})^3}, \\ B = \frac{1}{\pi} \left( \sum_{k=1}^n \frac{U_{1(k-1)} - U_{1k}}{\omega - a_k} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{U_{2i} - U_{2(i+1)}}{\omega - c_{i+1}} + \frac{U_{1n} - U_{21}}{\omega - c_1} \right), \\ C = -\frac{1}{\pi} \left( \sum_{k=1}^n \frac{U_{1(k-1)} - U_{1k}}{(\omega - a_k)^2} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{U_{2i} - U_{2(i+1)}}{(\omega - c_{i+1})^2} + \frac{U_{1n} - U_{21}}{(\omega - c_1)^2} \right), \\ D = \frac{h}{\pi} \left( \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{\omega - a_k} + \frac{1}{\omega - a_1} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{\omega - c_i} + \frac{1}{\omega - c_1} \right), \\ H = -\frac{h}{\pi} \left( \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(\omega - a_k)^2} + \frac{1}{(\omega - a_1)^2} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{(\omega - c_i)^2} + \frac{1}{(\omega - c_1)^2} \right), \\ z = \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n h \ln(\omega - a_k) + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^m h \ln(\omega - c_i), \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $\dot{A}$  – комплексний параметр, що залежить від частоти електричного поля, діелектричної проникності та питомої електропровідності середовища та частинки;

$U_{1k}$  – потенціал  $k$ -го електроду першого ряду, В;

$U_{2i}$  – потенціал  $i$ -го електроду другого ряду, В;

$\omega'$ ,  $z$  – комплексні змінні, м;

$h$  – відстань між електродами в ряду, м;

$c_i$ ,  $a_k$  – константи.

Константи  $c_i$ ,  $a_k$  знаходяться методом підбору [4] і визначають відстань між рядами електродів. Від цієї відстані відповідно формулам системи (1) залежить розподіл та величина сили, що діє на частинку в області між рядами електродів.

*Формулювання цілей статті.* Робота спрямована на теоретичне обґрунтування геометричних параметрів багатоелектродних систем пристроїв електросепарації або електроочищення слабопровідних суспензій.

*Основна частина.* Система електродів являє собою пластинчасті напівбезкінечні електроди, розташовані в два ряди з відстанню між рядами  $l$  та відстанню між електродами в ряду  $h$ , причому пари протилежних електродів лежать в одній площині (рис. 1).

Константи  $c_i$ ,  $a_k$  були підібрані за допомогою програмних засобів «Matlab» для семи співвідношень  $h/l$ : 0,05; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 3. Всі параметри функції, що відображає зведені в таблицю 1.

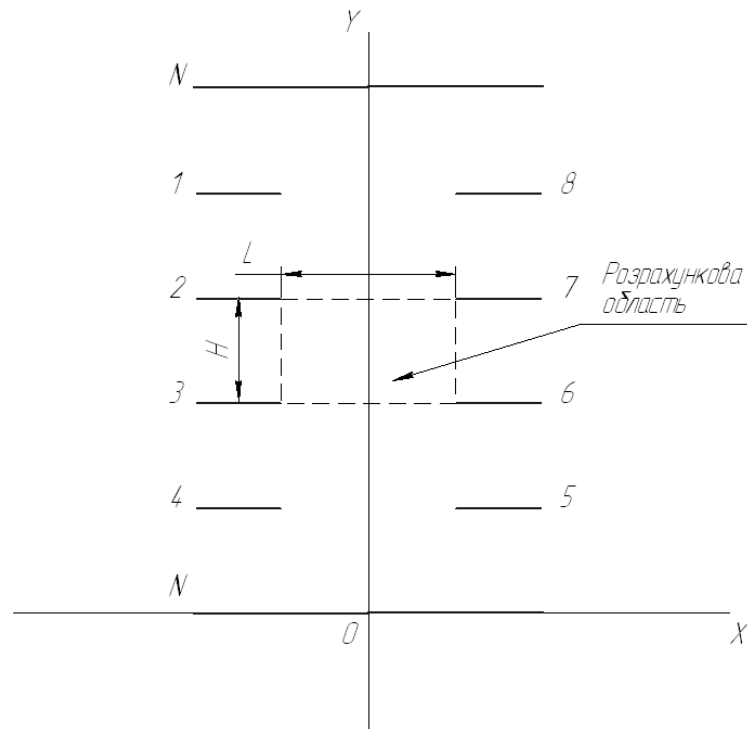


Рис. 1. Схема розташування електродів.

Таблиця 1 – Параметри функції  $z$ , що відображає для системи (1) з 10 електродами ( $n = m = 5$ )

Параметр	Величина							
	0,05	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	3
$a_1$	$-1,3 \cdot 10^5$	$-2,3 \cdot 10^3$	-700	-1000	-220	-150	-55	-63
$a_2$	-50	-14	-9	-35	-30	-35	-20	-33
$a_3$	-0,02	-0,1	-0,12	-1,2	-3,8	-6,8	-5,6	-14
$a_4$	$-8 \cdot 10^{-6}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,045	-0,5	-1,4	-1,7	-6
$a_5$	$-3 \cdot 10^{-9}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$-2,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,06	-0,35	-0,62	-3,2
$c_1$	$3 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,06	0,35	0,62	3,2
$c_2$	$8 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,045	0,5	1,4	1,7	6
$c_3$	0,02	0,1	0,12	1,2	3,8	6,8	5,6	14
$c_4$	50	14	9	35	30	35	20	33
$c_5$	$1,3 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^3$	700	1000	220	150	55	63

На конфігурацію поля впливає форма електродів та відстані між ними. Припустимо, що при зміні співвідношення відстані між рядами електродів до відстані між електродами в ряді ( $l/h$ ) змінюється середня сила, що діє на частинку в міжелектродній області. Тоді можна знайти таке співвідношення, при якому при однаковій напруженості поля на поверхні електродів (найбільша напруженість в міжелектродній області) отримаємо поле сил з найбільшою середньою силою.

Середню силу в міжелектродній області визначимо як

$$\vec{F}_c = \frac{1}{S_z} \iint_Z \vec{F}_c(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_c^d \vec{F}_c(x, y) dy, \quad (2)$$

де  $\vec{F}_c$  – середня сила в міжелектродній області, Н;

$S_z$  – площа області  $Z$ , що обмежена кривими  $x = a$ ,  $x = b$ ,  
 $y = c$ ,  $y = d$ , м<sup>2</sup>;

$\vec{F}_c = (x, y)$  – векторна функція, що описує поле сил, Н.

Для розрахунку середньої сили використано графо-аналітичний метод. Відповідно до нього область між 4 електродами (2-3-6-7 електроди рис. 1) розбивалась на  $n \cdot m$  рівних між собою прямокутників. За графіками, що отримані в результаті аналітичного моделювання поля сил при різних співвідношеннях  $l/h$  визначались сили в центрі прямокутників як

$$\vec{F}_c = \frac{1}{\sum(l_n) \sum(h_m)} \left( \sum F_{nm} l_n h_m \right), \quad (3)$$

де  $l_n$  – розмір прямокутників за координатою  $X$ , м;

$h_m$  – розмір прямокутників за координатою  $Y$ , м.

Для системи двофазних електродів, що реалізують пульсуюче поле, на підставі результатів аналітичного моделювання поля сил за допомогою програмних засобів «Matlab», по формулам системи (1) побудовані графічна залежність  $X$  – складової середньої сили від співвідношення розмірів  $l/h$  (рис.1). Розрахунки велись для позитивної частини розрахункової області. Середнє значення  $Y$ -складової сили дорівнює 0. Розмір  $h$ , що відповідає відстані між електродами в ряді, складає у всіх випадках 1 м. Діюче значення потенціалів електродів – 1В. При моделюванні двофазного електричного поля розглядались два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 3, 6, 8 подається фаза А; на електроди 2, 4, 5, 7 – фаза В); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут  $2\pi$  рад (на електроди 1, 3, 5, 7 подається фаза А; на електроди 2, 4, 6, 8 – фаза В).

На рис. 2 побудовані графічні залежності приведеної (до однакової напруженості на торцях електродів) середньої сили, розрахованої за формулою 2.

Аналіз графічних залежностей рис. 2 дозволяє зробити висновок про перевагу схеми подачі напруги на електроди, при якій зсув фаз потенціалів сусідніх електродів між рядами відсутній. При однаковій напруженості електричного поля середня сила для такої схеми подачі напруги в два рази більша у порівнянні з випадком, коли фази зсунуті. Це пояснюється меншою напруженістю поля на електродах у першому випадку в порівнянні з другим в області максимальних сил при однакових діючих значеннях потенціалів на електродах.

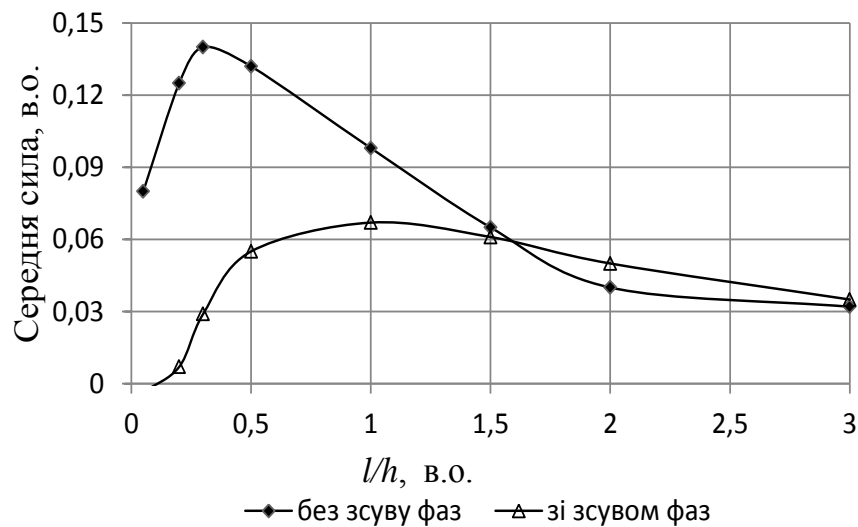


Рис.2. Залежність X- складової приведенної середньої сили, що направлена перпендикулярно рядам двофазної системи електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

Максимальна сила для схеми подачі напруги без зсуву фаз знаходиться в інтервалі відносних розмірів від 0,3 до 0,5, а з зсувом фаз – від 0,5 до 1,5.

Таким чином, для очищення рідин в двофазному електричному полі або полі постійного струму доцільно використовувати схему подачі напруги без зсуву фаз на сусідніх між рядами електродів, а у разі постійного струму на таких електродів повинен бути однаковий знак потенціалу.

Розглянемо випадки, коли на електроди подається три та чотирифазний потенціал. При моделюванні трифазного електричного поля розглядалися два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 4, 5, 8 подається фаза А; на електроди 2, 7 – фаза В; на електроди 3, 6 – фаза С); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут  $2\pi/3$  рад (на електроди 1, 4, 6 подається фаза А; на електроди 2, 5, 8 – фаза В; на електроди 3, 7 – фаза С). При моделюванні чотирифазного електричного поля розглядалися також два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 8 подається фаза А; на електроди 2, 7 – фаза В; на електроди 3, 6 – фаза С; на електроди 4, 5 – фаза D); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут  $\pi/2$  рад (на електроди 1, 5 подається фаза А; на електроди 2, 8 – фаза В; на електроди 3, 7 – фаза С; на електроди 4, 8 – фаза D).

При таких схемах живлення електродної системи до X-складової сили, що визначається дійсною складовою комплексного параметра А у формулі (1) додається Y-складова сили, що визначається уявною

складовою комплексного параметра  $A$  і реалізується в біжучому електричному полі, яке створюється багатофазними системами електродів.  $X$ -складова цієї сили для багаторядних систем електродів, що розглядаються в роботі, відповідно результатам аналітичного моделювання у порівнянні з  $Y$ -складовою не значна і діє тільки поблизу електродів.

Спочатку розглянемо дію  $X$ -складової сили, графіки якої побудовані на підставі аналітичного моделювання поля сил за формулами (1).

На підставі розрахунку відносної приведеної середньої сили по формулі (3) побудовані графічні залежності приведеної середньої сили від співвідношення розмірів міжелектродної області (рис. 3).

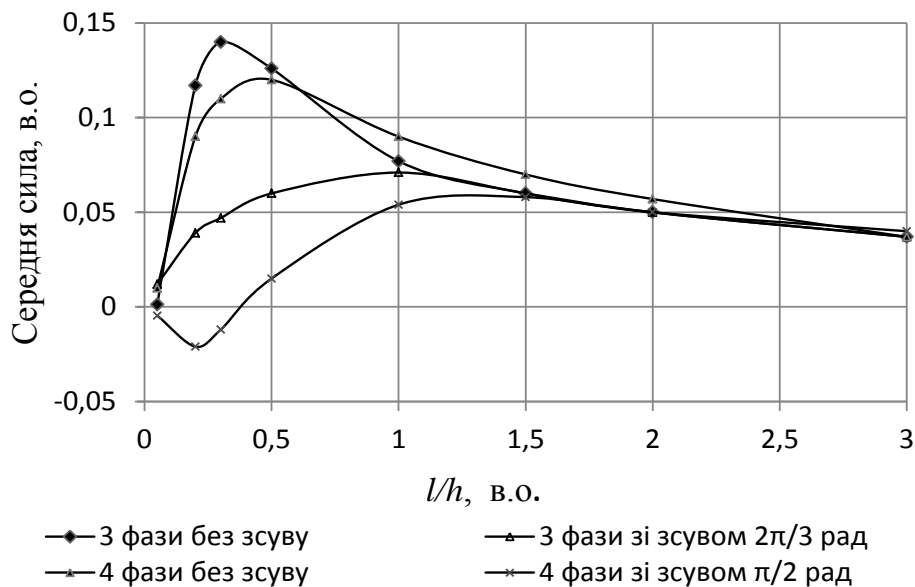


Рис. 3. Залежність  $X$ -складової приведеної середньої сили, що направлена перпендикулярно рядам електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

Аналіз результатів наведених на рис. 3 дає можливість зробити висновок про незначну перевагу в середній силі трифазної системи перед чотирифазною, якщо відсутній зсув фаз. При наявності зсуву фаз середня сила при трифазній схемі подачі напруги значно більша за чотирифазну в діапазоні співвідношення розмірів від 0,3 до 1. Значно більша приведена середня сила при відсутності зсуву фаз пояснюється значно меншою напругою на електродах в діапазоні відносних розмірів від 0 до 1. Таким чином, як для трифазної схеми подачі напруги, так і для чотирифазної, максимальне значення відносної приведеної середньої сили лежить в межах відносних розмірів міжелектродної області від 0,3 до 1 при відсутності зсуву фаз. При наявності зсуву фаз



діапазон співвідношення розмірів для максимальної приведеної середньої сили лежить в межах від 0,5 до 2, але ця сила значно менша і тому використання схеми подачі напруги зі зсувом фаз не рекомендовано для вилучення частинок з рідини, що знаходиться між рядами електродів в область між електродними пластинами (чарунки накопичувачі).

Далі розглянемо дію  $Y$ -складової сили, що виникає в біжучому полі, графіки якої побудовані на підставі аналітичного моделювання поля сил. Графіки відповідних залежностей приведеної сили від співвідношення розмірів показані на рис. 4.

Аналіз графіків рис. 4 показує, що подача напруги без зсуву фаз більш придатна для отримання якомога більших сил в біжучому полі. Інтервал співвідношень розмірів міжелектродної області, де середня приведена сила максимальна, складає величину від 0,2 до 0,5 для системи напруг без зсуву фаз та від 0,2 до 1 – для системи напруг зі зсувом фаз.

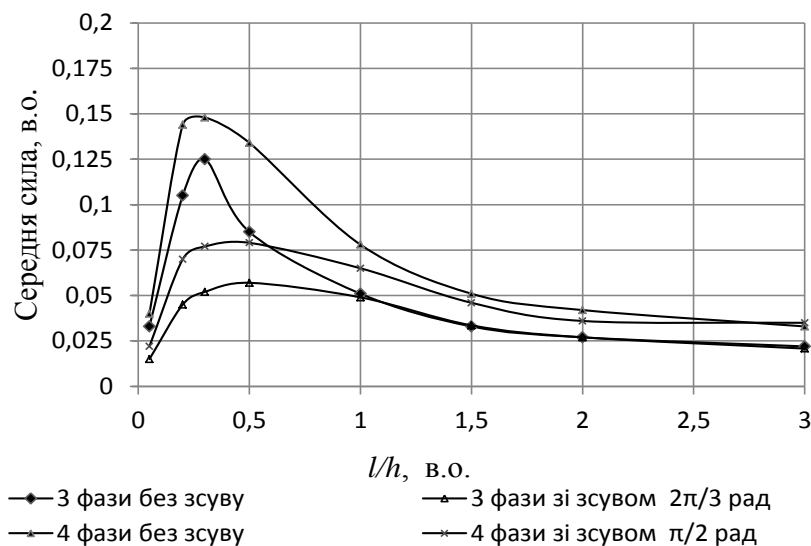


Рис. 4. Залежність  $Y$ -складової приведеної середньої сили, що направлена вздовж рядів електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

**Висновки.** Аналітична модель електричного поля та поля сил дозволила обґрунтувати геометричні параметри електродних систем пристроїв очищення або сепарації слабопровідних суспензій за критерієм максимальної сили в міжелектродній області. Для симетричних багатофазних систем доцільно використовувати подачу напруги, коли потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз.

## Література

1. *Эфендиев О.Ф.* Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / *О.Ф. Эфендиев.* – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 149с.
2. *Назаренко І.П.* Сепарація діелектричних суспензій в біжучому електричному полі / *І.П. Назаренко* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: 2010. – Вип.148. – С. 117-122.
3. *Назаренко І.П.* Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / *І.П. Назаренко* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: 2012. – Вип. 12. Т. 1. – С. 35-45.
4. *Лаврентьев М.А.* Методы теории функции комплексного переменного / *М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат.* – М.: Наука, 1987. – 740 с.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ  
ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРОВ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ  
СУСПЕНЗИЙ**

И.П. Назаренко

*Аннотация*

**Представлены результаты теоретического обоснования геометрических параметров многофазных электродных систем электросепараторов слабопроводящих суспензий.**

**THEORETICAL RESEARCHES OF CO-OPERATION OF  
ELECTRIC PAUL WITH DIELECTRIC SUSPENSION IN  
SYSTEMS OF MULTIELECTRODES**

I. Nazarenko

*Summary*

**The results of theoretical determination of geometrical parameters of the systems of electrodes with many phases of electro-separators of dielectric suspension are presented**

УДК [621.3:537] 635

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СЛУЧАЕ СТАТИКИ

Куценко Ю.Н., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619)42-31-59

**Аннотация** – выполнены теоретические исследования по определению зависимостей, описывающих параметры внешних магнитных полей

**Ключевые слова** – теоретические исследования, магнитные поля, статика, обменные процессы в растениях.

*Постановка проблемы.* В ряде работ [1, 2] был рассмотрен вопрос о воздействии постоянных электрических полей, создаваемых погруженными в почву заряженными металлическими штырями, на обменные процессы в семенах сельскохозяйственных культур. Данная задача является более традиционной с точки зрения изучения взаимодействия внешних физических полей с различными сельскохозяйственными растениями, а также их семенами при предпосевной обработке и в процессе их вегетации. При этом достаточно мало внимания уделяется тому факту, что и магнитные поля могут оказывать существенное влияние на жизненные процессы в растениях. В полной мере это относится и к статическим магнитным полям, которые оказались практически вне пределов внимания исследователей.

*Анализ последних исследований.* Следует, однако, отметить, что наличие постоянного или переменного магнитного поля может оказывать существенное влияние на движение питательных веществ в корневой системе растений, поскольку этот процесс связан с движением положительно или отрицательно заряженных ионов. Как известно, внешнее магнитное поле изменяет траектории движения заряженных частиц и в результате может оказать как положительное, так и отрицательное влияние на жизненные процессы в растениях [3].

*Формулировка цели статьи.* В работе поставлена задача получения выражений, описывающих параметры статических магнитных полей с целью определения положительного влияния полей на обменные процессы в растениях.

*Основные материалы исследования.* Как показано ранее, поля, рассеянные на намагниченных объектах малых размеров, могут быть определены с помощью электрического потенциала Герца.

$$\begin{aligned}\vec{\Pi}^{\text{э}} &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}'; \\ \vec{\Pi}^{\text{м}} &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \vec{H}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}'.\end{aligned}\quad (1)$$

Однако, воспользовавшись тем, что  $l/\lambda \ll 1$ , соотношение (1) можно существенно упростить. Рассмотрим вначале ближнее поле. Очевидно, в этой зоне соотношение  $l/\lambda \ll 1$  остается справедливым. Разложим поэтому электрический и магнитный потенциалы Герца по малому параметру

$$\vec{\Pi}^{\text{э}}(\vec{r}) = \vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) + (ik) \vec{\Pi}_{(1)}^{\text{э}}(\vec{r}) + (ik)^2 \vec{\Pi}_{(2)}^{\text{э}}(\vec{r}) + \dots \quad (2)$$

$$\vec{\Pi}^{\text{м}}(\vec{r}) = \vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) + (ik) \vec{\Pi}_{(1)}^{\text{м}}(\vec{r}) + (ik)^2 \vec{\Pi}_{(2)}^{\text{м}}(\vec{r}) + \dots \quad (3)$$

С учетом известных соотношений имеем:

$$\begin{aligned}\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) + (ik) \vec{\Pi}_{(1)}^{\text{э}}(\vec{r}) + (ik)^2 \vec{\Pi}_{(2)}^{\text{э}}(\vec{r}) + \dots &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \left[ \vec{E}^{(0)}(\vec{r}') + \right. \\ &+ (ik) \vec{E}^{(1)}(\vec{r}') + (ik)^2 \vec{E}^{(2)}(\vec{r}') + \dots \left. \right] \left[ \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} - ik - \frac{k^2}{2} |\vec{r} - \vec{r}'| + \dots \right] d\vec{r}';\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) + (ik) \vec{\Pi}_{(1)}^{\text{м}}(\vec{r}) + (ik)^2 \vec{\Pi}_{(2)}^{\text{м}}(\vec{r}) + \dots &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \left[ \vec{H}^{(0)}(\vec{r}') + \right. \\ &+ (ik) \vec{H}^{(1)}(\vec{r}') + (ik)^2 \vec{H}^{(2)}(\vec{r}') + \dots \left. \right] \left[ \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} - ik - \frac{k^2}{2} |\vec{r} - \vec{r}'| + \dots \right] d\vec{r}'.\end{aligned}\quad (5)$$

Данные равенства будут справедливы, если приравнять между собой коэффициенты при одинаковых степенях  $(ik)$ , что дает для приближения статики:

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \frac{\vec{E}^{(0)}(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} d\vec{r}'; \quad (6)$$

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \frac{\vec{H}^{(0)}(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} d\vec{r}'. \quad (7)$$

Определим нулевое приближение, воспользовавшись:

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) = \frac{\tilde{A}_{\text{э}}}{4\pi \Delta_{\text{э}}} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}_0^{(0)} \int_V \frac{d\vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}; \quad (8)$$

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) = \frac{\tilde{A}_{\text{м}}}{4\pi \Delta_{\text{м}}} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \vec{H}_0^{(0)} \int_V \frac{d\vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}. \quad (9)$$

В выражениях (8), (9) интеграл определяет ньютоновский потенциал эллипсоида для внешних точек:

$$\int_V \frac{d\vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = W'(\vec{r}). \quad (10)$$

Известно [6], что он равен

$$W'(\vec{r}) = \pi abc \int_t^\infty \left( 1 - \frac{x^2}{a^2 + s} - \frac{y^2}{b^2 + s} - \frac{z^2}{c^2 + s} \right) \frac{ds}{R(s)}, \quad (11)$$

где  $t$  – наибольший корень уравнения.

$$\frac{x^2}{a^2 + t} + \frac{y^2}{b^2 + t} + \frac{z^2}{c^2 + t} - 1 = 0. \quad (12)$$

Для произвольного эллипсоида определение  $t$  связано с решением задачи об исследовании функции трех переменных  $x, y, z$  на экстремум. Значительно проще эта задача выглядит в том случае, когда рассеивателем является шар. Действительно, в этом случае (12) принимает вид

$$\frac{x^2}{R^2 + t} + \frac{y^2}{R^2 + t} + \frac{z^2}{R^2 + t} - 1 = 0. \quad (13)$$

Учитывая, что  $x, y, z$  – координаты точек, лежащих на поверхности шара, и переходя к сферическим координатам

$$x = R \cos \varphi \sin \theta, \quad y = R \sin \varphi \sin \theta, \quad z = R \cos \theta, \quad (14)$$

преобразуем (13)

$$R^2 = R^2 + t. \quad (15)$$

Отсюда следует, что  $t = 0$ . Таким образом, значение ньютоновского потенциала (11) для шара определяется вычислением интеграла

$$\begin{aligned} W'(\vec{r}) &= \pi R^3 \int_0^\infty \left( 1 - \frac{x^2 + y^2 + z^2}{R^2 + s} \right) \frac{ds}{(R^2 + s)^{\frac{3}{2}}} = \\ &= \pi R^3 \left( 2 \frac{3R^2 - x^2 - y^2 - z^2}{3R^3} \right) = \frac{2\pi}{3} (3R^2 - x^2 - y^2 - z^2), \end{aligned} \quad (16)$$

где  $x, y, z$  – координаты точек, в которых определяется потенциал по отношению к центру шара.

Чтобы найти возбужденные поля в ближней зоне, необходимо учесть (8), (9) и (11). Приближение статики, в частности, задается с учетом  $\omega = 0$  выражениями:

$$\begin{aligned} \vec{E}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{E}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{\tilde{A}_3}{4\pi \Delta_3} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}_0^{(0)} W'(\vec{r}); \\ \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{H}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{\tilde{A}_M}{4\pi \Delta_M} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \vec{H}_0^{(0)} W'(\vec{r}), \end{aligned} \quad (17)$$

где  $\tilde{P}$  – дифференциальный оператор, равный

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} & \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2}{\partial y^2} & \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} & \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} & \frac{\partial^2}{\partial z^2} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Так как  $\tilde{P}$  действует на координаты вектора  $\vec{r}$ , (17) можно записать в несколько иной форме:

$$\begin{aligned} \vec{E}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{E}_0^{(0)} + \frac{\tilde{A}_3}{4\pi\Delta_3} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \tilde{P} \vec{E}_0^{(0)} W'(\vec{r}); \\ \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{H}_0^{(0)} + \frac{\tilde{A}_M}{4\pi\Delta_M} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{P} \vec{H}_0^{(0)} W'(\vec{r}). \end{aligned} \quad (19)$$

Соотношения (19) позволяют определить внешние по отношению к намагниченной частице поля. В частности, если форма рассеивателя шарообразная, необходимо в (19) подставить (16). Тогда, с учетом воздействия оператора  $\tilde{P}$  на  $W'(\vec{r})$ , внешние поля будут определяться из следующих выражений:

$$\begin{aligned} \vec{E}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{E}_0^{(0)} + \frac{\tilde{A}_3}{4\pi\Delta_3} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \tilde{R} \vec{E}_0^{(0)}; \\ \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{H}_0^{(0)} + \frac{\tilde{A}_M}{4\pi\Delta_M} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{R} \vec{H}_0^{(0)}. \end{aligned} \quad (20)$$

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} -\frac{4\pi}{3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{4\pi}{3} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{4\pi}{3} \end{pmatrix} = -\frac{4\pi}{3} \tilde{E}, \quad (21)$$

где  $\tilde{E}$  – единичная матрица третьего порядка.

В том случае, когда необходимо определить рассеянное поле в дальней зоне, нужно в (1) функцию  $f(|\vec{r} - \vec{r}'|)$  разложить по сферическим функциям [7]

$$\frac{e^{-ik|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = -ik \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) P_n(\cos\theta) j_n(k|\vec{r}'|) h_n^{(2)}(k|\vec{r}|), \quad (22)$$

где  $P_n(\cos \theta)$  – полином Лежандра  $n$ -ой степени;

$\theta$  – угол между векторами  $\vec{r}$  и  $\vec{r}'$ ;

$j_n(k|\vec{r}'|)$  и  $h_n^{(2)}(k|\vec{r}'|)$  – сферические функции Бесселя  $n$ -го порядка.

Так как в рассматриваемом нами случае  $k|\vec{r}'| \ll 1$ , разложение (22) можно представить в виде

$$\frac{e^{-ik|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} = \frac{e^{-ik|\vec{r}|}}{|\vec{r}|} + \frac{k}{|\vec{r}|} \left( 1 - \frac{i}{k|\vec{r}|} \right) \cos \theta \cdot e^{-ik|\vec{r}|} + \dots \quad (23)$$

Преобразование (23) позволяет представить потенциалы Герца в виде слагаемых, описывающих мультипольные поля рассеяния. В частности, дипольная часть поля рассеяния описывается нулевым приближением электрического и магнитного потенциалов Герца:

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \frac{e^{-ik|\vec{r}|}}{|\vec{r}|} \int_V \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}^{(0)}(\vec{r}') d\vec{r}'; \quad (24)$$

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \frac{e^{-ik|\vec{r}|}}{|\vec{r}|} \int_V \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \vec{H}^{(0)}(\vec{r}') d\vec{r}',$$

которые, в основном, и определяют поле в волновой зоне.

Преобразуем выражение (24):

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{э}}(\vec{r}) = \frac{V}{4\pi \Delta_{\text{э}}} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \tilde{A}_{\text{э}} \vec{E}_0^{(0)} \frac{e^{-ik|\vec{r}|}}{|\vec{r}|}; \quad (25)$$

$$\vec{\Pi}_{(0)}^{\text{м}}(\vec{r}) = \frac{V}{4\pi \Delta_{\text{м}}} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_{\text{м}} \vec{H}_0^{(0)} \frac{e^{-ik|\vec{r}|}}{|\vec{r}|},$$

где  $V$  – объем намагниченного тела,  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ ;

$R$  – радиус шара.

Соотношение (25) позволяет найти электрическую и магнитную составляющие возбужденного статического поля в дальней зоне в дипольном приближении.

В результате получаем:

$$\vec{E}^{(0)}(\vec{r}) = \vec{E}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{V}{4\pi(\vec{r})\Delta_{\text{э}}} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \tilde{A}_{\text{э}} \vec{E}_0^{(0)};$$

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \vec{H}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{V}{4\pi(\vec{r})\Delta_{\text{м}}} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_{\text{м}} \vec{H}_0^{(0)}, \quad (26)$$

где  $\tilde{P}$  задано в (18).

*Вывод.*

1 Получены аналитические выражения, описывающие статическое электрическое и магнитное поле, которое создают вокруг себя частицы, несущие электрический или магнитный заряд.

2. Полученные поля соответствуют одиночному источнику. При этом сами заряды могут быть как постоянными, так и переменными.

## Литература

1. *Опритов В.А.* К обоснованию участия биоэлектрических потенциалов в передвижении веществ у высших растений / *В.А. Опритов, С.В. Мичурин* // Физиология растений. –1973. – № 3(20). – С.451-461.

2. *Куценко Ю.Н.* Моделирование стационарного электрического поля, взаимодействующего с семенами и корневой системой сельскохозяйственных культур в грунте / *Ю.Н. Куценко, А.Е. Пиротти, Е.Л. Пиротти* // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Общегосударственный научно-производственный журнал. – 2011. – №5. – С.66-69.

3. *Куценко Ю.М.* Модель взаємодії феромагнітних частинок в магнітному полі / *Ю.М. Куценко* // Науково–прикладний журнал. Технічна електродинаміка. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2004. – Частина 3. – С.8-11.

4. *Никольский В.В.* Электродинамика и распространение радиоволн / *В.В. Никольский, Т.И. Никольская.* – М.: Наука, 1989. – 543 с.

5. *Плонси Р.* Биоэлектричество (Количественный подход) / *Р. Плонси, Р. Барр.* – М.: Мир, 1992. – 366 с.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗОВНІШНІХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ  
У ВИПАДКУ СТАТИКИ**

Ю.М. Куценко

*Анотація*

**Виконані теоретичні дослідження з визначення залежностей, що описують параметри зовнішніх магнітних полів**

**DETERMINATION OF EXTERNAL MAGNETIC FIELDS  
IF STATIC**

Yu. Kutsenko

*Summary*

**Theoretical studies to determine the relationships describing the parameters of external magnetic fields.**



УДК 621.313.333.004.58

**МОНІТОР ГРУПИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

Нестерчук Д.М., к.т.н.,

Гончарова Н.В., аспірант\*.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-32-63

**Анотація** – робота присвячена розробці монітору групи асинхронних електродвигунів на базі мікроконтролера, а також оцінці його надійності.

**Ключові слова** – асинхронний електродвигун, аварійні режими роботи, монітор, надійність монітору.

*Постановка проблеми.* Електропривод змінного струму з асинхронними двигунами в теперішній час є найпоширенішим в агропромисловому комплексі. Перспективи його розвитку пов'язані з необхідністю впровадження нових високоефективних систем моніторингу та захисту. Головною задачею цих систем є забезпечення ефективного функціонування та надійності електропривода.

На жаль, стан надійності електропривода поки що є проблематичним. Щороку пошкоджується до 20-25% від загального числа встановлених асинхронних двигунів. [1].

Це приводить до порушення безперервності технологічних процесів із подальшим браком продукції, витратам на відновлення та ремонт асинхронних двигунів, а також на відновлення нормальних технологічних процесів виробництва. Реальні характеристики і параметри асинхронних двигунів внаслідок ремонту або тривалої експлуатації змінюються і не відповідають паспортним.

Існуючі пристрої та системи захисту, найпоширенішими серед яких є пристрої релейного захисту та автоматики, що настроєні на характеристики і параметри відповідно до паспорту двигуна, часто і об'єктивно неналежним чином реагують на зміну параметрів робочих процесів. Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації двигунів, урахування їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі ремонту або під час роботи, нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту.

*Аналіз останніх досліджень.* Одним з найбільш дієвих методів підвищення надійності асинхронних електродвигунів при експлуатації є забезпечення їх ефективними засобами моніторингу та захисту від аварійних режимів.

В [2, 3] детально розглянута класифікація аварійних режимів, які виникають в процесі експлуатації асинхронних електродвигунів. За даними літературного джерела [1] 80...90% електродвигунів можливо було захистити від відмов, якщо б вони були обладнанні пристроями моніторингу та захисту при умові своєчасного технічного обслуговування цих пристроїв.

Пристрої моніторингу та захисту дозволяють впровадити технологію контролю обладнання за станом і реалізувати принцип запобігання, який реалізується шляхом аналізу енергетичних процесів через безперервний контроль і забезпечує раннє (предаварійне) визначення потенціальних пошкоджень, дефектів, що розвиваються в електродвигуні.

Щоб правильно захистити електродвигуни, необхідно знати причини їх відмов. Аналіз літературних джерел [1, 4] показав, що причинами основних аварійних режимів є:

- обрив фази – 40...50%;
- загальмування ротору – 20...25%;
- технологічні перевантаження – 8...10%;
- зниження опору ізоляції – 10...15%;
- порушення охолодження – 8...10%.

Внаслідок актуальності проблеми захисту електродвигунів від аварійних режимів було запропоновано багато пристроїв діагностування і захисту.

Пристрої класифікуються за параметром, який контролюється первинним вимірювальним перетворювачем аварійних режимів: теплові, струмові, температурні, фільтрові і комбіновані.

В теплових пристроях первинний вимірювальний перетворювач контролює кількість теплоти, яка виділяється в нагрівальних елементах, що ввімкнені послідовно з фазами статора; в струмових – значення сили струму в обмотці статора; в температурних - температуру обмоток; у фільтрових – значення сили струму або напруги прямої, зворотної або нульової послідовності; в комбінованих – кілька перелічених параметрів. [1, 2].

Поза сумнівом перевага належить комбінованим пристроям моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів.

На сучасному етапі розвитку електроніки та мікропроцесорної техніки можливо вирішити питання розробки та впровадження мікропроцесорного пристрою моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Мета дослідження – це розробка монітору групи асинхронних електродвигунів на базі мікроконтролера, а також оцінка надійності розробленого пристрою.

*Основна частина.* Призначення монітору, що пропонується – це захист групи асинхронних електродвигунів та здійснення моніторингу, а саме, безперервне спостереження за роботою електродвигунів та реєстрація режимів їх роботи, а також накопичення статичних даних щодо роботи групи електродвигунів. Монітор групи асинхронних електродвигунів забезпечує виконання наступних умов:

- контролює температуру статорних обмоток електродвигунів;
- захищає електродвигун при попаданні води до його корпусу;
- надає цифрову індикацію номеру несправного електродвигуна при виникненні аварійних режимів його роботи з групи електродвигунів;
- захищає електродвигуни при обриві фази трьох фазної мережі живлення змінного струму;
- захищає електродвигуни при тривалих технологічних перевантаженнях;
- захищає електродвигуни при невірних процесах пуску та гальмуваннях;
- захищає електродвигуни при заклинюваннях ротора;
- забезпечує виконання алгоритму функціонування моніторингу з обробкою вхідних параметрів контролю для отримання результатів вимірювань на диспетчерському пульті;

Структурна схема розробленого монітору наведена на рис. 1. Монітор групи асинхронних електродвигунів складається з блоків моніторингу та захисту двигунів  $A1.1 \dots A1.i$  та з пристроєм моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів  $A1$ .

Слід відзначити, що кількість блоків моніторингу та захисту електродвигуна залежить від кількості об'єктів контролю – асинхронних електродвигунів в групі. [2].

Кожен комплект  $A1.i$  складається з блоку первинного перетворення та контролю асинхронного електродвигуна (БППК АД) та блоку моніторингу та захисту асинхронного електродвигуна (БМЗ АД), складовими яких є:

- первинний перетворювач температур ізоляції обмотки -1;
- блок вимірювання та перетворення температури – 2;
- трансформаторні перетворювачі струму – 3.1; 3.2; 3.3;
- блок перетворення струму – 4.1; 4.2; 4.3;
- первинний перетворювач вологості в корпусі АД – 5;
- блок вимірювання та перетворення вологості – 6;
- блок контролю роботи АД – 7;
- блок живлення – 8;
- блок керування АД – 9;
- канал зв'язку «прийом – передача» - 10;
- виконавчий блок – 7.

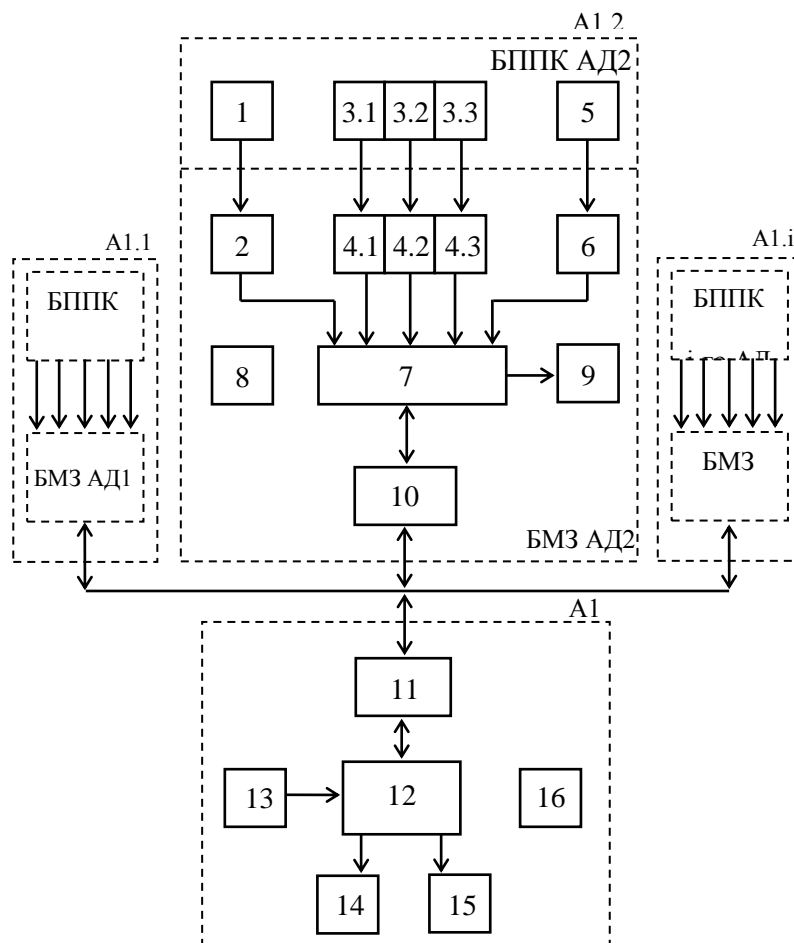


Рис.1. Структурна електрична схема монітору групи асинхронних електродвигунів.

Пристрій моніторингу та захисту групи асинхронних електродвигунів А1 складається з:

- каналу зв'язку «прийом – передача» – 11;
- мікроконтролеру – 12;
- блоку вводу параметрів контролю – 13;
- цифрового пристрою індикації – 14;
- звукового сигналізаційного пристрою – 15;
- блоку живлення – 16.

Розглянемо призначення кожного блоку монітору більш детально. Призначення перетворювача температури 1 та блоку вимірювання та перетворення температури 2 – це вимірювання та перетворення температури ізоляції статорної обмотки, як параметру моніторингу, в інформативний електричний сигнал, який після проміжної обробки надходить на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Трансформаторні перетворювачі струму 3.1...3.3 та блок перетворення струму 4.1...4.3 складається з трьох перетворювачів струму трансформаторного типу, первинна обмотка яких вмикається послідовно відносно лінійного проводу, що живить електродвигун. Вторинна обмотка такого перетворювача формує сигнал, пропорційний первинному струму, який надходить після проміжної обробки на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Призначення перетворювача вологості в корпусі електродвигуна 5 та блоку вимірювання та перетворення вологості 6 – це вимірювання та перетворення наявності вологості в корпусі електродвигуна, що прямим фактором подальшого зволоження ізоляції статорної обмотки в інформативний електричний сигнал, який після проміжної обробки надходить на відповідні порти мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Мікропроцесорний блок контролю роботи асинхронного електродвигуна 7 здійснює збір вимірювальної інформації з блоку первинного перетворення та контролю, її обробку та формування електричних сигналів на блок керування асинхронного електродвигуна 9.

Блок 9 здійснює відключення електродвигуна з групи електродвигунів від мережі живлення при наявності критичного перевантаження за струмом або при наявності вологості у корпусі електродвигуна або при перевищенні температури ізоляції статорної обмотки нормованої температури при наявності сигналу з мікропроцесорного блоку контролю роботи асинхронного електродвигуна 7.

Канали зв'язку 10 та 11 здійснюють прийом – передачу сигналів від блоків моніторингу та захисту певного електродвигуна на мікроконтролер 12. [2, 3].

Мікроконтролер 12 здійснює опитування певних блоків моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів, обробку, порівняння вхідних параметрів моніторингу теплових процесів з величинами нормованих уставок за температурою, за фазними струмами та за вологістю.

В залежності від значення вхідних параметрів після їх порівняння зі значеннями уставок мікроконтролер формує сигнал на блок 15, на блок 14, а також формується сигнал на відключення електродвигуна з групи електродвигунів.

Блок вводу параметрів контролю 13 – це клавіатура, яка призначена для керування монітором та для ручного вводу даних щодо вхідних параметрів моніторингу.

Цифровий пристрій індикації 14 надає оператору номер несправного електродвигуна з групи електродвигунів, а також візуальну інформацію у вигляді цифрового коду щодо величин параметрів моніторингу.

Звуковий сигналізаційний пристрій 15 надає оператору звукову сигналізацію щодо наявності аварійного режиму роботи електродвигуна з групи електродвигунів.

Схеми електричні принципові блоків монітору наведені на рис. 2. і на рис. 3.

Блок вимірювання та перетворення температури статорної обмотки реалізований на мікросхемі DA1, резисторі R1, мікросхемі DA2, резисторах R2, R3, конденсаторі C1. Сигнал з терморезистора  $R_t$  перетворюється в напругу в мікросхемі DA1, а в мікросхемі DA2 – в частоту мерехтіння світло діода оптопарі U1, транзистор якої та транзистор VT1 відкриваються, сигнал надходить на порт PB6 мікросхеми DD1 типу ATtiny26 – головний елемент блоку контролю роботи АД.



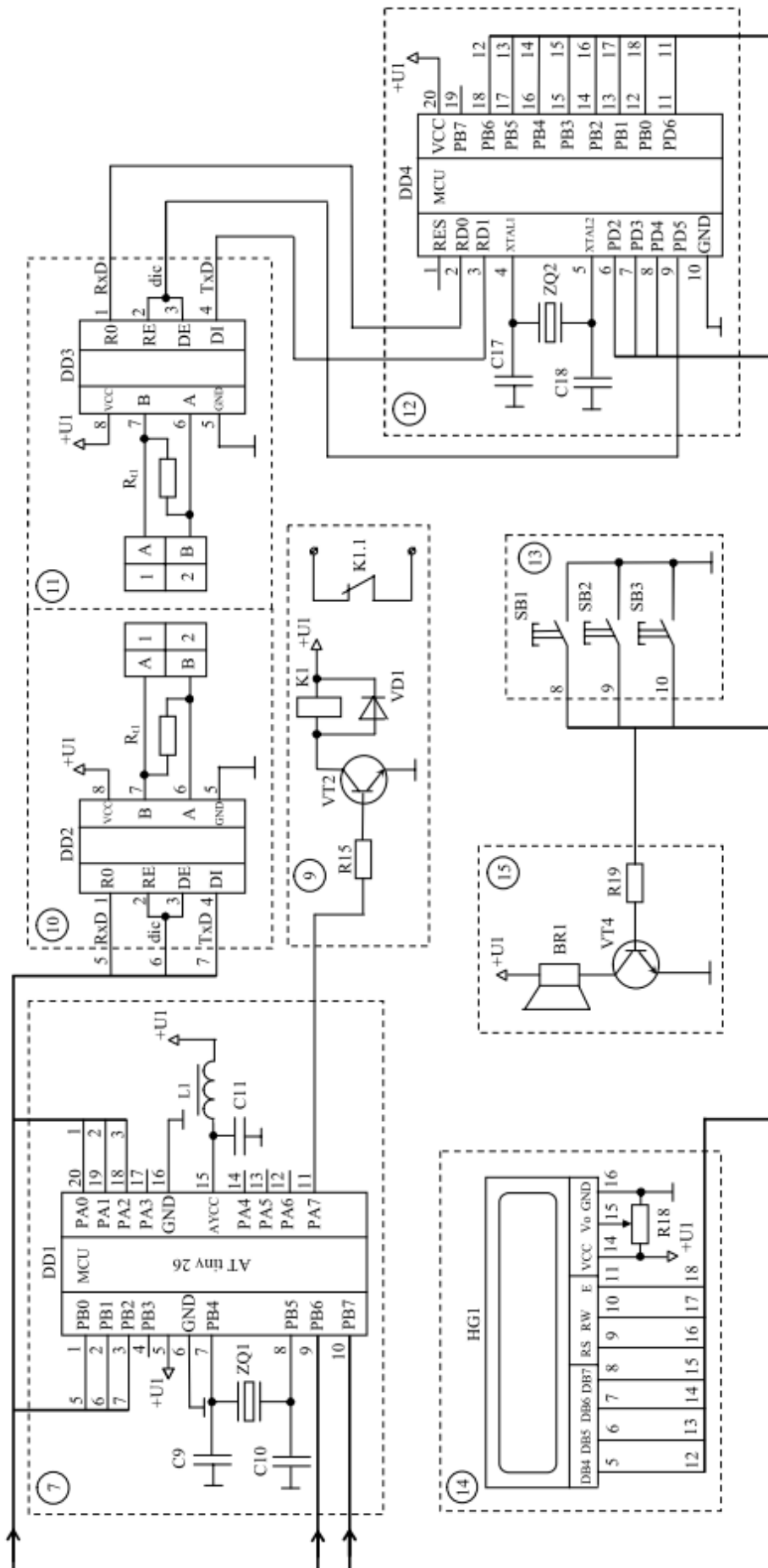


Рис. 3. Схема електрична принципова блоків монітору групи асинхронних електродвигунів

Розглянемо блок вимірювання фазних струмів, який складається з трьох перетворювачів струму трансформаторного типу (мікросхеми DA1...DA3), первинна обмотка яких вмикається послідовно відносно лінійного проводу, що живить електродвигун. Струм, який споживається електродвигуном, в перетворювачах струму DA1... DA3 перетворюється в напругу (0...5 В), яка пропорційна величині сили струму в фазах. Конструктивно перетворювач струму – це гальваномагнітний магнітовимірювальний перетворювач, в основу принципу дії якого покладений ефект Хола, а саме, ЕРС виникає між протилежними сторонами металевої або напівпровідникової пластинки, яка розташована в магнітному полі з індукцією та включена до кола з силою струму. Величина ЕРС зв'язана з силою струму та з магнітною індукцією аналітичним виразом [5]

$$E_x = \frac{R_x \cdot I \cdot B}{d}, \quad (1)$$

де  $R_x$  – постійна Хола;

$d$  – товщина чутливої пластинки.

Напруга надходить на порти PA0, PA1, PA2 та на загальні порти GND, VCC мікросхеми DD1.

Первинний перетворювач вологості кондуктометричного типу при наявності вологості у корпусі електродвигуна змінює свій електричний опір, сигнал з якого перетворюється в напругу в мікросхемі DA5, а в мікросхемі DA6 - в частоту мерехтіння світло діода оптопар U2, транзистор якої та транзистор VT3 відкриваються, сигнал надходить на порт PB7 мікросхеми DD1. Блок контролю вологості у корпусі електродвигуна реалізований на мікросхемі DA5, резисторі R16, мікросхемі DA6, резисторах R17, R18, конденсаторі C16, на оптопарі U2 та транзисторі VT3.

Блок контролю роботи АД реалізований на мікроконтролері - мікросхема DD1 типу ATtiny26. На елементах QZ1, C9 та C10 реалізована схема тактового генератора мікроконтролера. На елементах L1 та C11 реалізований фільтр живлення мікроконтролера.

Для двохстороннього зв'язку блоку контролю електродвигуна з пристроєм моніторингу та захисту групи електродвигунів призначений канал зв'язку, реалізований на мікросхемі DD2 – універсальному асинхронному приймачі-передавачі (UART). Це повнодуплексний інтерфейс: приймач і передавач працюють одночасно, незалежно один від одного. За кожним з них закріплений порт мікроконтролера. Порт приймача позначений  $R_x$ , передавача –  $T_x$ . Канал зв'язку має інтерфейс RS-485, як один з найбільш розповсюджених стандартів фізичного рівня зв'язку та способу передачі інформації.

Канал зв'язку блоків контролю електродвигунів та канал зв'язку (мікросхема DD3 та резистор  $R_{m2}$ ) блоку моніторингу та захисту групи



електродвигунів побудовані за допомогою інтерфейсу RS-485 і приєднані за допомогою кабелю витой пари UTP-типу.

Блок керування АД реалізований на транзисторному ключі VT2 – у його колекторне коло включено реле K1, нормально замкнений контакт якого включений у колы живлення котушки електромагнітного пускача електродвигуна. Для захисту ключа від ЕРС самоіндукції паралельно котушці реле підключений діод VD1.

На елементах QZ2, C17 та C18 реалізована схема тактового генератора мікроконтролера DD4 типу ATtiny 2343.

Після обробки інформативних сигналів мікроконтролера DD4 дані щодо поточного значення величини параметрів діагностування видається на цифровий індикатор HG1 (BC1602A).

Для ручного вводу даних та керування монітором схемою передбачена клавіатура на 4 клавіші: SB1 «MENU», SB2«+», SB3«-».

Звуковий сигналізаційний пристрій складається з резистора R19, звуковипромінювача BR1, транзистора VT4.

Блоки живлення монітору стандартні та обираються за [7].

Оцінкою надійної роботи монітору групи асинхронних електродвигунів є інтенсивність відмов його окремих елементів, яка визначається за формулою [8]

$$\lambda_{\Sigma} = k \cdot \sum_{n=1}^{i=1} \lambda_i, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ - елемента,  $1/\text{год}$ ;

$k$  – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища;  $k = 10 \dots 15$ ; [7].

Час роботи до відмови визначається за формулою

$$T_p = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P_{\Sigma}(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t_x}, \quad (4)$$

де  $t_x$  – час роботи, для якого визначаються параметри надійності; приймаємо  $t_x = 500$  годин.

Інтенсивність відмов  $i$  – того елемента розробленого монітору наведена в таблиці 1.

Інтенсивність відмов монітору дорівнює

$$\lambda_{\Sigma} = 10 \cdot 13,492 \cdot 10^{-6} = 0,00013492 \text{ години}^{-1}.$$

Час роботи монітору до відмови визначається за формулою

$$T_p = \frac{1}{0,00013492} = 7411,8 \text{ годин}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи монітору дорівнює

$$P_{\Sigma}(t) = e^{-0,00013492 \cdot 500} = 0,93.$$

Таблиця 1 – Інтенсивність відмов елементів монітору

Найменування елементів монітору	Кількість, шт.	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	
		<i>i</i> -го елемента	групи елементів
Запобіжник	2	0,5	1,0
Кріплення запобіжників	4	0,1	0,4
Діод	15	0,138	2,07
Резистор	24	0,053	1,272
Конденсатор	19	0,12	2,28
Інтегральна мікросхема	16	0,1	1,6
Реле електромеханічне	1	0,25	0,25
Трансформатор	5	0,17	0,85
Котушка індуктивності	1	0,02	0,02
Транзистор	6	0,5	3,0
Вимикач	3	0,25	0,75
Усього			13,492

*Висновки.* Впровадження монітору дозволить захищати групу асинхронних електродвигунів від таких аварійних режимів: обриву фази трьох фазної мережі живлення змінного струму, тривалих технологічних перевантажень, невірних процесів пуску та гальмування, заклинювання ротора, попадання води до корпусу, а також контролювати температуру статорних обмоток електродвигунів та надавати цифрову індикацію номеру несправного електродвигуна при виникненні аварійних режимів його роботи з групи електродвигунів. Це дозволить підвищити експлуатаційну надійність асинхронних електродвигунів приводу робочих машин в процесі експлуатації.

#### Література.

1. *Гольдберг О.Д.* Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / *О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская*; под ред. *О.Д. Гольдберга*. – М.: Издательский центр “Академия”, 2010. – 288 с.

2. *Нестерчук Д.М.* Мікропроцесорний пристрій діагностування режимів роботи групи асинхронних електродвигунів технологічної лінії / *Д.М. Нестерчук, І.О. Попова* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 116 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – с. 114 – 116.

3. *Нестерчук Д.М.* Захист асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / *Д.М. Нестерчук* // Праці ТДАТУ. – Випуск 11, том 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – с. 56-65.

4. *Кузнецов Н.Л.* Надежность электрических машин / *Н.Л. Кузнецов* – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
5. *Кравцов А.В.* Электрические измерения: [По спец. “Электрификация сел. хоз-ва”] / *А. В. Кравцов* – М.: Агропромиздат, 1988. – 238 с.
6. *Шустов М.А.* Практическая схемотехника: 450 полезных схем радиолюбителям / *М.А. Шустов*. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 360 с.
7. *Мартыненко И.И.* Проектирование систем автоматики. – 2-ое изд., перераб. и доп. / *И.И. Мартыненко, В.Ф. Лысенко*. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.

## МОНИТОР ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Нестерчук Д.Н., Гончарова Н.В.

### *Аннотация*

**Работа посвящена разработке монитора группы асинхронных электродвигателей на базе микроконтроллера, а также оценке его надежности.**

## GROUP OF INDUCTION MOTORS MONITOR

D. Nesterchuk, N. Goncharova

### **Summary**

**The work is devoted to development of the monitor group of induction motors based on microcontroller, and the assessment of its reliability.**

УДК 539.43

## ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ХРОМИСТОЇ СТАЛІ ДЛЯ КОВАЛЬСЬКИХ ЗЛИВКІВ

Буніна Л.М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-54

**Ключові слова** – ковальський зливкок, неметалеві включення, розкислення, «гаряча» тріщина, хромиста сталь.

**Анотація** – наведені причини браку при наявності «гарячих» тріщин ковальських зливків та поковок хромистих сталей. У результаті комплексного розкислення сталі алюмінієм і фероцерієм підвищена високотемпературна тріщиностійкість та механічні властивості хромистих сталей для поковок.

*Постановка проблеми.* Ковальсько-штамповочне виробництво, як правило, характеризується достатньо високим браком зливків і поковок, головним чином, за «гарячими» тріщинами. Основними причинами такого браку є: підвищена кількість нітридів алюмінію на межах аустенітних зерен, які приводять до зниження міжзеренних зв'язків, високотемпературних міцності і пластичності сталі, а також високий вміст сірки, який викликає утворення легкоплавких залізо-сульфідних евтектик і явище червоноламкості. У зв'язку з цим, у даній роботі вирішувалась задача управління кількістю і природою неметалевих включень у низьколегованих хромистих сталях з метою зниження браку ковальських зливків і поковок і підвищення комплексу механічних і експлуатаційних властивостей кованих низьколегованих сталей.

*Аналіз останніх досліджень.* Загальноприйнятим розкислювачем сталі є алюміній, від вмісту якого утворюються три типи неметалевих включень: глобулярні I типу при відсутності алюмінію, плівкові II типу при «критичних» концентраціях алюмінію, гострокутні III типу при надкритичному вмісті алюмінію. Для одержання найбільш сприятливого I типу неметалевих включень вміст залишкового алюмінію в середньовуглецевій сталі повинен складати 0,03...0,06% [1, 2]. Алюміній застосовують при розкисленні сталей також завдяки здатності утворювати при температурі нижче 1000°C на межах зростаючих кристалів дрібнодисперсні включення нітридів алюмінію. Ці включення дозволяють одержувати спадково дрібнозернисту сталь і відіграють роль регуляторів розміру зерна. З іншого боку, при висо-

кому вмісті алюмінію (більш 0,05%) внаслідок досить високого вмісту азоту (0,010...0,015%) у хромистих сталях на межах зерен утворюється велика кількість нітриду алюмінію, що негативно впливає на технологічну пластичність. Це викликає утворення кам'янистого зламу і знижує механічні властивості виробів. Тому, для підвищення тріщиностійкості великих зливків необхідно запобігти утворенню грубих нітридів алюмінію шляхом зв'язування частини азоту ще в рідкій сталі в хімічно стійкі нітриди.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи було вивчення впливу модифікування алюмінієм та фероцерієм порівняно з розкисленням алюмінієм на механічні властивості при високих температурах та тріщиностійкість хромистих сталей.

*Основна частина.* Розкислення алюмінієм неспроможне забезпечити сприятливу морфологію неметалевих включень, тому все більше застосовують спільне розкислення алюмінієм та рідкоземельними металами. З останніх найбільше застосування отримав фероцерій. Він володіє високою хімічною спорідненістю до азоту, має досить високі температури плавлення і дисоціації нітридів, а також сприяє глобуляризації неметалевих включень [3].

Результати аналізу роботи ковальського цеху одного з металургійних підприємств України показав, що брак ковальських зливків масою біля 1 т і поковок становив приблизно 25%, при цьому за «гарячими» тріщинами – приблизно 12%. Зі всіх видів браку на долю невіправного належало 2/3 браку, а доля виправного становила 1/3. Основними видами браку були: «гарячі» тріщини – 12%, підвищене забруднення неметалевими і шлаковими включеннями – 1,1%, невідповідність хімічного складу – 3,6%, невідповідність термічної обробки – 8,3%. На рисунку 1 наведено графік розподілу браку за «гарячими» тріщинами для вуглецевих і легованих марок сталі.

Результати аналізу матеріалів 2840 плавов показали, що домінуючим видом браку були «гарячі» тріщини, брак за якими становить у середньому для всіх марок сталі 12% (табл. 1) або половину від всіх видів браку. Статистична обробка висновків ЦЗЛ підприємства причин браку зливків і поковок показала, що в 79,5% випадків причиною утворення тріщин у металі були неметалеві включення. При цьому на долю сульфідів і оксисульфідів припадало 50,5%, на долю інших включень – 29,0% випадків браку.

Для зниження браку за «гарячими» тріщинами і підвищення рівня механічних властивостей хромистих сталей, які найбільш схильні до тріщиноутворення (див. рис.1), необхідна технологія кінцевого розкислення, яка виключає утворення надмірного нітриду алюмінію AlN на межах аустенітних зерен і отримання неметалевих включень, які не деформуються у процесі кування, з метою поліпшення механічних властивостей і зниження їх анізотропії.

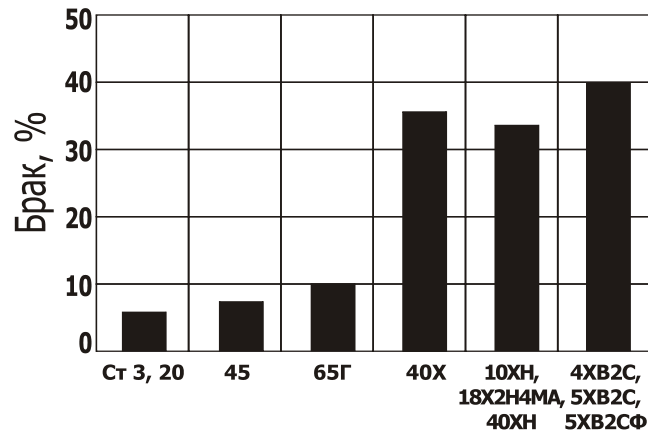


Рис. 1. Розподіл браку за «гарячими» тріщинами за марками сталі.

Таблиця 1 – Брак зливок і поковок за «гарячими» тріщинами

Показ-ники	Марки сталі						Всього
	Ст.3, 20	45	65Г	40Х	10ХН, 18Х2Н4МА, 40ХН	4ХВ2С, 5ХВ2С, 5ХВ2СФ	
Всього зливок і поковок, шт.	140	123	10	22	31	15	341
у тому числі з тріщинами, шт.	7	8	1	8	11	6	41
% браку	5,0	6,5	10,0	36,4	35,5	40,0	12,0*

\* середнє для всіх марок сталі

У зв'язку з цим мета наступного етапу дослідження полягала у виборі оптимальної технології модифікування для запобігання інтенсивного утворення нітриду алюмінію на межах аустенітних зерен хромистих сталей. Згідно літературних джерел, церій і лантан є типовими нітридоутворюючими елементами, які послаблюють шкідливий вплив азоту в зливках і виливках. У зв'язку з чим ставилась задача оптимізувати процес розкислення сталі для ковальських зливок для того, щоб:

- 1) знизити брак за тріщиноутворенням;
- 2) підвищити механічні властивості сталі для поковок.

Ця задача розв'язувалась шляхом додаткового модифікування фероцерієм сталі, розкисленої алюмінієм. В якості модифікатора фероцерій був обраний із наступних міркувань. По-перше, церій, лантан та інші рідкоземельні метали, які входять до складу фероцерія, володіють високою хімічною спорідненістю до азоту, достатньою для утворення нітридів. По-друге, при модифікуванні рідкоземельними металами утворюються глобулярні оксисульфідів, які не деформуються при гарячій

обробці тиском, що позитивно відбивається на технологічній пластичності, тріщиностійкості і механічних властивостях сталі.

Механічні іспити проводили на сталі 40ХЛ, розкисленої за двома варіантами: 1) алюмінієм і 2) алюмінієм і фероцерієм, при температурах 600, 800 та 1000°C (табл. 2). В інтервалі цих температур закінчується процес гарячого кування і найбільш часто утворюються тріщини. Як видно з наведених у таблиці 2 даних, додаткове модифікування сталі фероцерієм сприяло підвищенню міцності і пластичності. При цьому більш помітне поліпшення механічних властивостей (на 20...70%) спостерігалось при температурі 800°C. На наш погляд, підвищення міцності і пластичності при підвищених температурах пояснюється:

- 1) утворенням тугоплавких з'єднань окисульфідів рідкоземельних металів (РЗМ) замість легкоплавких сульфідних включень;
- 2) очищенням меж зерен від неметалевих включень;
- 3) змінням гострокутної і плівкової форми включень на глобулярну;
- 4) зв'язуванням частини азоту в нітриди РЗМ.

Таблиця 2 – Механічні властивості сталі 40ХЛ, розкисленої алюмінієм та алюмінієм і фероцерієм, при температурах 600,800 та 1000° С

Властивості	600°C		800°C		1000°C	
	Al	Al+FeCe	Al	Al+FeCe	Al	Al+FeCe
$\sigma_b$ , МПа	310,8	325,7	128,0	155,4	64,9	77,4
$\Psi$ , %	18,4	24,9	25,6	44,1	90,7	98,6
$\delta$ , %	12,7	18,0	49,5	63,2	73,2	74,7

Внаслідок застосування двохкомпонентного розкислення сталі алюмінієм і фероцерієм були отримані глобулярні неметалеві включення, які не деформувались при гарячій обробці металів (рис. 2), і суттєво знижена анізотропія механічних властивостей.

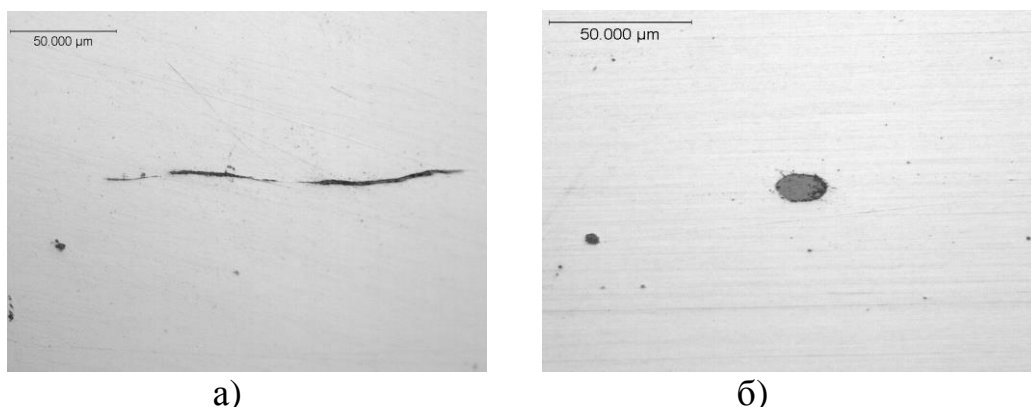


Рис. 2. Типові неметалеві включення у кованої сталі: а – розкислення алюмінієм; б – розкислення алюмінієм і фероцерієм.  $\times 524$

*Висновки.* При розкисленні сталі для ковальських зливків алюмінієм і фероцерієм зменшується брак за «гарячими» тріщинами, а також підвищуються механічні властивості при високих температурах.

#### Література

1. Шульте Ю.А. Электрометаллургия стального литья / Ю.А. Шульте. – М.: Metallurgiya, 1970. – 223 с.
2. Лунев В.В. Сера и фосфор в стали / В.В. Лунев, А.В. Аверин. – М.: Metallurgiya, 1988. – 256 с.
3. Голубцов В.А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В.А. Голубцов, В.В. Лунев. – Челябинск-Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 356 с.

### ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ ДЛЯ КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ

Бунина Л.Н.

#### *Аннотация*

**Приведены причины брака по «горячим» трещинам кузнечных слитков и поковок хромистых сталей. В результате комплексного раскисления стали алюминием и ферроцерием повышена высокотемпературная трещиностойкость и механические свойства хромистых сталей для поковок.**

### THE RISING OF CHROME STEEL CRACK RESISTANCE FOR FORGING INGOTS

L. Bunina

#### *Summary*

**The cause of hot crack defect of forging ingots and forgings of chrome steels is given. It is shown what in the result of complex deoxidation by aluminum and ferrocium of chrome steels for forgings the high temperature cracking resistance and mechanical properties are rising.**



УДК 631.363

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

Іскерський І.С., аспірант\*.

*Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка*

Тел.(0352) 43-57-77

**Анотація** – розглянуті ключові питання розробки електротехнологічного комплексу з виробництва твердого біопалива.

**Ключові слова** – тверде біопаливо, дозатор, електропривод, зв'язне дозування, продуктивність, вологість, система керування.

*Постановка проблеми.* В Україні та за кордоном створено цілий ряд машин та обладнання для рівномірної безперервної подачі сировини у змішувачі, сушильні камери, гранулятори, преси тощо. Практично у всіх них домінує регульовальний асинхронний електропривод, що є позитивною передумовою автоматизації процесу дозування.

Проте згадані вище технології об'єднує один спільний недолік – нерівномірність дозування сировини, яка складає за коефіцієнтом варіації 25-40%, що суттєво впливає на якість кінцевого продукту.

Іншим недоліком є критична величина вологості сировини, яка знаходиться в межах 12-16%.

Спроби їх усунути за допомогою підпресовочних механізмів та підсушування біосировини не дає суттєвого ефекту і призводить до перевитрат електричної та теплової енергії.

Вирішити цю задачу можна завдяки регульованому безперервному зв'язному дозуванню сировини [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Проблеми покращення динамічних властивостей безперервного дозування компонентів за допомогою регульованого електропривода висвітлені в працях Інституту електродинаміки НАН України [2]. Питання використання регульованого електропривода з його інтеграцією в структури цілісного технологічного комплексу задекларовані в роботі [3]. Встановлення перетворювача частоти на робочих машинах потокових ліній дозволило на 20% зменшити енергоємність виробництва. Проте згадані розробки не адаптовані до технологій з недетермінованим характером зміни їх базових параметрів, що спостерігається в потокових лініях виробництва твер-

---

\* Науковий керівник: д.т.н. Федорейко В.С.

© аспірант Іскерський І.С.

дого біопалива

*Формулювання мети статті.* Аналіз шляхів зменшення витрат енергії і підвищення якості продукції в електротехнологічному комплексі з виробництва двокомпонентного твердого біопалива.

*Основна частина.* Основною характеристикою дозатора безперервної дії є рівномірність видачі заданої кількості матеріалу з необхідною точністю, тобто в забезпеченні виразу:

$$\int_{t_1}^{t_1 + \Delta t} Q(t)dt - Q_{зад} \Delta t \leq \pm \Delta, \quad (1)$$

де  $Q(t)$  – реалізація продуктивності в часовому інтервалі  $\Delta t$ ;

$Q_{зад}(t)$  – задане значення витрат;

$\Delta$  – допустиме відхилення.

У ході досліджень процесу дозування компонентів біопалива нами доказано, що під час зростання  $\Delta$ , практично зростає дисперсія швидкості електродвигуна дозатора, зменшення якої призводить до економії енергії, а також покращує збалансованість суміші біопалива [1]. Тому керування повинно включати в себе первинні перетворювачі продуктивності дозаторів компонентів, регульований електропривод дозаторів безперервної дії та нейрорегулятор на базі мікропроцесорного контролера, який переналаштовується в залежності від складу і характеристик технологічного обладнання та рецептури біопалива. Проведений аналіз показав, що застосування системи дозволяє знизити енергоємність процесу виробництва твердого біопалива на 15-20%.

Як було задекларовано вище визначальний вплив на енергоємність процесу брикетування твердого біопалива має величина вологості базового компонента, яка в більшості випадків перевищує 20...35%.

При вологостях більше 15% застосовують підсушування сировини в циклонних сушарках, що призводить до значних перевитрат теплової та електричної енергії.

Проведені нами дослідження показали, що при вологості понад 25% і продуктивності у верхній шкалі дозатора на виробництво однієї тонни брикетів витрачається в 2...3 рази більше енергії, а це робить експлуатацію потокової лінії нерентабельною (рис. 1).

Розширення вологісного діапазону базової сировини можливе тільки у випадку добавляння другого компоненту в біопаливо з низькою базовою вологістю, наприклад, подрібнених качанів кукурудзи після насінневих заводів, або відходів елеваторної промисловості, вологість яких не перевищує 11% [1].

Задана вологість суміші підтримується за рахунок змішування двох вхідних компонентів – соломи та подрібнених качанів кукурудзи. У процесі функціонування змішувача регулюються об'ємні витрати подрібнених качанів кукурудзи та соломи за рахунок зміни продуктивності дозаторів, відповідно  $Q_1$ ,  $Q_2$  при підтримці сталої продуктивно-

сті  $Q_3$  на виході змішувача

$$Q_3 = Q_1 + Q_2. \quad (2)$$

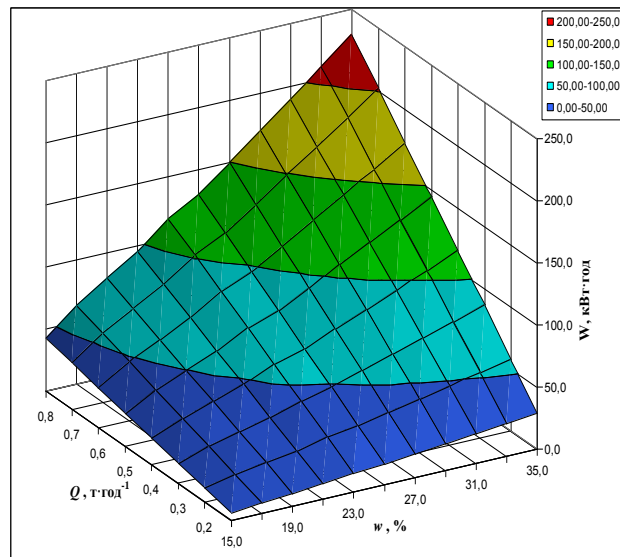


Рис. 1. Залежність енерговитрат на виробництво брикетів від вологості базової біосировини і продуктивності потокової лінії.

У сталому режимі значення вологості  $w_3$  і продуктивності дозаторів  $Q_3$  зв'язані наступними залежностями:

$$Q_1(w - w_1) + Q_2(w - w_2) = 0; \quad (3)$$

$$w = (Q_1 w_1 + Q_2 w_2) / Q. \quad (4)$$

При заданій вологості  $w_3$  і продуктивності  $Q_3$  на виході змішувача необхідні продуктивності дозаторів кукурудзи  $Q_1$  та соломи  $Q_2$  обчислюються згідно залежностей:

$$Q_1 = \frac{Q_3(w_3 - w_2)}{w_1 - w_2}; \quad Q_2 = \frac{Q_3(w_1 - w_3)}{w_1 - w_2}. \quad (5)$$

Структурна схема системи керування вологістю та продуктивністю суміші представлена на рис. 2, де підсистема 1 реалізовує залежність (4) – визначення кінцевої вологості, а підсистема 2, яка безпосередньо під'єднується до регуляторів, що визначають оптимальні значення  $Q_1$  та  $Q_2$  – залежності (5).

Вологості подрібнених качанів кукурудзи та соломи на вході системи позначені, відповідно,  $w_{1в}$  та  $w_{2в}$ , а виміряні –  $w_1$  та  $w_2$ .

Аналіз співвідношень продуктивностей дозаторів (5) для підтримання необхідної продуктивності на виході змішувача при заданих значеннях вологостей  $w_1$  та  $w_2$  дозволяють визначити коефіцієнт пропорційності  $k$ , оптимальне значення якого лежить в діапазоні від 1 до 5 (рис. 3).

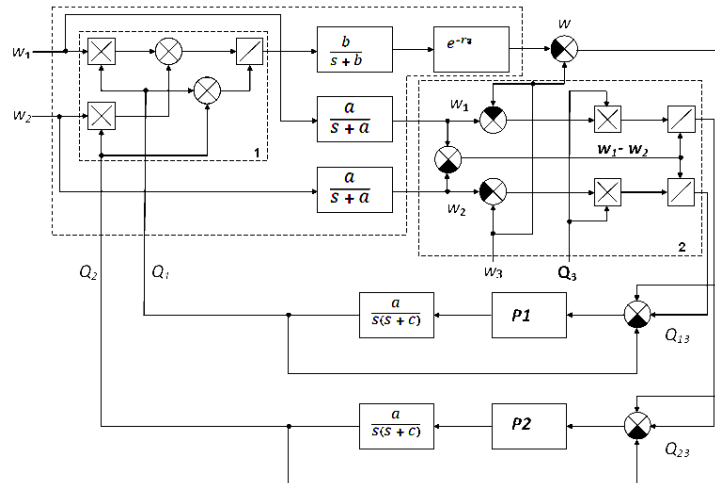


Рис. 2. Структурна схема системи керування зв'язним дозуванням компонентів біопалива.

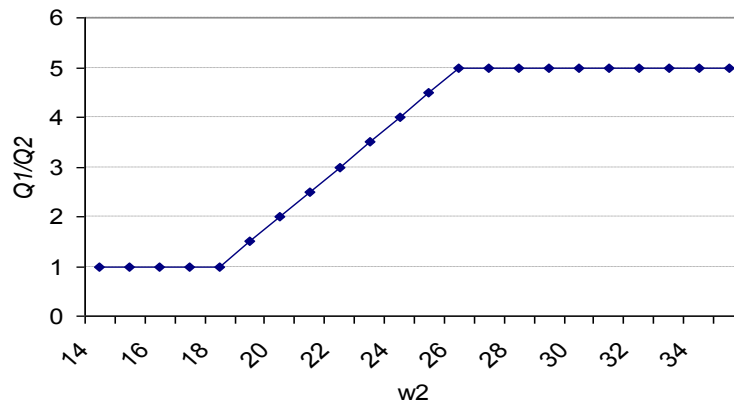


Рис. 3. Співвідношення продуктивностей для значень вологостей  $w_1 = 14\%$ ,  $w_2 = 14\dots35\%$ .

Дослідження процесу брикетування біопалива показали, що його основні входні параметри, такі як вологість компонентів (подрібнених кукурудзяних качанів і соломи) і відповідна продуктивність дозаторів є нелінійні та нестационарні величини, взаємозв'язки між якими встановити традиційними аналітичними методами неможливо. У такому випадку оптимальним способом підвищення якості керування автоматизованими електромеханічними системами є використання інтелектуальних технологій.

Застосування нечітких систем дає змогу спростити процес розрахунку згаданої вище залежності, відкинувши необхідність проведення складних математичних обчислень. Нейронечіткі (гібридні) мережі успішно реалізують досвід і знання експертів, а також мають здатність до самонавчання. Використання інтелектуальних компонентів на базі нечіткої логіки значно розширює можливості проектування і керування нелінійними динамічними системами.

*Висновки.* Отримані залежності енергоємності процесу показали, що при вологості сировини більше 25% виробництво біопалива стає

нерентабельним.

Розширити вологісний діапазон базової сировини можна за рахунок другого компоненту в пропорціях від 1:1 до 1:5, шляхом використання зв'язного дозування на основі регульованого електропривода.

Враховуючи випадковий недетермінований характер зміни фізико-механічних властивостей сировини, керування технологічним процесом доцільно здійснювати fuzzy-контролером.

#### Література

1. Федорейко В.С. Дослідження характеристик багатокомпонентного твердого біопалива / В.С. Федорейко, І.С. Искерський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2011, Т.4, Вип. 24. – С.80-88.

2. Автоматизированная система непрерывно-поточного дозирования на базе регулируемого электропривода и тензометрического весового корректора / [В.Н. Исаков, В.Г. Исаков, Н.Д. Красношапка, А.Н. Исаков]. – Труды Института электродинамики НАН Украины. Электродинамика. – К.: – 2000. – С.77-80.

3. Сажин С.Г. Анализ и опыт применения частотных преобразователей на линиях по производству полимерных рукавных пленок / С.Г. Сажин, Р.В. Отекин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – № 6. – 2003. – С.26-28.

### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА**

Искерский И.С.

#### *Аннотация*

**Рассмотрены основные вопросы разработки электротехнологического комплекса по производству твердого биотоплива.**

### **PECULARITIES OF ELECTRO-TECHNOLOGICAL COMPLEX DEVELOPMENT IN RELATION TO THE SOLID BIOFUEL PRODUCTION**

I. Iskerskyi

#### *Summary*

**The principal aspects of electro-technological complex development in relation to the solid biofuel production considered.**

УДК 621.3.067

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИ РОБОТІ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ**

Санченко О.В., інженер.

*ВП НУБіП України "Немішайвський агротехнічний коледж"*

Тел. (067) 255-44-16

**Анотація** – розроблено експериментальний широтно-імпульсний перетворювач напруги та наведені результати досліджень якості гармонійного складу вихідної напруги перетворювача.

**Ключові слова** – транзисторний ключ, перетворювач напруги, вищі гармоніки, спектральний аналіз, несуча частота.

*Постановка проблеми.* З літературних джерел і практичного досвіду відомо, що напівпровідникові перетворювачі (тиристорні регулятори) напруги генерують у мережу живлення імпульси напруги та вищі гармоніки. Кращі показники якості електроенергії мають транзисторні перетворювачі напруги з широтно-імпульсним керуванням [1]. Вищі гармоніки в них генеруються кратними несучій частоті, яка як правило не менше 500 Гц. Тому застосування широтно-імпульсних перетворювачів (ШПІ) напруги сприяє покращенню якості електроенергії, роботі електропривода та інших споживачів.

*Аналіз останніх досліджень.* Для малопотужних асинхронних двигунів з коротко-замкнутим ротором порівняно нескладно регулювати швидкість зміною напруги на статорі, оскільки вони мають м'яку механічну характеристику на робочій частині. Найбільш простими і дешевими для вказаного регулювання є регулятори амплітуди напруги живлення. З точки зору низької вартості та якісної електроенергії найприйнятнішим для регулювання малопотужного асинхронного електропривода є регулятор напруги з керуванням за принципом широтно-імпульсного перетворювача, при якому чергуються періоди вмикання і вимикання силових електронних приладів [1]. Період циклу на декілька порядків менший періоду синусоїди напруги живлення. При такому керуванні спотворення синусоїди мінімальне, а найближча вища гармоніка, за аналогією з автономним інвертором з синусоїдальним

ШІМ, спостерігається на несучій частоті [2]. Удосконаленню електричної схеми перетворювача, системи керування ним та дослідження гармонійного складу вихідної напруги присвячена дана робота.

*Формування мети статті.* Метою даної роботи є розробка перетворювача напруги малопотужного електропривода з покращеним спектральним складом вихідної напруги.

*Основна частина.* Для перевірки раніше визначених положень [2, 3] по гармонічному складу вихідної напруги перетворювачів було розроблено імпульсний перетворювач напруги з послідовним комутуючим (ключовим) елементом для регульованого живлення навантаження (в даному випадку активного). Електрична схема перетворювача напруги наведена на рис. 1, а зовнішній його вигляд на рис. 2.

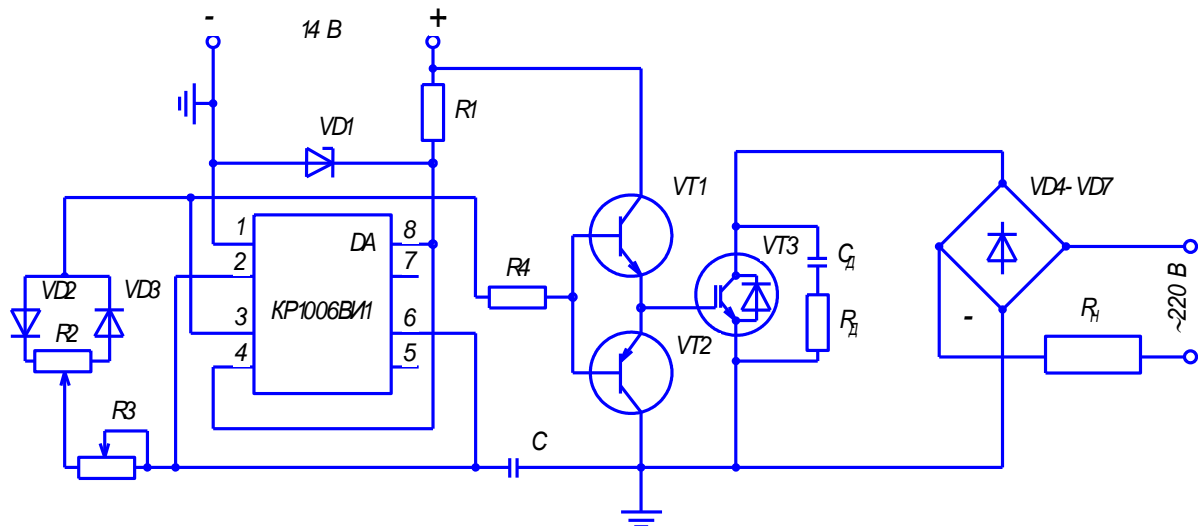


Рис. 1. Електрична схема імпульсного перетворювача напруги з активним навантаженням.

В схемі перетворювача можна виділити наступні функціональні блоки: стабілізований блок живлення схеми керування ( $VD1$ ,  $R1$ ), генератор імпульсів ( $DA$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $R2$ ,  $R3$ ,  $C$ ), підсилювач постійного струму ( $R4$ ,  $VT1$ ,  $VT2$ ), комутуючий елемент ( $VT3$ ),  $RC$ -снаббер ( $R_{д}$ ,  $C_{д}$ ), силовий діодний міст ( $VD4$ - $VD7$ ) та активне навантаження  $R_{н}$ . Комутуючий елемент  $VT3$  ввімкнений в діагональ постійної напруги силового діодного моста, а навантаження  $R_{н}$  послідовно через діагональ змінної напруги приєднано до мережі.

Генератор імпульсів регульованої частоти та шпаруватості імпульсів виконаний на основі таймера  $DA$ , який може формувати імпульси напруги тривалістю від 10 мкс до десятків хвилин. Такий таймер використовують в генераторах імпульсів, широтно-імпульсних модуляторах, фазових модуляторах, перетворювачах напруги, ключових і виконавчих пристроях тощо. Співвідношення імпульс/пауза регулюють потенціометром  $R2$ , а тривалість періоду (несучу частоту) – змін-

ним резистором  $R3$ . Середнє значення вихідної напруги регулюється тривалістю імпульсів резистором  $R2$  при незмінній її частоті.

При подачі живлення на схему керування перетворювача через діод  $VD2$ , ліву частину подільника напруги  $R2$ , резистор  $R3$  починає заряджатися конденсатор  $C$ . Одразу після подачі живлення на виході таймера  $DA$  з'являється напруга, яка через резистор  $R4$  подається до баз транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$ . При цьому транзистор  $VT1$  відкривається, а  $VT2$  знаходиться в закритому стані. Через відкритий транзистор  $VT1$  напруга додатної полярності подається на затвор транзистора  $VT3$  і відкриває його. Навантаження  $R_H$  через силовий діодний міст приєднується до мережі живлення  $\sim 220$  В.

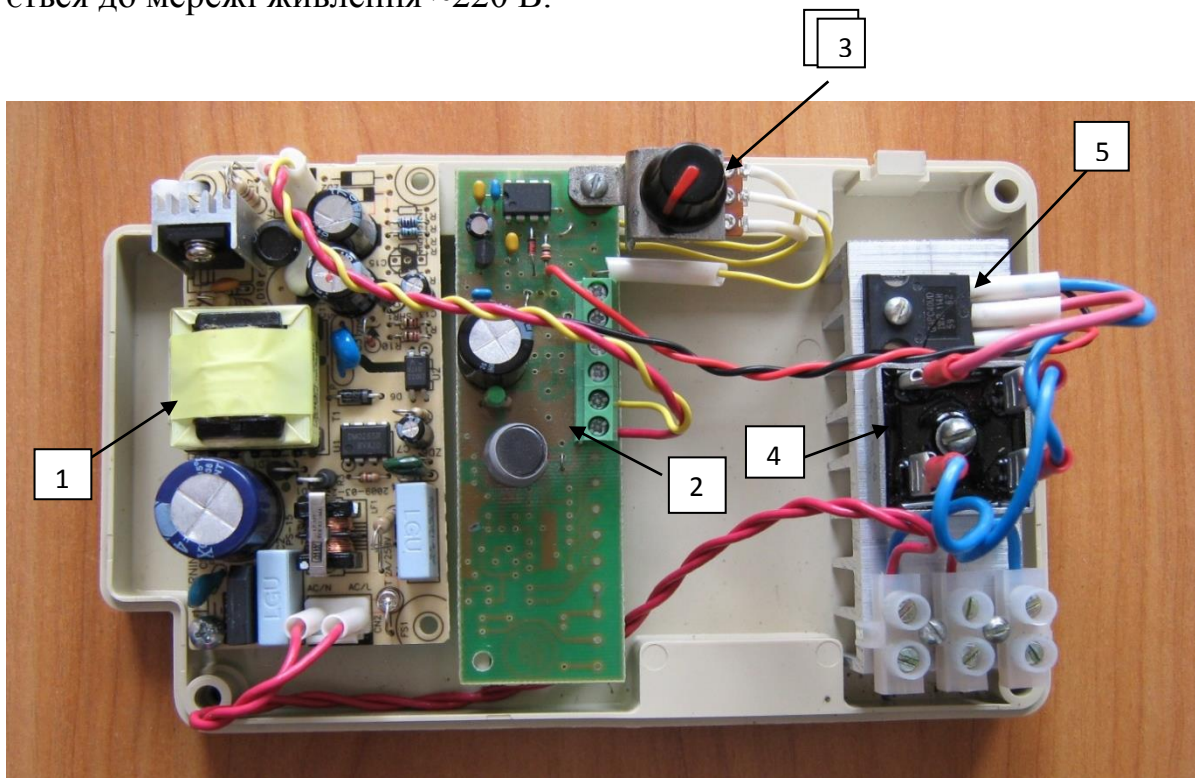


Рис. 2. Зовнішній вигляд широтно-імпульсного перетворювача напруги: 1 – блок живлення системи керування; 2 – генератор імпульсів; 3 – регулятор величини вихідної напруги  $R2$ ; 4 – силовий діодний міст; 5 – комутуючий елемент  $VT3$ .

Після зарядки конденсатора  $C$  до напруги  $\frac{2}{3}U_M$  на виході таймера  $DA$  напруга зменшиться практично до нуля, транзистор  $VT1$  закриється, а  $VT2$  відкриється. При цьому транзистор  $VT3$  закривається і навантаження від'єднується від мережі. Конденсатор  $C$  розряджається через резистор  $R3$ , праву частину потенціометра  $R2$ , діод  $VD3$  і внутрішній елемент таймера  $DA$ .



Для обмеження комутаційних викидів напруги на  $VT3$  (особливо при активно-індуктивному навантаженні) та зменшення сумарних втрат в імпульсному перетворювачі в схему введено снаббер (демпфер) з послідовно ввімкнених конденсатора  $C_d$  і резистора  $R_d$ .

При експериментальних дослідженнях за допомогою аналогового двоканального осцилографа була зафіксована форма кривої вихідної напруги розробленого перетворювача (рис. 3). Як видно з осцилограми крива синусоїдальної напруги мережі живлення порізнана на частки, тобто підтверджені теоретичні викладки регулювання змінної напруги за принципом широтно-імпульсного керування. Шпаруватість імпульсів (величину діючого значення вихідної напруги) регулюють потенціометром 3 (рис. 2). Частота перемикавання силового транзисторного ключа рівна 450 Гц, яка в 9 разів більша основної (50 Гц). Даний перетворювач напруги працював на активне навантаження, то форму кривої вихідного струму не заміряли, оскільки вона повторює форму вихідної напруги.

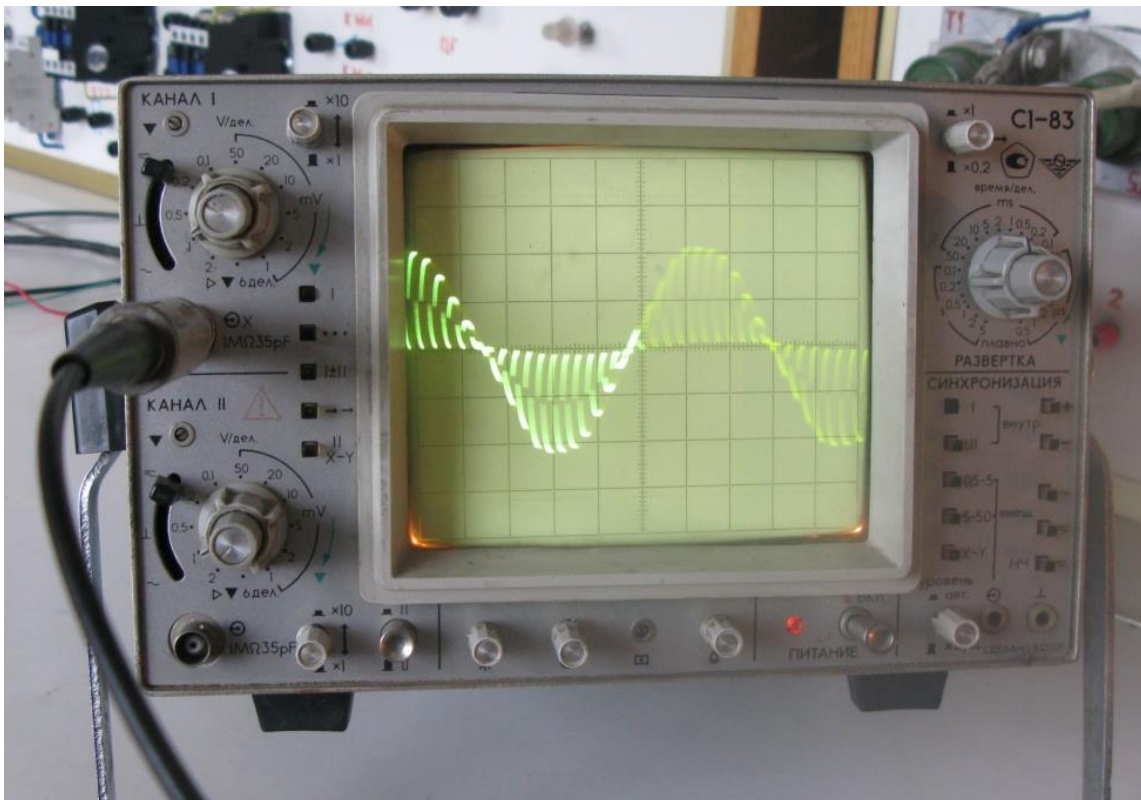


Рис. 3. Форма кривої вихідної напруги перетворювача.

Дослідження спектру вихідної напруги проводились за допомогою універсального вимірювального приладу DMK32.

Результати досліджень (рис. 4) підтвердили теоретичні викладки [2, 3] про формування вищих гармонік кратних несучій частоті, якою є 9-та гармоніка. Пік вищих гармонік явно виражений на 8, 10 та 17, 19, які знаходяться області кратній несучій частоті, тобто 9 та 18.

При збільшенні несучої частоти відповідно і вищі гармоніки будуть збільшуватись. Логічно допустити, що при роботі на активно-індуктивне навантаження, яким є електродвигун, індуктивність буде виступати бар'єром для струмів високої частоти, що являється позитивним для роботи таких регуляторів напруги. Але при цьому буде зростати доля динамічних втрат в силових електронних елементах. Крім того, за рахунок ЕРС самоіндукції будуть появлятися імпульси напруги, від яких потребується захист транзисторних ключів.

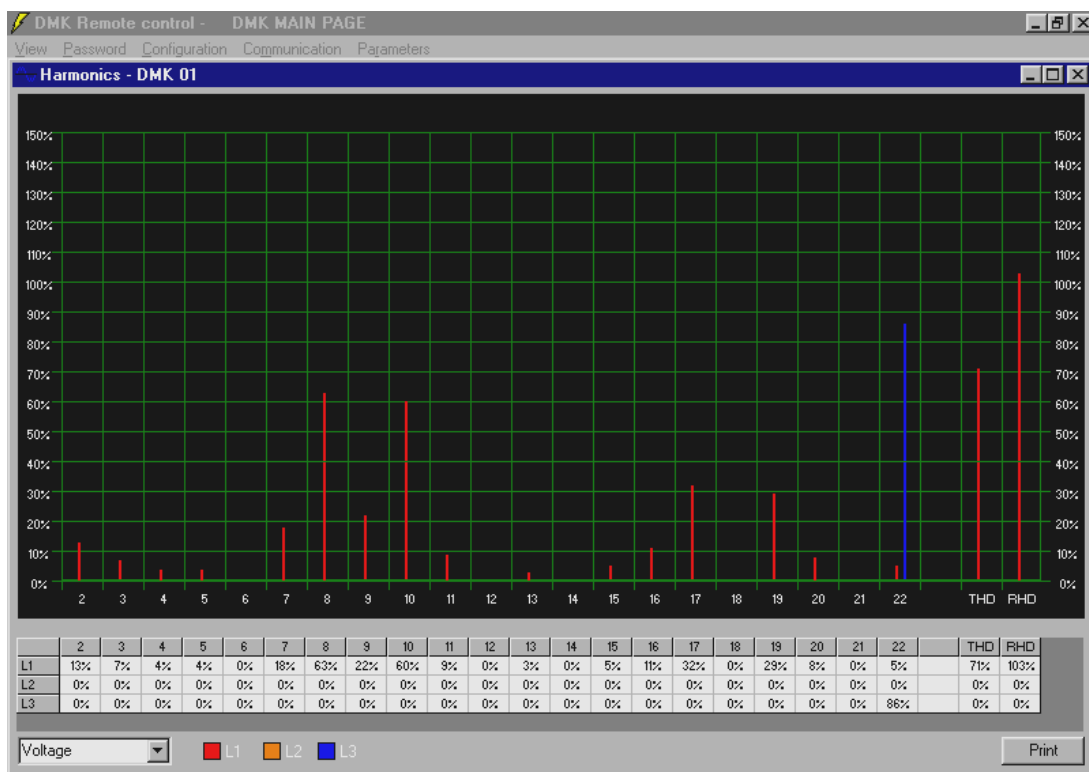


Рис. 4. Спектральний склад вихідної напруги перетворювача з ШПІ-керуванням при роботі на активне навантаження.

*Висновки.* Проведеними дослідженнями підтверджена роботоздатність широтно-імпульсного перетворювача напруги на активне навантаження. Аналіз спектрального складу вихідної напруги показав, що вищі гармоніки утворюються кратними несучій частоті (450, 900 Гц і т.д.). В подальших дослідженнях необхідно оптимізувати частоту перемикання силового елемента з урахуванням втрат у перетворювачі та якості вихідної напруги при роботі перетворювача на активно-індуктивне навантаження.

## Література

1. *Голодний І.М.* До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / *І.М. Голодний, О.В. Санченко* // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2011. – Вип. 166, ч. 4. – С.64-70.
2. *Голодний І.М.* Порівняльний аналіз на моделі в MatLab гармонічного складу вихідної напруги електронних перетворювачів з різними способами керування при роботі на активне навантаження / *І.М. Голодний, О.В. Санченко* // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П.Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – 2012. – Вип. 129. – С.74-78.
3. *Квицинський А.О.* Обґрунтування типу регулятора потужності в умовах електромагнітної сумісності / *А.О. Квицинський, М.Т. Лут, О.В. Шмонін* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. - №2. – С. 55-68.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ  
РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКИ**

Санченко А.В.

*Анотація*

Разработан экспериментальный широтно-импульсный преобразователь напряжения и приведены результаты исследований качества гармоничного состава выходного напряжения преобразователя.

**EKSPERIMENTALNYE INVESTIGATE THE SPECTRAL  
COMPOSITION OUTPUT VOLTAGE PULSE-WIDTH CONTROL  
DURING A RESISTIVE LOAD**

*Sanchenko A.V.*

*Summary*

Developed an experimental voltage converter with PWM control and the results over are brought of investigations of the quality of a harmonious output voltage of the converter.

УДК 621.313.333

## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Попова І.О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена розробці пристрою безперервного діагностування режимів роботи групи асинхронних електродвигунів, який дозволить підвищити експлуатаційну надійність електродвигунів.

**Ключові слова** – діагностування, несиметрія напруги, експлуатаційний режим, аналог лямбда-діода

**Постановка проблеми.** Кожного року виходять з ладу 20-25% працюючих в АПК асинхронних двигунів [1]. Методом експертних оцінок для півдня України встановлено, що понад 45% електродвигунів виходить із ладу внаслідок обриву фази і виникнення неприпустимої несиметрії напруг фаз мережі. Велика аварійність асинхронних двигунів обумовлена особливостями експлуатації їх в агропромисловому комплексі, до специфічних умов якої слід віднести низьку якість напруги в мережі, зокрема, її несиметрію. Несиметрія напруг мережі є специфічною особливістю сільських розподільчих кіл 0,38/0,22 кВ, оскільки вони відзначаються великою довжиною та змішаним підключенням однофазних і трифазних споживачів. Таким чином, несиметричний режим є звичайним режимом зазначених сільських мереж. Тому розробка пристрою контролю режиму роботи асинхронних двигунів потокової технологічної лінії при несиметрії напруг мережі і захисту їх при обриві лінійного проводу (глибокій несиметрії напруг) є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень.** В пристрої за допомогою фільтру напруги нульовий послідовності контролюється напруга зміщення нейтралі, яке використовується для виявлення несиметрії напруг мережі і неповнофазного режиму.

У якості первинного перетворювача напруги використаний аналог лямбда-діода, який встановлюється безпосередньо на

електродвигуні, що дозволяє контролювати несиметрію фазних напруг електродвигуна.

Аналог лямбда-діода складається з двох біполярних транзисторів, при виборі яких не треба, щоб вони склали комплементарну пару і їх роботі не заважає магнітне поле електродвигуна.

*Формулювання цілей статті.* Розробити пристрій безперервного діагностування неповнофазних режимів роботи групи асинхронних двигунів.

*Основна частина.* Особливість аналога лямбда-діода полягає в тому, що ширину вольт-амперної характеристики (ВАХ) можна змінювати в великих межах шляхом підключення затворів польових транзисторів до резисторних дільників напруги  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  [1]. Або зміни напруги, знятої з нульової точки електродвигуна, з'єданого за схемою «зірка», і поданої на базу біполярного транзистора VT1 первинного перетворювача ПП1 [2].

У якості резистора  $R_1$  можуть бути застосовані терморезистори СТ14-1А, СТ14-2Б-115,130,145,160, що вибираються відповідно до класу ізоляції електродвигуна. Пристрій діагностування режимів роботи може бути використаний для контролю режимів роботи групи двигунів, наприклад, у технологічних лініях. На рис. 1 подана структурна схема діагностування двох двигунів, на рис. 2 – вольт-амперні характеристики аналогів лямбда-діодів.

Пристрій складається з генератора імпульсів ГІ, виконаного на елементах мікросхеми К176ЛА7, лічильника імпульсів об'єднаного з дешифратором імпульсів, які виконані на мікросхемі К176ИЕ8, універсального джерела напруги УДН, який складається з чотирьох транзисторів (по два транзистори на кожний асинхронний двигун, згладжувального фільтра, інтегральної мікросхеми стабілізованого джерела напруги, логічного елемента «И» ЛЕ1, логічного елемента «НЕ-ИЛИ» ЛЕ2, блоку індикації аварійного режиму ІАР, блоку виявлення пошкоджень і індикації роботи аналогів лямбда-діода ВПЛ, реагуючого органу РО, представляючого собою L-С коливальний контур, і виконуючого органу ВО і первинних перетворювачів температури і напруги ПП1 і ПП2, виконаних на базі аналогів лямбда-діода.

Імпульси з виходу генератора імпульсів ГІ змінюють стан двоїчного лічильника ЛІ, що здійснює почерговий перевод вихідних виводів дешифратора імпульсів ДІ у стан «1». При одиничному сигналі на виводі 1 дешифратора з'явиться напруга на аналогах лямбда-діода, що відповідає  $U_{n1}$  (рис. 2), а при появі одиничного сигналу на виходах 2, 3, 4 – з'являться напруги  $U_{n2}$ ,  $U_{n3}$ ,  $U_{n4}$  відповідно.

Пристрій працює таким чином. При нормальному режимі роботи електродвигунів, що захищаються, і при появі на виводі 1 дешифратора імпульсів ДІ сигналу «1» тригер блоку ЛЕ2 «НЕ-ИЛИ» встановлюється в положення «1» і на аналоги лямбда-діодів (первинні перетворювачі), які встановлені на електродвигунах, від універсального джерела УДН подається напруга.

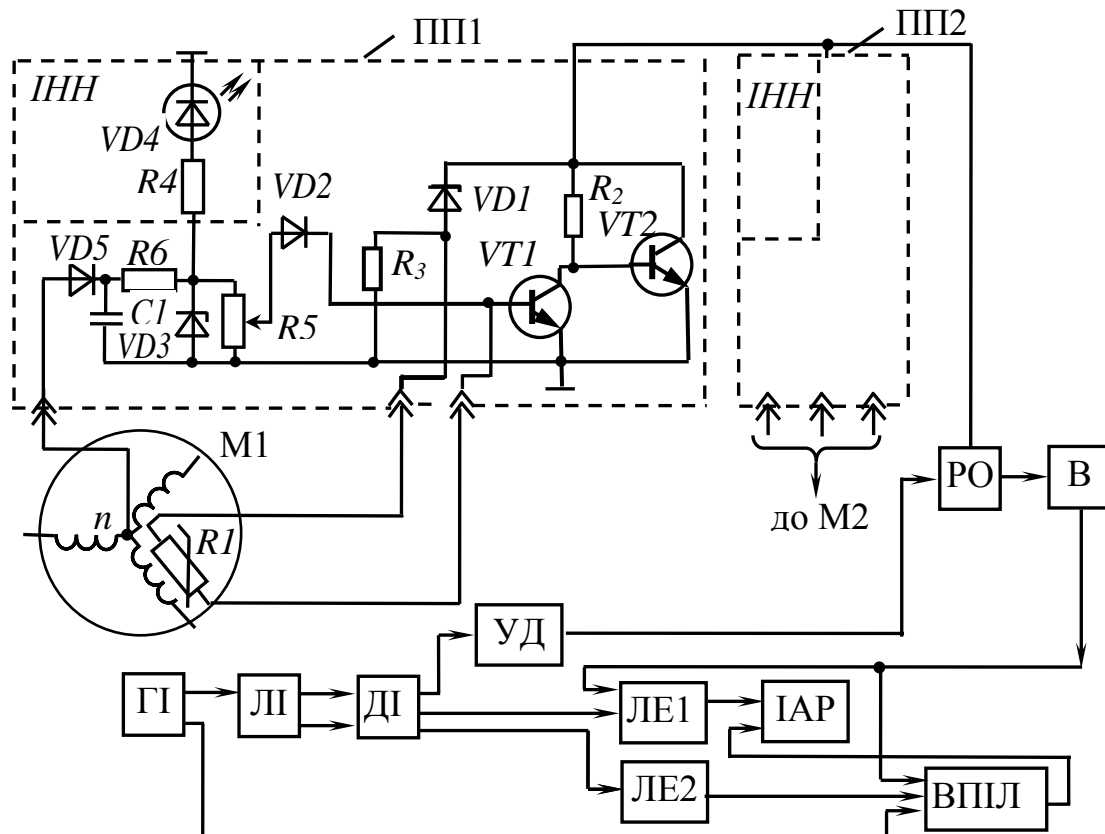


Рис. 1. Схема пристрою діагностування режимів роботи групи асинхронних двигунів.

При цій напрузі через аналог лямбда-діода, встановлений на другому двигуні, не протікає струм, а через аналог лямбда-діода, встановлений на першому двигуні, протікає струм, що відповідає ділянці ВАХ 1 із негативним диференціальним опором. У колі реагуючого органа «РО», виникає генерація гармонійних коливань, на виході виконавчого органа «ВО» формується імпульс напруги. На тригер блоку «НЕ-ИЛИ» подається сигнал, що повертає тригер у вихідне положення. При появі «1» на наступному виході дешифратора на аналоги лямбда-діодів подається напруга  $U_{n2}$ , струм через аналоги лямбда-діодів не протікає. Генерація відсутня. У такий спосіб у схемі пристрою передбачений самоконтроль кіл аналогів лямбда-діода у

випадку їхнього обриву, що здійснюється за допомогою блоків «НЕ-ИЛИ» і блока виявлення пошкоджень і індикації роботи аналогів лямбда-діода ВПЛ.

При збільшенні температури одного з двигунів, наприклад М2, що захищаються, до найбільшого допустимого значення, зростає опір терморезистора R1, встановленого в обмотках М2. При цьому ВАХ другого аналога лямбда-діода зміщується вправо (див. рис. 2) і при подачі на входи аналогів лямбда-діодів напруги  $U_{n4}$  виникає генерація гармонійних коливань, виконавчий орган «ВО» формує імпульс напруги, який подається на вхід блока ЛЕ1 «И». На виході блока «И» з'являється сигнал, що подається на блок індикації аварійного режиму двигуна.

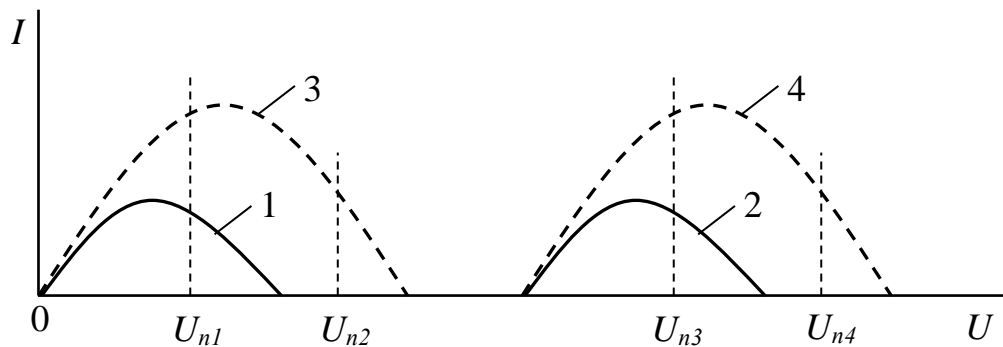


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики первинних перетворювачів на базі аналогів лямбда-діодів.

При збільшенні температури одного з двигунів, наприклад М1, понад найбільше допустиме значення, зростає опір терморезистора R1, встановленого в обмотках М1. При цьому ВАХ першого аналога лямбда-діода зміщується вправо (див. рис. 2) і при подачі на входи аналогів лямбда-діодів напруги  $U_{n2}$  виникає генерація гармонійних коливань, виконавчий орган «ВО» формує імпульс напруги, який подається на вхід блока «И». На виході блока «И» з'являється сигнал, що подається на блок індикації аварійного режиму двигуна М1.

Аналогічно працює діагностичний пристрій і при збільшенні напруги нульової послідовності електродвигуна, що зростає при збільшенні несиметрії напруг мережі до якої під'єднані електродвигуни. У цьому випадку сигналізує про несиметрію напруги дискретна індикація ІНН, яка встановлена безпосередньо на електродвигуні разом з первинним перетворювачем ПП.

*Висновки.* Пристрій дозволяє підвищити експлуатаційну надійність електродвигунів за рахунок безперервного діагностування

режимів їхньої роботи, що дозволяю збільшити термін їхньої служби у сільськогосподарчому виробництві і виявити номер електродвигуна, що працює у аномальному режимі.

#### Література

1. Некрасов А.И. Система технического сервиса электрооборудования в АПК. / А.И. Некрасов //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 5. – С.23-25.

2. Патент 22526 Україна, МПК (2006) G01K 7/16. Пристрій для контролю температури. / А.Я. Чураков, І.О. Попова, С.Ф. Курашкін (Україна). – u2006 12431; Заявл. 27.11.2006; Опубл.25.04.2007, Бюл. № 5. 2007. – 6 С.

3. Патент 28741 Україна, МПК (2006) H02H 7/09, G01K 7/16. Пристрій контролю електродвигунів при несиметрії напруги / А.Я. Чураков, І.О. Попова, С.Ф. Курашкін (Україна). – u2007 07338; Заявл. 2.07.2007; Опубл.25.12.2007, Бюл. № 21. 2007. – 7 С.

### **ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Попова И.А.

#### *Аннотация*

**Работа посвящена разработке устройства непрерывного диагностирования режимов работы группы асинхронных электродвигателей, которое позволит повысить эксплуатационную надежность электродвигателей.**

### **FUNCTIONAL DIAGNOSTIROVANIE MODE OF THE WORKING THE GROUP OF THE INDUCTION ELECTRIC MOTORS**

I. Popova

#### *Summary*

**Work is dedicated to development device unceasing диагностирования state of working groups of the asynchronous electric motors, which will allow to raise the serviceability reliability of the electric motors.**



УДК 62-76:621.313.333.2

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Курашкин С.Ф., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

***Аннотация*** – работа посвящена разработке устройства диагностирования режимов работы погружного электродвигателя.

***Ключевые слова*** – диагностирование, режим работы электрооборудования, асинхронный электродвигатель, погружной насос.

*Постановка проблемы.* Опыт эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве показывает высокую аварийность асинхронных электродвигателей погружных насосов, что ведет к дополнительным технологическим убыткам, незапланированным ремонтам электрооборудования. По данным [1] 85...90% насосов выходят из строя из-за неисправностей в электродвигателях – сгорает обмотка, т.к. не срабатывает защитно-отключающее устройство. Значительная аварийность обусловлена особенностями эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства – асимметрией напряжений и токов, питание потребителей по воздушным линиям электропередачи, имеющим значительную протяженность.

Существующие устройства диагностирования и защиты погружных электродвигателей от аварийных режимов имеют недостаточную эксплуатационную надежность. Исследования, связанные с разработкой устройств повышающих эксплуатационную надежность погружных электродвигателей являются актуальными.

*Анализ последних достижений.* Стратегии обслуживания электродвигателей, которые применяются в настоящее время – обслуживание по необходимости, планово-профилактическое и планово-диагностическое обслуживание не позволяют контролировать текущее развитие повреждений и износа отдельных элементов их конструкции.

Применение функционального диагностирования [2], которое базируется на стратегии раннего предупреждения процессов износа изоляции обмоток электродвигателей, позволяет непрерывно контролировать параметры, характеризующие текущее техническое состоя-

ние изоляции и своевременную подачу сигнала обслуживающему персоналу об аномальном развитии процессов в электрической машине с целью дальнейшего более глубокого диагностирования ее технического состояния во время технологической паузы.

Для защиты погружных электродвигателей от аварийных режимов и повышения их эксплуатационной надежности в настоящее время применяются станции управления ШЭП, ШЭТ, «Каскад» построенные по токовому принципу защиты и станция управления УСУЗ, реализующая комбинированный принцип защиты. В отдельных случаях при значительной асимметрии и малой нагрузке возможен выход из строя электродвигателя, защищаемого этими устройствами, также не учитывается значительная перегрузочная способность погружного электродвигателя.

*Формулировка цели статьи.* Целью статьи является дальнейшая разработка устройства функционального диагностирования режимов работы погружного электродвигателя на базе математической модели процесса расхода его ресурса изоляции [3, 4].

*Основная часть.* В соответствии с техническими требованиями и на основании структурной схемы, приведенной в [3], была разработана принципиальная схема устройства диагностирования эксплуатационных режимов работы погружного электродвигателя, которая приводится на рис. 1.

Реализация алгоритма работы устройства диагностирования (рис. 2) возложена на микроконтроллер DD2, в постоянной памяти которого хранится программное обеспечение. Все остальные элементы подключаются к портам ввода-вывода микроконтроллера и управляются им. Загрузка программного обеспечения осуществляется с помощью интерфейса JTAG (разъем X3), предназначенного для внутрисхемного программирования.

Питается устройства от стабилизированного источника напряжением +5 В, включающего понижающий трансформатор Tr1, выпрямительный мост VD1 и интегральный стабилизатор напряжения VR1. Индикация работы источника питания и устройства в целом осуществляется с помощью светодиода LED1. Индикация режимов работы выполнена с помощью жидкокристаллического индикатора HG1.

Блок измерения фазных токов выполнен на монолитных интегральных датчиках тока DA1 – DA3, в которых используется эффект Холла. Входная цепь гальванически развязана от выходной цепи. Выходное напряжение с датчиков подается на выводы ADC0 – ADC2 аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера DD2. АЦП микроконтроллера использует источник опорного напряжения, выполненный на микросхеме DA4.

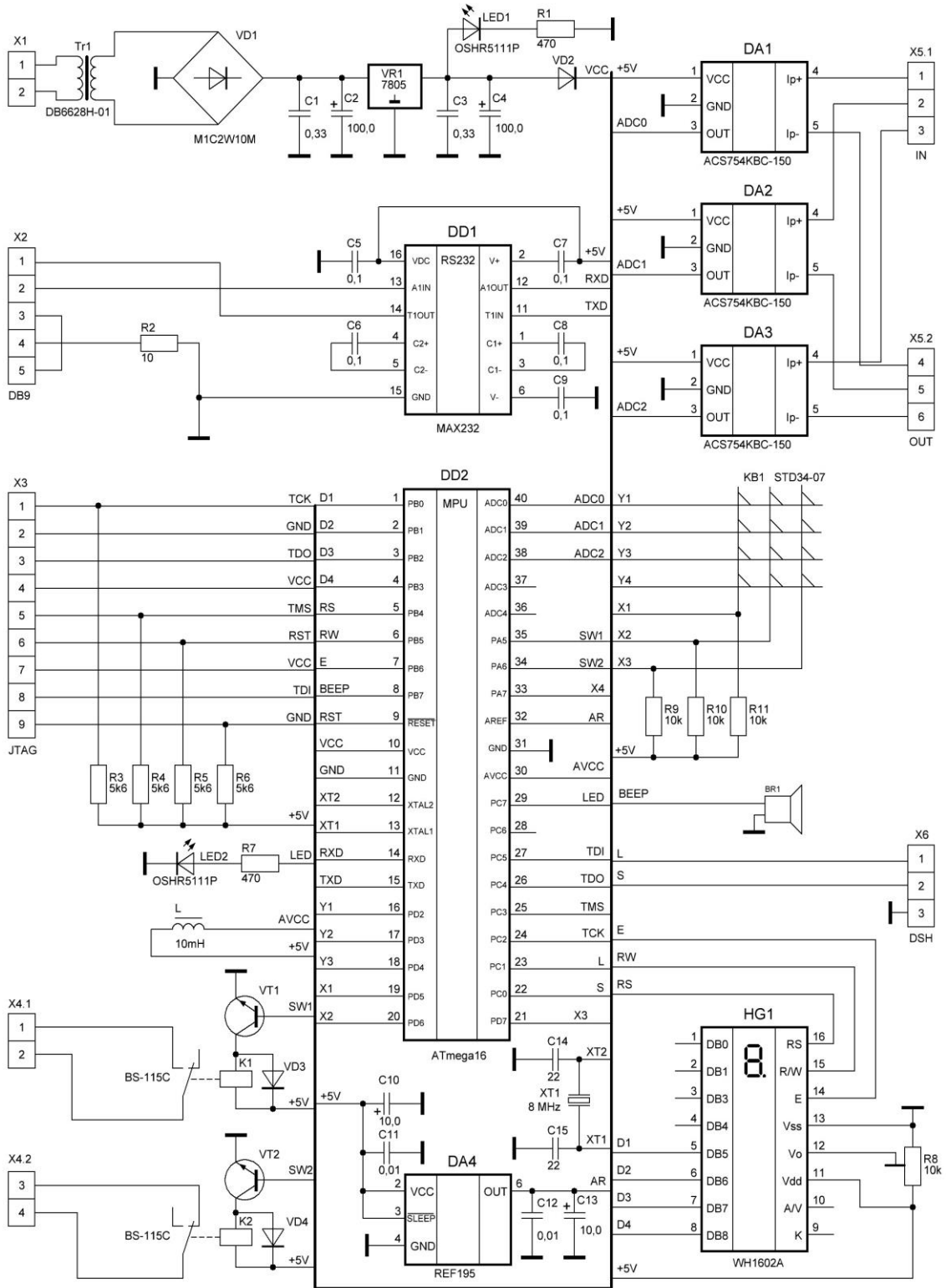


Рис. 1. Принципиальная схема устройства диагностирова-

Управление погружным электродвигателем осуществляется с помощью электромеханических реле К1 и К2, которые являются нагрузками транзисторных ключей VT1 и VT2 соответственно.

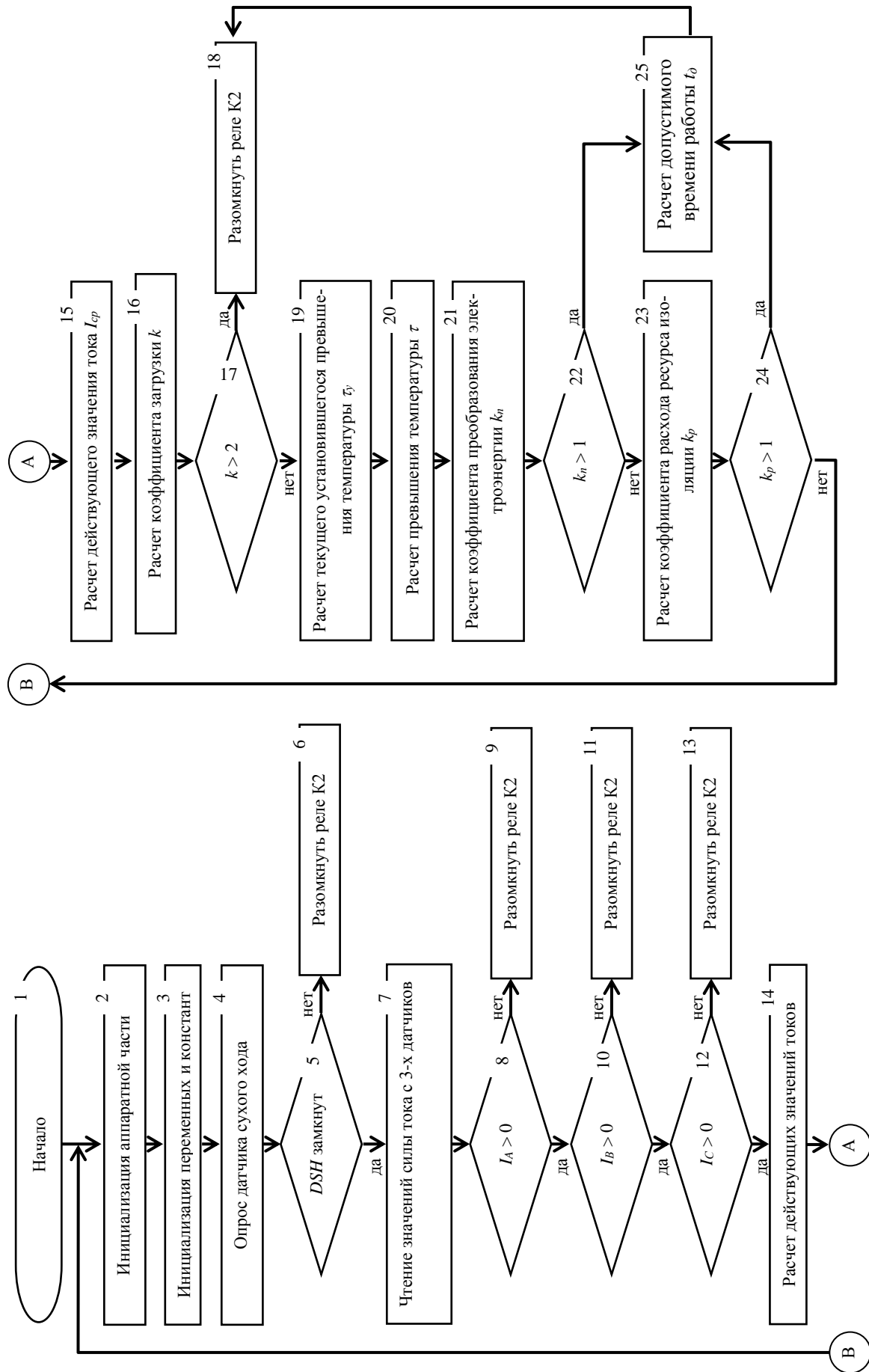


Рис. 2. Алгоритм работы устройства диагностирования.

Контакты реле K1 предназначены для пуска двигателя с клавиатуры KB1. Контакты реле K2 находятся в цепи питания катушки магнитного пускателя электродвигателя для его отключения от сети в случае аномального режима или технологической необходимости.

Сопряжение с персональным компьютером или GSM-модемом выполнено на интегральном преобразователе уровня DD1 и обеспечивает связь по протоколу RS-232C (разъем X2). Обмен данными с микроконтроллером DD2 осуществляется по шине RXD-TXD встроенного асинхронного приемопередатчика микроконтроллера.

Алгоритм работы (рис. 2) устройства заключается в следующем. При включении устройства выполняется инициализация аппаратной части, переменных и констант модели (блоки 2, 3), после чего микроконтроллер опрашивает состояние датчика «сухого хода» (блоки 4, 5). Если контакты датчика не омываются водой – контакт DSH разомкнут, микроконтроллер дает команду исполнительному реле K2 на размыкание. Включение электродвигателя невозможно.

В случае если контакт DSH замкнут, выполняет считывание значений силы тока электродвигателя с трех датчиков тока (блоки 8, 10, 12). Производится проверка на наличие полнофазного режима – если отсутствует ток любой из фаз, реле K2 размыкается, пуск электродвигателя невозможен, в случае, если он не был еще запущен, либо электродвигатель отключается от сети, если до этого находился в работе. При полнофазном режиме микроконтроллер выполняет расчет среднеквадратичного значения силы тока (блок 14) и коэффициента загрузки (блок 15) [4]. При коэффициенте загрузки более двух электродвигатель погружного насоса отключается от сети, т.к. на реле K2 от микроконтроллера поступает команда на размыкание (блоки 17, 18).

На основе собранных данных и начальных условий в соответствии с математической моделью диагностирования теплового режима работы [3] производится расчет установившегося превышения температуры обмотки электродвигателя (блок 19), текущего превышения температуры обмотки электродвигателя (блок 20), коэффициента преобразования электроэнергии (блок 21), коэффициента расхода ресурса изоляции (блок 23) [4].

Условием дальнейшей работы насосного агрегата является выполнения условия, при котором коэффициент преобразования электроэнергии и коэффициент расхода ресурса изоляции не превышают предельного значения, иначе микроконтроллер производит расчет допустимого времени работы электродвигателя (блок 25). Расчет времени производится в виде отдельной подпрограммы, до тех пор, пока не наступит одно из событий: коэффициенты преобразования электроэнергии и расхода ресурса изоляции уменьшаться до предельного значения либо истечет расчетное время допустимой работы. В первом случае электродвигатель продолжает работать и выполнять техноло-

гическую операцию, а во втором – отключается от сети. Через заданный промежуток времени цикл повторяется.

*Выводы.* Разработанное устройство позволяет диагностировать эксплуатационный режим работы погружного электродвигателя на основании математической модели расхода ресурса его изоляции. Проведенные расчеты надежности устройства показали среднее время безотказной работы устройства более 130 тыс. ч.

#### Литература

1. *Майоров В.Н.* Исследование эксплуатационной надежности защитно-отключающих средств станций управления погружными насосами / *В.Н. Майоров, Ю.О. Истомин* // Научно-технический бюллетень Сибирского НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства. – Новосибирск: – 1980. – № 6. – С.43.

2. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.

3. *Курашкін С.Ф.* Математична модель і пристрій діагностування експлуатаційних режимів роботи електродвигуна заглибного насосу/ *С.Ф. Курашкін* // Вісник Харківського національного університету сільського господарства «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 102. – С.131-132.

4. *Курашкин С.Ф.* Диагностирование эксплуатационного режима погружного электродвигателя / *С.Ф. Курашкин, Р.В. Телюта* // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. 2010. – № 8 (78). – С.60-65.

## ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЗАГЛИБНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Курашкін С.Ф.

### *Анотація*

Робота присвячена розробці пристрою діагностування режимів роботи заглибного електродвигуна.

## THE DIAGNOSE OF SUBMERSIBLE ELECTRIC MOTOR MODE

S. Kurashkin

### *Summary*

The work is dedicated to the device development for diagnose submersible motor mode.

УДК 620.179:621.373.5

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

Кондратенко І.П., д.т.н.,

Божко І.В., к.т.н.,

*Інститут електродинаміки НАН України*

Жильцов А.В., д.т.н.,

Васюк В.В., аспірант\*.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Анотація** - виконано огляд існуючих методів визначення залишкових напружень, визначені їх основні переваги та недоліки, сфери застосування.

**Ключові слова** - залишкові напруження, неруйнівні методи визначення, інтерферометрія, електропластична деформація.

*Постановка проблеми.* Застосування нових матеріалів, інтенсифікація виробничих процесів і зростання рівня експлуатаційних навантажень висувають нові вимоги до створюваних конструкцій. Забезпечення міцності, підвищення точності виготовлення, якості, працездатності елементів і вузлів конструкцій, багато в чому визначаються рівнем напруженого стану, що виникає в процесі їх виготовлення та експлуатації.

Залишкові напруження впливають на працездатність конструкцій. Як рівень, так і розподіл напружень, може бути критичним для робочих характеристик і повинен враховуватися при виготовленні виробів і конструкцій. Ця проблема вирішується в кількох напрямках, серед яких важлива роль належить розробці та широкому застосуванню сучасних методів і засобів визначення залишкових напружень. Їх ефективність визначається, насамперед надійністю в роботі та достовірністю отриманих результатів.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідження залишкових напружень традиційними експериментальними методами (електротензометрія, механічна тензометрія тощо) є трудомісткими і потребують виконання великого обсягу вимірювань із застосуванням спеціального устаткування та приладів. У зв'язку з цим розвиток нових методів та засобів оперативного визначення залишкових

---

\* Науковий керівник: д.т.н. Жильцов А.В.

© д.т.н. Кондратенко І.П., к.т.н. Божко І.В., д.т.н. Жильцов А.В., аспірант Васюк В.В.

напружень в елементах конструкцій на етапі їх виготовлення та експлуатації є актуальною науково-технічною задачею.

*Формулювання цілей статті.* Метою досліджень є класифікація та порівняння існуючих методів визначення залишкових напружень, визначення їх переваг та недоліків.

*Основна частина.* Залишкові напруження [4] виникають, як правило, в зонах концентрації в процесі навантаження конструкції або вносяться ще на стадії її виготовлення і врівноважуються в ній без докладання якихось сил. Залишкові напруження зазвичай класифікують за ознаками протяжності силового поля і фізичної сутності. Загальноприйнятною є класифікація [8] за довжиною силового поля.

Напруження 1-го роду – макронапруження. Вони охоплюють області, співмірні з розмірами деталі, і мають орієнтацію, пов'язану з формою деталі, існуючі методи оцінюють головним чином залишкові напруження 1-го роду.

Напруження 2-го роду – мікронапруження, що поширюються на окремі зерна металу або на групу зерен, визначаються рентгенографічними методами.

Напруження 3-го роду – субмікроскопічні, пов'язані з спотворенням атомної решітки кристала, методи визначення напружень 3-го роду ще недостатньо розроблені.

З точки зору способів впливу (рис. 1), руйнівні методи дозволяють одержувати найбільш повну інформацію: дані про напруження по всьому об'єму. Малоруйнівні і неруйнівні методи в більшості випадків призначені для дослідження напруженого стану поверхні. Однак при цьому перші припускають повне руйнування, а другі вимагають лише створення локального дефекту на поверхні при збереженні цілісності об'єкта.

В цілому методи визначення залишкових напружень поділяються на: методи впливу на об'єкт(руйнуючі і мало руйнуючі), націлені на прояв внутрішніх напружень, і методи отримання даних(не руйнуючі), що є вихідними при розрахунку залишкових напружень.

Руйнуючі методи засновані на припущенні, що розрізання або видалення частини деталі із залишковими напруженнями еквівалентна додатком до залишившийся частини деталі, напружень зворотного знаку, рівних за абсолютною величиною залишковим.

Механічні методи засновані на принципі пружного розвантаження об'єму металу при його звільненні від залишкових напружень шляхом розрізання або іншої механічної дії. Вимірюючи деформації, що виникають при цьому, можна обчислити залишкові напруження за формулами теорії пружності.

Малоруйнуючі методи засновані на використанні поверхневого шару для контролю залишкових напружень шляхом виконання на по-



верхні канавок, отворів, пропилив, стовпчиків і контролю деформацій а також твердості у зоні руйнування.



Рис. 1. Методи вимірювань залишкових напружень з точки зору способів впливу.

Метод визначення твердості заснований на зміні твердості під впливом залишкових напружень, дозволяє визначити порівняльну зміну величини залишкових напружень в поверхових шарах матеріалу. Можна оцінити рівень і знак напружень по різниці твердості виробу та еталонного зразка, в якому завідомо відсутні залишкові напруження.

Не руйнуючі методи засновані на зміні тих чи інших фізичних властивостей матеріалів залежно від ступеня пружного деформування. Відносно слабка вивченість необхідних [3] властивостей, стосовно до визначення залишкових напружень, істотно обмежує їх можливість.

Рентгенівський метод [7] заснований на прецизійному вимірюванні змін міжплощинних відстаней, що визначаються по зсуві дифракційної лінії. Інакше: заснований на явищі дифракції рентгенівських

променів при проходженні через кристалічну решітку. Рентгенівський метод дозволяє визначати напруження в деталях складної геометричної форми, необмежених розмірів, досліджувати напруження на дуже малих ділянках поверхні зразка, вимірювати градієнти напружень, визначати миттєві напруження в деталях, що піддаються періодичним навантаженням. Недоліки: знижена точність при роботі з сильнодеформованими і грубозернистими матеріалами, неможливість одночасного визначення в декількох точках, розділенні макро- і мікронапружень.

Ультразвуковий метод [1] ґрунтується на залежності швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі від напруженого стану. Це неруйнівний метод, що дозволяє застосовувати його при дослідженні відповідальних конструкцій. Однак, неоднорідність механічних властивостей істотно впливає на швидкість пружних хвиль [5], що обмежує застосування методу в зварних конструкціях.

Метод електропровідності металів заснований на зміні електропровідності що реєструється або шляхом її прямого виміру, або струмовихровим методом. Прямий метод визначення вимагає наявності апаратури з високою чутливістю, а струмовихровий – простий у використанні і придатний для промислового застосування.

Метод магнітної пам'яті заснований на реєстрації власних магнітних полів розсіювання, що виникають на устаткуванні в локальних зонах концентрації напружень під дією робочих навантажень. При цьому величину магнітних полів розсіювання в об'єкті контролю відображає тензор деформації і напруження.

Переваги: не впливає на стан матеріалу в процесі визначення. Не використовуються намагнічуючі пристрої. Не потребує попередньої підготовки поверхні. Можливість оцінки: ступеня «засміченості» зварних швів дефектами, розподіл залишкових напружень в зонах концентрації напружень, а для однотипних сполук – відносний рівень напружень, якість та ефективність техніки вимірювання.

Недоліки: необхідність додаткового використання традиційних методів дефектоскопічного об'ємного контролю для встановлення точного виду дефекту та визначення його розмірів, відсутність кількісних критеріїв розбракування за виглядом і за розмірами внутрішніх дефектів.

Поляризаційно-оптичний метод заснований на використанні пружно-оптичного ефекту для визначення залишкових напружень або напружень від зовнішніх навантажень. Пружно-оптичний ефект виявляється в появі в прозорих матеріалах подвійного променезаломлення під дією напружень. Кількісно цей ефект виявляється через порядок ізохром як функції двох змінних: відносного подовження і нормального напруження. Досліджуваний об'єкт поміщають між поляризатором і аналізатором.

Таблиця 1 – Порівняння методів вимірювання залишкових напружень

Метод знаходження	Матеріал	Руйнівний (+), не руйнівний (-)	Контактний(+), безконтактний (-)	Шкідлива дія	Локалізація	Класифікація	Необхідність підготовки поверхні	Зменшення залишкових напружень
Механічний	конструкційні матеріали	+	+	ні	поверхневі, внутрішні	макронапруження	ні	ні
Висвердлювання отворів	метали, сплави, полімерні матеріали	+	+	ні	поверхневі, внутрішні	макронапруження	так	ні
Вимірювання твердості	конструкційні матеріали	+	+	ні	поверхневі, внутрішні	макронапруження	ні	ні
Рентгенівський	конструкційні матеріали	+	-	так	поверхневі, внутрішні	макронапруження	ні	ні
Ультразвуковий	метали, сплави, полімерні матеріали	-	+	ні	поверхневі, внутрішні	макронапруження	так	ні
Магнітопружний	феромагнітні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	ні	так
Магнітошумовий	феромагнітні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	ні	так

Продовження таблиці 1

Метод знаходження	Матеріал	Руйнівний (+), не руйнівний (-)	Контактний (+), безконтактний (-)	Шкідлива дія	Локалізація	Класифікація	Необхідність підготовки поверхні	Зменшення залишкових напружень
Електропластичної деформації	феромагнітні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	ні	так
Магнітної пам'яті	феромагнітні матеріали	-	+	ні	внутрішні	макронапруження	так	ні
Поляризаційно- оптичний	конструкційні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	так	ні
Крихких покривтів	конструкційні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	так	ні
Електропровідності	конструкційні матеріали	-	+	ні	поверхневі	макронапруження	так	ні
Інтерферометрія	метали і неметали	+	-	ні	поверхневі	макронапруження	ні	ні

Залишкові напруження визначають з використанням оптично чутливих матеріалів як покриттів. Для цього на певні ділянки виробу наклеюються оптично-чутливі пластини певної товщини і складу (на базі епоксидних і поліамідних смол).

Метод крихких покриттів дає можливість спостерігати напружений стан у виробі. На поверхню досліджуваного об'єкта наносять спеціальний лак, який дає після висихання дуже крихке покриття, міцно поєднане з виробом. У процесі дослідження фіксується напрямок і довжина тріщин, відстань між суміжними тріщинами. Тріщини в лаку виникають лише в результаті розтягуючих напруг, тому для дослідження стискаючих напруг виріб піддається попередньому стисненню. Тріщини виникають при розвантаженні виробу. У місцях появи перших тріщин є найбільші напруження в поверхневому шарі.

Електромагнітні методи [6]. Дана група методів базується на залежності між магнітними властивостями металу і величиною діючих в даній області залишкових напружень. Однак, крім даної залежності, є і залежність від величини зерна, хімічного складу, структури. Тому результати вимірювань, отримані на зразках зі структурною неоднорідністю, наприклад, у зварних швах, носять неоднозначний характер. Методи придатні для визначення залишкових напружень тільки в зразках з металів і сплавів, з магнітними властивостями. Глибина проникнення електромагнітного поля у феромагнетиках залежить від частот живлення електромагнітних пристроїв, що збуджують поле.

Електромагнітні методи значно продуктивніші, ніж тензOMETричний або оптичний. Найбільш доцільно його застосування для оперативного контролю (оцінки) зміни залишкових напружень.

Магнітопружний метод заснований на зміні магнітної проникності під дією механічних напружень. Зміна магнітної проникності виявляється по зміні магнітної індукції за умови сталого зовнішнього магнітного поля. Метод передбачає попереднє тарування на еталонних зразках, у тому числі під навантаженням. Вимірювання можна проводити також лише на феромагнітних матеріалах. Він також виявляється мало придатним для визначення залишкових напружень в зварних швах через виникаючі в них неоднорідності фізичних властивостей.

Магнітошумовий метод заснований на ефекті Баркгаузена, що полягає в стрибкоподібній зміні намагніченості при плавній зміні перемагнічування поля. Стрибки в намагніченості пов'язані із затримкою руху доменних меж в місцях концентрації залишкових напружень. На ділянці контрольованого матеріалу, що піддається впливу змінного магнітного поля, фіксується магнітний шум, як наслідок стрибкоподібної зміни намагніченості. Параметри шуму відповідають величині залишкових напружень.

Одним з перспективних напрямів є метод електропластичної деформації, принцип якого полягає в додатковій дії на метал електричного струму, густина якого перевищує деяке граничне значення. При цьому відбувається пружне розвантаження залишкових напружень в металі. Це явище слугить основою способу неруйнуючого визначення залишкових напружень методом електронної спектр-інтерферометрії. Однак не зважаючи на широке застосування електропластичної деформації, механізми, яким підлягає це явище, на сьогодні до кінця невідомі. Вважається, що в процесі локального пружного розвантаження головний внесок належить інтенсивним дислокаційним взаємодіям, які обумовлені протіканням електричного струму. Ці взаємодії залежать від струмового імпульсу: амплітуди, тривалості фронту і усього імпульсу. Вплив цих параметрів на процес електропластичної деформації достатньо не вивчений.

Сутність інтерферометричного методу визначення залишкових напружень [2] полягає у порівнянні двох хвильових фронтів світлових хвиль, відбитих від поверхні досліджуваного об'єкта до і після локального розвантаження.

*Висновки.* Кожен з описаних вище методів (рис. 1) має свої переваги і недоліки. Найбільш достовірні механічні методи. Проте вони вимагають «руйнування» або порушення цілісності конструкції. Механічні методи вимірюють конкретні значення напружень в конкретній області.

Визначення полів напружень з різними величинами залежно від координати вимагає проведення цілого ряду вимірювань. Ряд неруйнуючих методів дозволяє «візуалізувати» поле напружень. Вони не вимагають руйнування конструкції. В деяких випадках їм необхідні зразки-еталони, зроблені з того ж матеріалу, але вільні від залишкових напружень. Без них результати вимірів можуть бути інтерпретовані абсолютно некоректно.

До вибору методу необхідно підходити в залежності від об'єкту, де необхідно провести вимірювання. Великий ефект може дати комплексне використання різних методів. Існує значна необхідність в розробці методів визначення залишкових напружень, які б поєднували в собі мінімальний вплив на об'єкт і відсутність руйнування та точність, достовірність та простоту вимірювань.

Особливу увагу привертає метод електропластичної деформації, який поєднує в собі можливість не тільки проводити визначення залишкових напружень, але і значно зменшити їх значення.

## Література:

1. Антонов А.А. Бесконтактный электростатический метод оценки НДС твердых тел / А.А. Антонов, А.А. Ифимовская, Г.Н. Чернышев // Сб. «Остаточные технологические напряжения». – М.: 1988. – С.32-38.
2. Определение остаточных напряжений при помощи создания отверстий и голографической интерферометрии / [А.А. Антонов, А.И. Бобрик, В.К. Морозов, Г.Н. Чернышев]. // Механика твердого тела. – № 2. – 1980. – С.25-28.
3. Башкатов А.В. Напряжения и деформации при сварке: Учебное пособие / А.В. Башкатов, А.В. Бондарь, А.Б. Булков. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – 82 с.
4. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Гос. научно-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1963. – 232 с.
5. Ботаки А.А. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов / А.А. Ботаки, В.А. Ульянов, В.А. Шарко. – М.: Машиностроение, 1983. – 80 с.
6. Улыбин А.В. Метод измерения электрического сопротивления для контроля механических напряжений в стальных конструкциях: автореф. диссерт. на ст. к.т.н. 05.11.01 / А.В. Улыбин. – СПб.: СПбГПУ, 2010. – 20 с.
7. Корякина В.Е. Возможности рентгеновского измерения остаточных напряжений в наплавленном валике и основном металле крупнозернистой заустенистой стали 15х23Н18Л. / В.Е. Корякина, Т.М. Новоселова, В.Е. Соломатин. // Сварочное производство. – № 9. – 2000. – С.37-38.
8. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах / [Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев, И.И. Пономарев]. – М.: Изд-во Наука, 1996. – 231 с.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Кондратенко І.П., Божко І.В., Жильцов А.В., Васюк В.В.

### *Аннотация*

**Выполнен обзор существующих методов определения остаточных напряжений, определены их основные преимущества и недостатки, сферы их применения.**

## METHODS DEFINITIONS OF RESIDUAL STRESS

I. Kondratenko, I. Bojko, A. Zhiltsov, V. Vasyuk

### *Summary*

**There have been done an existing methods overview for the determination of residual stresses on the-and determined their main advantages and disadvantages, their scope.**

УДК 621.313.333.004.58

## ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ КОВЗАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена розробці пристрою вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна, який дозволить його контролювати у процесі експлуатації.

**Ключові слова** – асинхронний електродвигун, ковзання, індуктивна котушка, генератор прямокутних імпульсів.

*Постановка проблеми.* Найпоширеніший силовий агрегат, що використовується в сільськогосподарському виробництві – асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором. Асинхронні електроприводи становлять близько 95% загальної кількості електроприводів і споживають більше половини електроенергії галузі. Широке розповсюдження асинхронні двигуни дістали завдяки високій конструкційній надійності, але у процесі експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України щорічно відмовляє в середньому 20-25% наявного парку електродвигунів (при випробуваннях на надійність за цей час відмовляє 2-3%). Це призводить до незапланованих матеріальних витрат, пов'язаних з раптовою зупинкою технологічних ліній, а також на ремонт асинхронних двигунів [1-3].

Таким чином, залишається до кінця невирішеною народногосподарська проблема підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів. Причина її існування – недостатній рівень експлуатації означених електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема – відсутність достатньої інформації про їх стан. Тому однією із складових вирішення цієї проблеми є підвищення рівня експлуатації асинхронних електродвигунів за допомогою своєчасного повного контролю. Це дозволить керувати станом електродвигунів і призведе до підвищення імовірності їх безвідмовної роботи на протязі запланованого строку служби в процесі експлуатації в сільськогосподарському виробництві. Один із узагальнених показників функціонального стану асинхронного електродвигуна – це ковзання.



Отже, розроблення і впровадження первинного вимірювального перетворювача ковзання асинхронного електродвигуна, який забезпечить контроль цього показника в експлуатації, є актуальним завданням.

*Аналіз останніх досліджень.* Розглянемо методи, які використовуються для експериментального визначення ковзання асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором: тахометричний метод, стробоскопічний метод, індукційний метод [4-6].

Тахометричний метод полягає у визначенні ковзання за вимірним значенням швидкості обертання вала  $n$  та розрахованим значенням швидкості обертання магнітного поля  $n_0$  за відомим виразом

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}. \quad (1)$$

Головні недоліки методу – невисока точність (через що метод неможливо використовувати у разі ковзання 5% та вище), велика дискретність визначення та вплив людського фактору.

Стробоскопічний метод полягає у тому, що на валу асинхронного електродвигуна наносять мітки, кількість яких дорівнює кількості пар магнітних полюсів електродвигуна. Вал електродвигуна освітлюють газорозрядною лампою, яка живиться від тієї ж мережі, що й електродвигун з частотою струму  $f_1$ . При цьому вимірюють час  $t$  проходження визначеної кількості міток  $n$  уздовж нерухомого вказівника, рахуючи положення вказівника в момент пуску секундоміра за нульове. За результатами вимірювань визначають ковзання за наступним виразом

$$s = \frac{n}{t \cdot f_1}. \quad (2)$$

Головні недоліки методу – складна технічна реалізація, велика дискретність визначення та вплив людського фактору.

Індукційний метод ґрунтується на контролі частоти обертання магнітного потоку розсіювання ротору. Для цього використовують індуктивну котушку, у якості якої використовують котушку реле або контактора постійного струму, що має 10 000 – 20 000 витків. Для підсилення магнітного потоку у котушку встановлюють осердя з декількох полос електротехнічної сталі. Котушку встановлюють на кінець вала електродвигуна, а у її коло включають чутливий мілівольтметр (гальванометр). Вимірюють кількість  $k$  повних коливань стрілки гальванометра та час  $t$  цих коливань. Знаючи частоту струму у мережі  $f_1$  та результати вказаних вимірювань, визначають ковзання за наступним виразом

$$s = \frac{k}{t \cdot f_1}. \quad (3)$$

До головних недоліків методу слід віднести велика дискретність визначення та вплив людського фактору.

Таким чином, проведений аналіз показує, що найбільш раціональним методом є індукційний метод (за допомогою індуктивної котушки), який можна взяти за основу при розробці пристрою вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи була розробка пристрою вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який дозволить контролювати ковзання асинхронного електродвигуна в експлуатації та усуне вплив людського фактору.

*Основна частина.* За основу приймемо метод, у якому використовується індуктивна котушка ІК (індукційний метод). У коло котушки замість чутливого мілівольметра (гальванометра) послідовно включимо діод VD та резистор R. Діод буде пропускати тільки пряму півхвилю струму. З резистора буде зніматись імпульс прямої напруги та подаватись на перетворювально-обчислювальний пристрій (ПОП). Крім того, на цей пристрій буде подаватись сигнал з генератора прямокутних імпульсів (ГПІ). У перетворювально-обчислювальному пристрої сигнал буде перетворюватись у цифрові імпульси, кількість яких рахує пристрій ( $k$ ). Крім того пристрій рахує час цих імпульсів ( $t$ ) за даними електронного таймеру. За цими даними перетворювально-обчислювальний пристрій визначає ковзання асинхронного електродвигуна за виразом (3). Отже, структурна схема пристрою вимірювання ковзання має вигляд, наведений на рис. 1.

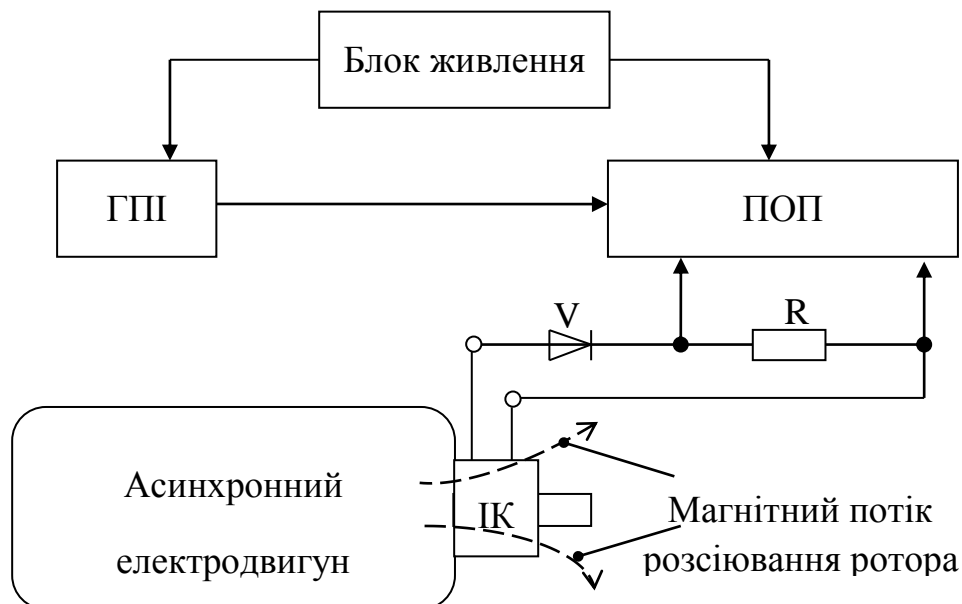


Рис. 1. Структурна схема пристрою вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

Генератор прямокутних імпульсів працює на частоті  $1 \text{ Гц}$  та побудований на базі мікросхеми К561ІЕ10 і використовується для зме-

ншення дискретності приладу. У перетворювально-обчислювальному пристрої сигнал з котушки перетворюється у цифрові імпульси, кількість яких ( $k$ ) рахує пристрій. Крім того на нього приходить імпульс частотою  $1 \text{ Гц}$  з генератора прямокутних імпульсів прямокутної форми. За цими даними перетворювально-обчислювальний пристрій визначає ковзання асинхронного електродвигуна за виразом (3), який з урахуванням того, що час  $t = 1 \text{ с}$ , буде мати вигляд

$$S = 2k. \quad (4)$$

Перетворювально-обчислювальний пристрій складається з трьох блоків: А – перетворювач форми електричного сигналу, Б – подвоювач частоти струму, В – лічильник імпульсів. Принципова електрична схема цього пристрою наведена на рис. 2.

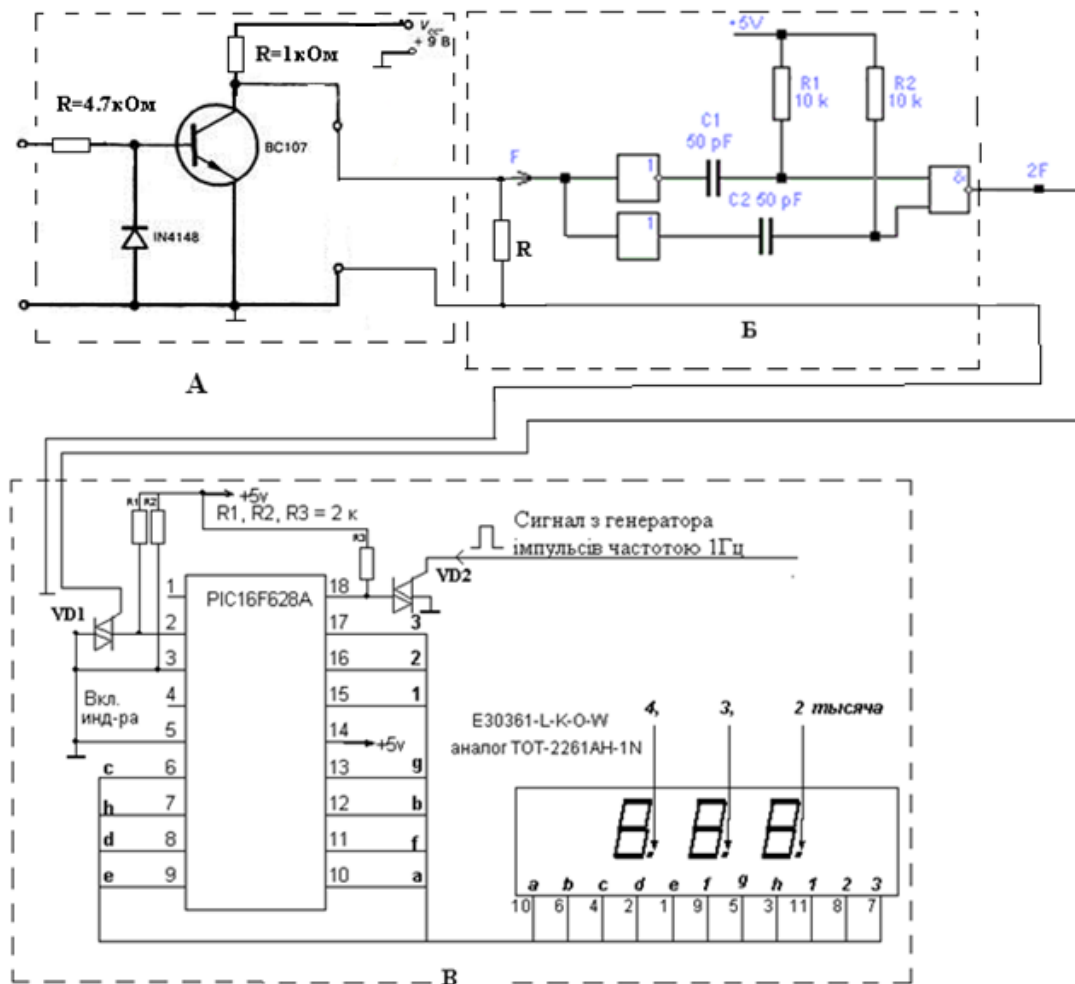


Рис. 2. Принципова електрична схема перетворювально-обчислювальний пристрою.

*Висновок.* Таким чином, у роботі запропоновано пристрій вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна, який дозволяє ви-

значати ковзання асинхронного електродвигуна в експлуатації без впливання людського фактору з невеликою дискретизацією.

#### Література

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. *Єрмолаєв С.О.* Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК / *С.О. Єрмолаєв, В.О. Мунтян, В.Ф. Яковлев;* за ред. *С.О. Єрмолаєва.* – К.: Мета, 2003. – 534 с.
3. *Хорольский В.Я.* Теоретические основы эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий: Учебное пособие / *В.Я. Хорольский.* – Ставрополь: Ставр. с/х ин-т, 1992. – 149 с.
4. *Коварский Е.М.* Испытание электрических машин / *Е.М. Коварский, Ю.И. Янко.* – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
5. *Гольдберг О.Д.* Испытания электрических машин: Учебное пособие / *О.Д. Гольдберг.* – М.: Высшая школа, 1990. – 255 с.
6. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики / [*С.Е. Васильев, Б.М. Забарский, Е.И. Забокрицкий, Б.А. Холодовский*]. – К.: Наукова думка, 1972. – 624 с.

## УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Вовк А.Ю., Квитка С.А.

### *Аннотация*

**Работа посвящена разработке устройства измерения скольжения асинхронного электродвигателя, которое позволит его контролировать в процессе эксплуатации.**

## DEVICE OF MEASUREMENT OF SLIDING ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

O. Vovk, S. Kvitka

### *Summary*

**Work is devoted to development of the device of measurement of sliding of the asynchronous electric motor which will allow to supervise it in use.**

УДК 631.354

## ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ АБСОЛЮТНОГО ДВИЖЕНИЯ ОЧЕСЫВАЮЩЕГО БАРАБАНА УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Леженкин А.Н., д.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-68-74

**Аннотация** – в статье приводится расчетная схема прицепного уборочного агрегата, рассматривается кинематика движения точки приложения главного вектора сил сопротивления очесу.

**Ключевые слова** – уборочная машина, кинематика, относительное движение, скорость, векторное уравнение, очесывание, абсолютное движение.

*Постановка проблемы.* Уборка зерновых культур является основной операцией технологического цикла производства зерна.

На сегодняшний день основной машиной для уборки зерновых является комбайн. Однако за последние два десятилетия комбайновый парк Украины сократился в три раза.

Альтернативой комбайну является стационарная технология. Разработано много технологических схем стационарных технологий [1, 2, 3, 4, 5]. На наш взгляд наиболее эффективной является технология уборки методом очесывания растений на корню [6, 7, 8, 9].

Конструктивные параметры очесывающих устройств обоснованы в работах Шабанова П.А., Голубева И.К., Данченко Н.Н. и других ученых. Однако исследования устойчивости движения трехзвенного уборочного агрегата требует отдельных исследований.

*Анализ последних публикаций.* Основы устойчивости движения сельскохозяйственных агрегатов заложены в работах Василенко П.М. [10, 11]. Применительно к работе прицепных агрегатов вопросы устойчивости движения рассматриваются в работах Гячева Л.В. [12, 13]. Для прицепного уборочного агрегата динамика и устойчивость движения отдельных его звеньев рассмотрена в работе [14].

*Цель работы.* Исследовать кинематику движения точки приложения главного вектора сил сопротивления очесывающего барабана, а также определить углы, образованные вектором абсолютной скорости и координатными осями.

*Основной материал.* Рассмотрим движение уборочного агрегата, состоящего из трактора МТЗ-80, полевой уборочной машины очесывающего типа и двухосного прицепа 2ПТС-4.0, служащего для сбора очесанного вороха зерновых.

Уборочный агрегат представляет собой трехзвенную механическую систему, переносное движение которой является поступательным прямолинейным. Для упрощения анализа примем, что центр масс трактора в переносном движении движется равномерно, т.е.  $V_0 = \text{const}$ . Переносное движение агрегата происходит совместно с плоскостью  $X_1O_1Y_1$  (рис. 1). Под влиянием внешних воздействий (неровностей поверхности поля) звенья агрегата начинают совершать относительное движение.

Уборочный агрегат имеет пять степеней свободы. Следовательно, его относительное движение будет определяться пятью обобщенными координатами.

Рассмотрим по порядку каждую из них. Трактор в относительном движении имеет две степени свободы, следовательно, его положение будут определять две обобщенные координаты.

Перемещение центра масс трактора вдоль оси  $O_1X_1$  определится обобщенной координатой  $X_{S_1}$ , поворот вокруг оси, проходящей через центр масс трактора – обобщенной координатой  $\varphi_1$ . Аналогичным образом, поворот уборочной машины относительно точки прицепа обозначим обобщенной координатой  $\varphi_2$ .

Прицеп 2ПТС-4.0 представляет собой двухзвенную кинематическую цепь, имеющую две степени свободы. В качестве обобщенных координат, определяющих положение прицепа, принимаем углы поворота  $\varphi_3$  и  $\varphi_4$ . Расчетная схема уборочного агрегата приведена на рис. 1.

Составим векторное уравнение абсолютной скорости точки D (центра сопротивления очесыванию):

$$\bar{V}_D = \bar{V}_{S_1} + \bar{V}_{C_1S_1} + \bar{V}_{DC_1} + \bar{V}_0, \quad (1)$$

где  $\bar{V}_{S_1}$  - скорость центра масс трактора по оси  $O_1X_1$ , ее модуль  $V_{S_1} = \dot{x}_{S_1}$ ;

$\bar{V}_{C_1S_1}$  - линейная скорость точки прицепа  $C_1$  во вращательном движении относительно центра масс трактора  $S_1$ , ее модуль  $V_{C_1S_1} = \dot{\varphi}_1 \cdot S_1C_1$ ;

$V_0$  - поступательная скорость трактора;

$\bar{V}_{DC_1}$  - линейная скорость точки D во вращательном движении относительно точки прицепа уборочной машины  $C_1$ , ее модуль  $V_{DC_1} = \varphi_2 \cdot C_1D_1$ , если принять  $C_1D = C_R$ , то  $V_{DC_1} = \varphi_2 \cdot C_R$ .

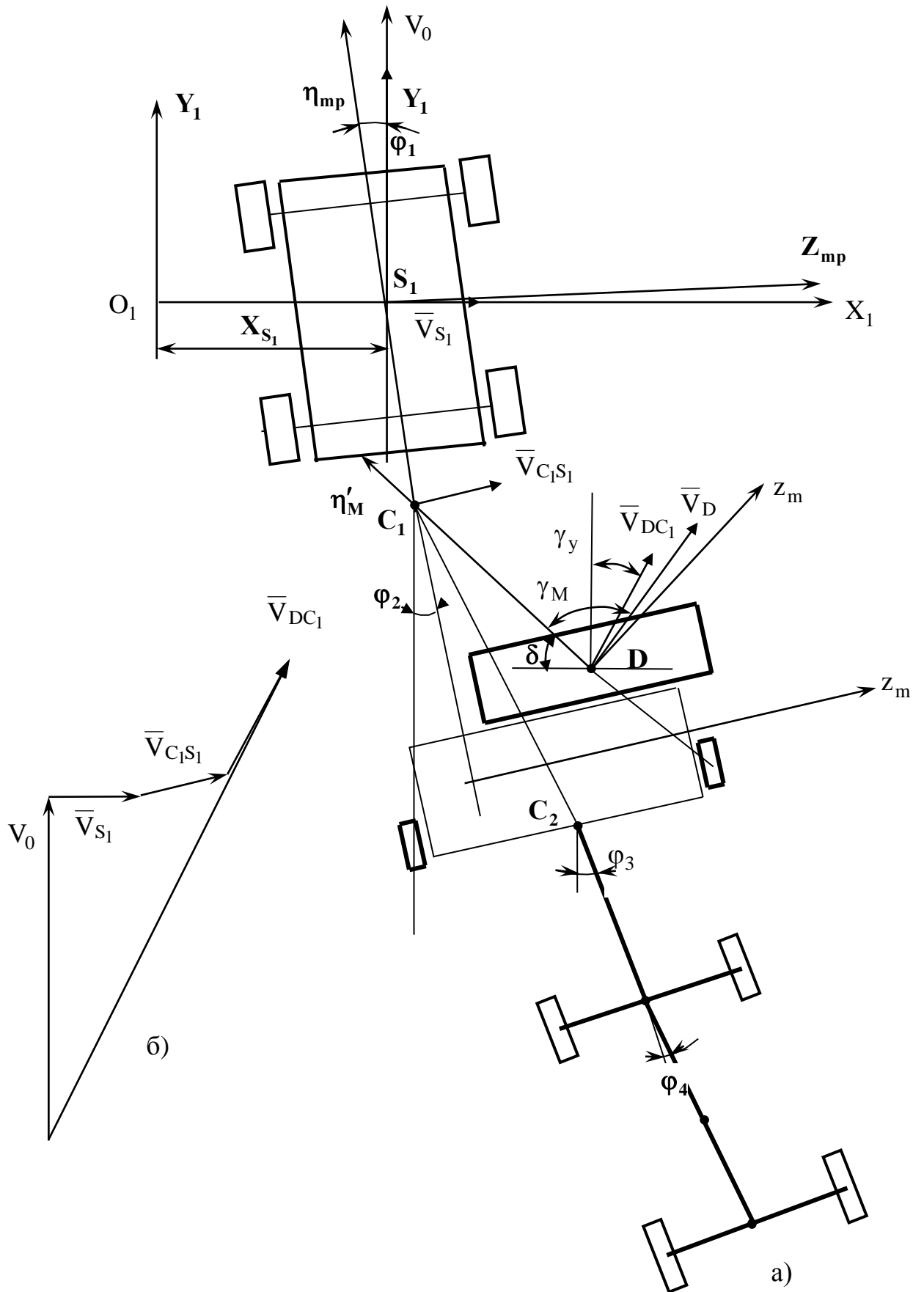


Рис. 1. Расчетная схема уборочного агрегата (а) и план скоростей точки D (б).

Спроектируем векторное уравнение (1) на оси  $X_1O_1Y_1$  и  $\eta'_M D_M Z'_M$ .

$$\begin{aligned} V_{X_1}^D &= V_{S_1} + V_{C_1 S_1} \cos \varphi_1 + V_{DC_1} \cos(\varphi_2 + \delta), \\ V_{Y_1}^D &= V_{O_1} \cos \varphi_1 + V_{C_1 S_1} \sin \varphi_1 + V_{DC_1} \sin(\varphi_2 + \delta), \\ V_{\eta'_M}^D &= V_O \cos \varphi_2 - V_{S_1} \sin \varphi_2, \\ V_{Z'_M}^D &= V_O \sin \varphi_2 + V_{S_1} \cos \varphi_2 + V_{C_1 S_1} \cos \varphi_2 + V_{DC_1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Учитывая, что углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  малы, примем  $\sin \varphi_1 \approx \varphi_1$ ,  $\sin \varphi_2 \approx \varphi_2$ ,  $\cos \varphi_1 \approx 1$ ,  $\cos \varphi_2 \approx 1$  и тогда уравнения (2) примут вид:

$$\begin{aligned} V_{X_1}^D &= V_{S_1} + V_{C_1 S_1} + V_{DC_1} \cos(\varphi_2 + \delta), \\ V_{Y_1}^D &= V_{O_1} + V_{C_1 S_1} \varphi_1 + V_{DC_1} \sin(\varphi_2 + \delta), \\ V_{\eta'_M}^D &= V_O - V_{S_1} \sin \varphi_2, \\ V_{Z'_M}^D &= V_O \varphi_2 + V_{S_1} + V_{C_1 S_1} + V_{DC_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Так как  $V_{S_1} = \dot{x}_{S_1}$ ,  $V_{C_1 S_1} = \dot{\varphi}_1 a$ ,  $V_{DC} = \dot{\varphi}_2 C_R$ , то уравнения можно записать в следующем виде

$$\begin{aligned} V_{X_1}^D &= \dot{X}_{S_1} + \dot{\varphi}_1 a + \dot{\varphi}_2 C_R \cos(\varphi_2 + \delta), \\ V_{Y_1}^D &= V_O + \dot{\varphi}_1 a \varphi_1 + \dot{\varphi}_2 C_R \sin(\varphi_2 + \delta), \\ V_{\eta'_M}^D &= V_O - \dot{X}_{S_1} \sin \varphi_2, \\ V_{Z'_M}^D &= V_O \varphi_2 + \dot{X}_{S_1} + \dot{\varphi}_1 a + \dot{\varphi}_2 C_R. \end{aligned} \quad (4)$$

Угол  $\delta$  определяется геометрически

Углы  $\gamma_y$  и  $\gamma_M$  определяются из соотношений

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_y &= -\frac{V_{X_1}}{V_{Y_1}}, \\ \operatorname{tg} \gamma_M &= -\frac{V_{Z'_M}}{V_{\eta'_M}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Так как  $\gamma_y$  и  $\gamma_M$  малы, то  $\sin \gamma_y \approx \gamma_y$ ,  $\sin \gamma_M \approx \gamma_M$ , а  $\cos \gamma_y \approx 1$ ,  $\cos \gamma_M \approx 1$ , поэтому  $\operatorname{tg} \gamma_y \approx \gamma_y$ ,  $\operatorname{tg} \gamma_M \approx \gamma_M$ .

Тогда

$$\gamma_y = -\frac{V_{X_1}}{V_{Y_1}}, \quad \gamma_M = -\frac{V_{Z'_M}}{V_{\eta'_M}}. \quad (6)$$

Знаки углов  $\gamma_y$  и  $\gamma_M$  между вектором абсолютной скорости точки D и осями  $O_1Y_1$ ,  $D\eta'_M$  зависят от направления поворота вектора  $V_D$  относительно данных осей. Если вектор  $V_D$  отклонен от осей  $O_1Y_1$  и



$D\eta'_M$  против хода часовой стрелки – будем считать углы положительными, если по ходу часовой стрелки – отрицательными. Это связано с использованием правой системы координат. Подставим в уравнения (6) выражения (4)

$$\begin{aligned}\gamma_y &= \frac{\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R [\cos \delta - \phi_2 \sin \delta]}{V_{O_1} + \dot{\phi}_1 a \phi_1 + \dot{\phi}_2 C_R \sin(\phi_2 + \delta)}, \\ \gamma_M &= \frac{V_O \phi_2 + \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R}{V_O - \dot{X}_{S_1} \phi_2}.\end{aligned}\quad (7)$$

Преобразуем первое уравнение соотношений (7):

$$\begin{aligned}\gamma_y &= \frac{\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R \cos \delta - \dot{\phi}_2 C_R \phi_2 \sin \delta}{V_{O_1} + \dot{\phi}_1 a \phi_1 + \dot{\phi}_2 C_R [\sin \phi_2 \cos \delta + \sin \delta \cos \phi_2]} = \\ &= \frac{\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R \cos \delta - \dot{\phi}_2 C_R \phi_2 \sin \delta}{V_{O_1} + \dot{\phi}_1 a \phi_1 + \dot{\phi}_2 C_R \sin \phi_2 \cos \delta + \dot{\phi}_2 C_R \sin \delta \cos \phi_2}.\end{aligned}$$

Произведениями малых величин и их производными можно пренебречь и тогда получим:

$$\begin{aligned}\gamma_y &= \frac{\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R \cos \delta}{V_{O_1}}, \\ \gamma_M &= \frac{V_O \phi_2 + \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R}{V_{O_1}}.\end{aligned}\quad (8)$$

С учетом найденного геометрически угла  $\delta$  выражения (7) принимают вид:

$$\begin{aligned}\gamma_y &= -\frac{1}{V_{O_1}} \left[ \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R \cos \left( \arccos \frac{0.5B_{oz} + e}{C_R} \right) \right], \\ \gamma_M &= -\frac{1}{V_{O_1}} [V_O \phi_2 + \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R]\end{aligned}\quad (9)$$

где  $B_{oz}$  – ширина захвата очесывающих барабанов;

$e$  – расстояние от боковой стенки очесывающего устройства до оси  $O_1Y_1$ .

Так как  $\cos(\arccos a) = a$ , то выражения (9) принимают вид:

$$\begin{aligned}\gamma_y &= -\frac{1}{V_{O_1}} \left[ \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R \left( \frac{0.5B_{oz} + e}{C_R} \right) \right] = -\frac{1}{V_{O_1}} [\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 (0.5B_{oz} + e)], \\ \gamma_M &= -\frac{1}{V_{O_1}} [V_O \phi_2 + \dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 C_R]\end{aligned}\quad (10)$$

**Вывод.** В результате кинематического исследования были определены аналитические зависимости углов, образованные вектором

скорости точки D и координатными осями.

#### Литература

1. *Пенкин М.Г.* Новые технологии уборки зерновых культур / *М.Г. Пенкин.* – Алма-Ата: Кайнар, 1988. – 269 с.
2. Обоснование индустриально-поточной комбайновой и бескомбайновой технологий уборки зерновых культур / [*М.Д. Галенко* и др.] // *Механиз. и электриф. сел. хоз-ва.* – 1983. – №8. – С.4-6.
3. *Чайковский В.Ф.* Уборка зерновых с обмолотом массы на краю поля / *В.Ф. Чайковский* // *Зерновые культуры.* – 1990. – №4. – С. 21-22.
4. *Шпокас Л.И.* Прессованием длинностебельной хлебной массы в тюки больших размеров с последующей их обработкой на стационарном пункте / *Л.И. Шпокас* // *Проблемы механизации сельскохозяйственного производства.* – М.: 1985. – ч. II. – С.28-29.
5. *Жалнин Э.В.* Экономико-математическая модель задачи оптимизации технико-экономических показателей работы машин уборочного комплекса по схеме «Невейка» / *Э.В. Жалнин, Н.И. Стружкин* // *Моделирование работы поточных линий в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. тр. ВИМ.* – М.: 1978. – Т.79.– С.13-27.
6. *Голубев И.К.* Обоснование основных параметров и режимов работы в двухбарабанном устройстве для очеса риса на корню: дисс. канд. техн. наук / *И.К. Голубев.* – М.: ВСХИЗО, 1989. – 201 с.
7. *Шабанов П.А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис. докт. техн. наук. / *П.А. Шабанов.* – Мелитополь: 1988. – 336 с.
8. *Гончаров Б.И.* Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис. канд. техн. наук. / *Б.И. Гончаров.* – М.: 1982. – 217 с.
9. *Данченко Н.Н.* Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дисс. канд. техн. наук / *Н.Н. Данченко.* – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1983. – 15 с.
10. *Василенко П.М.* Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / *П.М. Василенко* // *Сборник трудов по земледельческой механике.* – М.: 1954. – С.73-92.
11. *Василенко П.М.* О методике механико-математических изысканий при разработке сельскохозяйственной техники / *П.М. Василенко.* – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 1962. – 280 с.
12. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / *Л.В. Гячев.* – Ростов на Дону: Изд-во Ростовского универ-

ситета. – 1976. – 192 с.

13. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / *Л.В. Гячев.* – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

14. *Леженкин А.Н.* Динамика очесывающего агрегата при уборке зерновых культур / *А.Н. Леженкин* // Механизация и электриф. сел. х-ва. – 2004. – №12. – С.24-35.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ АБСОЛЮТНОГО РУХУ ОБЧІСУЮЧОГО БАРАБАНУ ЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ**

Леженкін О.М.

### *Анотація*

**В статті приводиться розрахункова схема причіпного збирального агрегату, розглядається кінематика руху точки прикладання головного вектора сил опору обчисуванню.**

## **ABSOLUTE MOVEMENT KINEMATICS RESEARCHES OF THE HARVESTER DRUM**

A. Lezhenkin

### *Summary*

**The settlement scheme of the hook-on harvest unit is provided in article, the kinematics of movement of a point of the appendix of the main vector of forces of resistance to tow is considered.**

УДК 658.011.56

## СУЧАСНИЙ СТАН КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ЗЕРНОПУНКТАХ

Постнікова М.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-31-59

**Анотація** – проаналізований сучасний стан контролю електроспоживання на зернопунктах

**Ключові слова** – раціональне використання електроенергії, питомі норми електроспоживання, нормування електроспоживання.

*Постановка проблеми.* Енергозбереження в сільському господарстві – одна із самих актуальних задач ХХІ століття. Від результатів рішення цього питання залежить місце нашого суспільства в ряду розвинених в економічному відношенні країн і рівень життя громадян. Раціональне використання електроенергії дозволить забезпечити підключення нових споживачів при мінімальних капітальних витратах на розвиток інфраструктури і зніме проблеми виділення ділянок під нове будівництво.

*Аналіз останніх досліджень.* Найбільш повно питання методики нормування електроенергії в процесах зберігання і переробки хлібних культур були викладені в роботах [1-4]. Були розроблені технологічні питомі витрати електроенергії, які визначались за енергетичними характеристиками машин. Але норми споживання електроенергії в зв'язку з ростом технічного прогресу необхідно періодично уточнювати.

*Формулювання цілей статті.* В роботі поставлена задача проаналізувати сучасний стан контролю електроспоживання на зернопунктах з метою розробки нової методики визначення норм витрат електроенергії.

*Основні матеріали дослідження.* В більшості країн з ринковою економікою, починаючи з періоду першої енергетичної кризи 1973-1974 р.р., законодавче регулювання енерговикористання стало важливим елементом енергетичної політики.

Найбільш дієвим важелем проведення енергозберігаючої політики, що регулюється законодавством, є встановлення нормативів ви-

трати енергії і стандартів енергоефективності, не дотримання яких тягне за собою, частіше всього, фінансову відповідальність.

Вимоги до встановлення індивідуальних нормативів по підвищенню енергоефективності законодавчо закріплені практично у всіх країнах.

Аналіз закордонного досвіду показує, що реальні досягнення в підвищенні енергоефективності можливі тільки при створенні необхідних законодавчих умов, першочерговими з яких є нормування питомих енерговитрат, контроль енерговикористання і економічне стимулювання енергоспоживачів [5].

Розробка і впровадження норм питомих витрат електроенергії в сільському господарстві зустрічає значні труднощі. Незважаючи на це, система обліку, контролю і аналізу енерговикористання нещодавно існувала в сільському господарстві на адміністративній основі.

У недалекому майбутньому у споживачів виникне необхідність у нормуванні свого енергоспоживання за економічними міркуваннями, а не під адміністративним тиском з боку державних органів.

Раціональне використання електроенергії на зернопунктах, оснащених енергоємним технологічним обладнанням, особливо актуально тепер, коли прийнята Національна енергетична програма України з енергозбереження.

ВИЭСХ були розроблені методичні рекомендації з розрахунку норм витрати електричної енергії в сільськогосподарському виробництві [1] (1983 р.), затверджені МСХ СРСР. Вони були розроблені на основі «Методики по расчету норм расхода электрической энергии в сельскохозяйственном производстве», узгодженої з НИИПИНОм і затвердженої Минсельхозом СРСР 28 червня 1982 року. Однак, норми повинні періодично переглядатися по мірі удосконалення системи машин для дороблювання зерна. Тому норми, розроблені в 1983 році вимагають уточнення і перегляду. В 1985 р. Українським науководослідним інститутом механізації і електрифікації сільського господарства (Глеваха), були розроблені норми споживання електроенергії в сільськогосподарському виробництві [2], які призначені для цілей планування і нормування витрати електроенергії, зокрема, норми витрати електроенергії при дороблюванні зерна приведені до одиниці дороблюваної культури для трьох основних кліматичних зон України. Однак, ці норми також вимагають уточнення і перегляду.

Карпова О.П. [3] запропонувала науково-обґрунтовані норми питомих витрат електроенергії при дороблюванні зерна на агрегатах ЗАВ-20, ЗАР-5 для півдня України. Для цього були проведені натурні дослідження на агрегатах ЗАВ-20, ЗАР-5.

Киселиця І.В. [4] привів методику визначення базової витрати електричної енергії на післязбиральну обробку зерна, розуміючи під ідеально базисною витратою – витрату електроенергії для приводу машини і агрегатів без урахування факторів, що впливають негативно та виникають в процесі експлуатації – зміні продуктивності машини або технологічної лінії, завантаження обладнання, продуктивності за видом оброблюваної культури, вологості та засміченості культури, відхилення напруги в мережі та інші фактори, що не підлягають кількісній оцінці. Однак, і ця методика вимагає перегляду.

Порівняльні дані раніш отриманих питомих витрат електроенергії на післязбиральну обробку зерна (табл. 1) показують, що питомих витрати електроенергії у різних авторів мають різні значення від 3,704 кВт·год./т [4] до 1,1 кВт·год./т [3], так як різні автори по-різному визначали питому витрату електроенергії. Це свідчить про те, що питання методики визначення питомої витрати електроенергії вимагають доробки.

Таблиця 1 – Раніш отримані питомі витрати електроенергії на післязбиральну обробку зерна

Технологічна схема	ВИЭСХ 1976...1983 г.г. (Коршунов А.П.)	МСХ СССР 1981...1985 г.г.	УНИИМЭСХ 1980...1985 г.г. (Корчемный Н.А. и др.)	УНИИМЭСХ 1990...1992 г.г. (Киселиця І.В.)	МИМСХ 1975...1981 г.г. (Карпова А.П.)
1 Одна лінія з трієром, Q = 7,5 т/год.	2,63	3,4	-	3,704	2,669
2 Одна лінія без трієра, Q = 10 т/год.	2,23	2,5	-	2,474	1,931
3 Дві лінії з трієрами, Q = 15 т/год.	1,83	2,0	-	2,345	1,662
4 Дві лінії без трієрів, Q = 20 т/год.	1,63	1,2	1,701...2,017	1,633	1,1
5 Дві лінії з трієрами, Q = 40 т/год.	1,18	-	1,74...2,79	-	-

Краусп В.Р. [6] узагальнив досвід проектування і експлуатації зернопунктів, установив середні проектні норми витрат електроенергії на операціях післязбиральної обробки зерна:

- в машинах попереднього очищення

$$W_{n.o.} = 0,2 + \frac{4}{Q_{n.o.}}, \text{ кВт}\cdot\text{год./т},$$

де  $Q_{n.o.}$  – продуктивність, т/год.;

- в машинах вторинного очищення

$$W_{в.о.} = 0,8 \exp(-0,0266 Q_{в.о.}), \text{ кВт}\cdot\text{год./т},$$

де  $Q_{в.о.}$  – продуктивність вторинного очищення, т/год.;

- в трієрах

$$W_{mp} = 3 - 0,01 \cdot Q_{mp}, \text{ кВт}\cdot\text{год./т},$$

де  $Q_{mp}$  – продуктивність трієра, т/год.

Знаючи співвідношення продуктивності технологічних машин в агрегаті (або потокової лінії), легко знайти загальні нормативні витрати енергії на очищення заданого об'єму  $V$  (т) зерна

$$W_{заг} = (W_{n.o.} + W_{в.о.} + W_{mp}) \cdot V, \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

#### *Висновок.*

1. В результаті проведеного аналізу визначення норм витрати електроенергії потокових ліній зернопунктів встановлено, що норми витрати електроенергії потокових ліній зернопунктів у різних авторів мають різні значення – від 3,704 кВт·год./т до 1,1 кВт·год./т, так як різні автори по-різному визначають норму витрати електроенергії.

2. При аналізі технологічних схем зерноочисних агрегатів встановлено, що особливістю потокових ліній з точки зору встановлення норм витрати електроенергії є те, що в потокових лініях є машини, що лімітують та визначають продуктивність всієї потокової лінії.

3. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що практично найбільш зручно встановлювати норми витрати електроенергії на основі енергетичних характеристик агрегатів  $P = f(Q)$  або  $W_{пит.} = f(Q)$ .

4. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що при наявності великого та цінного досвіду в області нормування витрати електроенергії відсутня методика, що дозволяє визначити норми витрати електроенергії для потокових ліній з урахуванням потреби в потужностях і енергії робочих машин і технологічних ліній.

#### *Література*

1. Методические рекомендации по расчёту норм расхода электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. – М.: ВИЭСХ, 1983. – 50 с.

2. Нормы потребления электроэнергии в сельскохозяйственном производстве / [Н.А. Корчемный, В.П. Машевский, В.М. Головки, В.Е. Богачёва]. – Глеваха: 1985. – 52 с.

3. Карпова А.П. Исследование влияния технических и технологических факторов на электропотребление при подработке зерна на юге УССР: автореф. дис. канд. техн. наук / А.П. Карпова. – К., 1981. – 21 с.

4. Мартыненко И.И. Базисный расход электрической энергии при послеуборочной обработке зерна / И.И. Мартыненко, И.В. Киселица // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1990. – №8. – С.136-138.

5. Головки С.Г. Краткий анализ зарубежного законодательства по контролю энергопотребления / С.Г. Головки // Энергосбережение. – 2001. – №9-10. – С.14-16.

6. Методика энергетического мониторинга сельскохозяйственных объектов, выявление резервов и потенциала экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 100 с.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ЗЕРНОПУНКТАХ**

М.В. Постникова

### *Аннотация*

**Проанализировано современное состояние контроля электропотребления на зернопунктах.**

## **MODERN CONDITION OF THE CHECKING ELECTRIC CONSUMPTION ON THE CORN POINTS**

M. Postnikova

### *Summary*

**There was analyzed a modern condition of the checking electric consumption on the corn points.**



УДК 621.316.71

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПНЕВМОСИСТЕМ

Катюха А.А., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-23-41

Клендїй П.Б., к.т.н.,

Клендїй Г.Я., інженер.

*ВПНУБіП України Березанський агротехнічний інститут*

Тел. (03548) 2-14-51

**Анотація** – в статті розглянуто реалізацію векторного способу керування частоти обертання асинхронного електродвигуна приводу вентиляційної установки пневмосистем та побудовано функціональну схему асинхронного регульованого електропривода з підтриманням закону керування  $\psi_2 = \text{const}$ .

**Ключові слова:** закон керування, частотно-регульований електропривод, асинхронний електродвигун.

*Постановка проблеми.* Для енергоефективної роботи пневмосистеми потрібно регулювати частоту обертання робочого колеса вентиляційної установки, змінюючи кутову швидкість ротора асинхронного двигуна [1]. При цьому можна використовувати закони першого рівня, в яких підтримується постійними відношення величини і частоти напруги від якої живиться електродвигун. Але ці закони можна використовувати тоді, коли відомо наперед, яка частота обертання вентилятора потрібна в певні моменти часу.

*Аналіз останніх досліджень.* Навантаження пневмомережі змінюється за долі секунди і стохастично, а значення його визначається електромагнітною потужністю електродвигуна

$$(M_e - M_m) \cdot \omega = \frac{H \cdot Q}{\eta_n \cdot \eta_m \cdot 3600 \cdot 102} \quad (1)$$

де  $H$  – напір вентилятора, Па;

$Q$  – витрата повітря, м<sup>3</sup>/год.

$\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії передачі;

$\eta_m$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

$M_e$  – електромагнітний момент електродвигуна, Нм;  
 $M_m$  – механічні втрати моменту електродвигуна, Нм;  
 $\omega$  – кутова швидкість вентилятора,  $c^{-1}$ ;

Параметри  $H$  і  $\eta_m$ , що отримуються експериментальним способом або із довідкової літератури і апроксимуються наступними виразами:

$$H = -A \cdot Q^2 + B \cdot Q \cdot \omega + C \cdot \omega^2; \quad (2)$$

$$\eta_m = -D \cdot \omega^2 + E \cdot \omega + F \cdot Q^2 + G \cdot Q + L, \quad (3)$$

де  $A, B, C, D, E, F, G, L$  – коефіцієнти апроксимації, які визначаються для конкретного вентилятора.

В системі регулювання частоти обертання вентилятора потрібно використовувати закони другого рівня. До них відносяться закони, при яких забезпечуються постійні значення різних магнітних потокозчеплень асинхронного двигуна: статора  $\psi_1$  (відповідає постійному значенню відношення  $E_{зовн}/f$ ), повітряного зазору  $\psi_0$  ( $E/f$ ), ротора  $\psi_2(E_{внутр.1}/f)$ .

Для визначення основних співвідношень асинхронного електродвигуна при різних законах частотного регулювання використовуємо Т-подібну схему заміщення електродвигуна із змінними параметрами при частотному регулюванні.

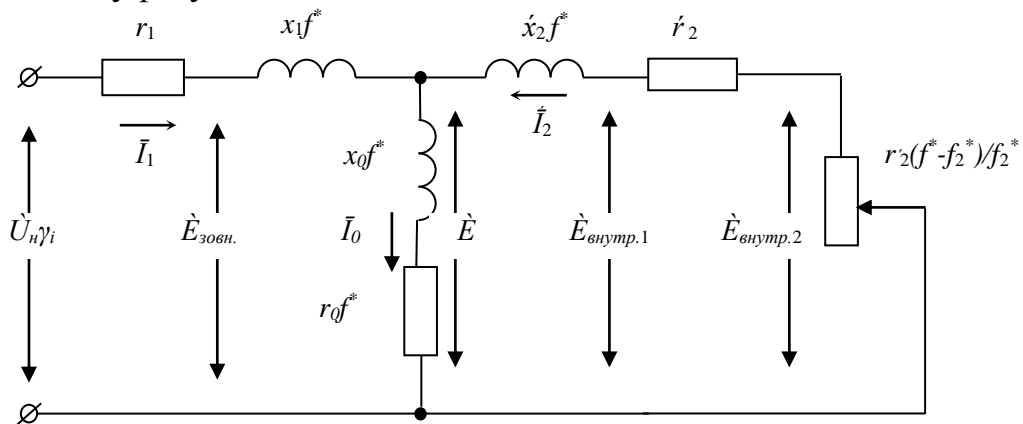


Рис. 1. Схема заміщення асинхронного короткозамкненого електродвигуна із змінними параметрами при частотному керуванні.

В наведеній схемі заміщення (рис. 1) всі опори за виключенням активних опорів обмоток статора  $r_1$  і ротора  $r_2$  змінюються пропорційно коефіцієнту

$$f^* = f_i / f_{1n},$$

де  $f_i$  – поточне значення частоти;

$f_{1n}$  – номінальне значення частоти перетворювача.

Прикладена напруга змінюється пропорційно коефіцієнту:

$$\gamma = U_i / U_{1n},$$

де  $U_i$  – поточне значення напруги, В;

$U_{1н}$  – номінальне значення напруги перетворювача, В.

Навантаження на валу електродвигуна еквівалентне приведенню опору, який залежить від коефіцієнта  $f^*$  і коефіцієнта абсолютного ковзання

$$f_2^* = f_2/f_{1н} = f^* \cdot s,$$

де  $f_2$  – частота ротора;

$s$  – ковзання двигуна.

*Формулювання цілей статті.* Завданням є обґрунтування раціонального закону керування частотно-регульованим електроприводом вентиляційної установки пневмосистем.

*Основна частина.* При значних змінах ковзання на робочому відрізку механічної характеристики для врахування електромагнітних перехідних процесів, а також при пусках електродвигуна застосовують моделі, що реалізують систему диференціальних рівнянь, які пов'язують вектори струмів, напруг і потокозчеплень, представлених у системі координат  $d, q$  [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{1d} = r'_1 i_{1d} + T_l' \frac{di_{1d}}{dt} - l'_1 f^* i_{1q} - \frac{r_2}{T_2} \psi_{2d} - k_2 \omega^* \psi_{2q}; \\ u_{1q} = r'_1 i_{1q} + T_l' \frac{di_{1q}}{dt} - l'_1 f^* i_{1d} - \frac{r_2}{T_2} \psi_{2q} - k_2 \omega^* \psi_{2d}; \\ 0 = -k_2 r_2 i_{1d} + \frac{1}{T_2} \psi_{2d} + \frac{d\psi_{2d}}{dt} - (f^* - \omega^*) \psi_{2q}; \\ 0 = -k_2 r_2 i_{1q} + \frac{1}{T_2} \psi_{2q} + \frac{d\psi_{2q}}{dt} + (f^* - \omega^*) \psi_{2d}; \\ \mu = k_2 (\psi_{2d} i_{1q} - \psi_{2q} i_{1d}); \\ \mu - \mu_c = T_\mu \frac{d\omega^*}{dt} \end{array} \right. \quad (4)$$

при  $t = t_0, \quad t_{1d} = t_{1d0}, \quad t_{1q} = t_{1q0}, \quad \psi_{2d} = \psi_{2d0}, \quad \psi_{2q} = \psi_{2q0},$

$$\text{де } r'_1 = r_1 + k_2^2 r_2, \quad T_l' = \frac{l'_1}{r'}, \quad T_2 = \frac{L_{2\sigma}}{R_2}; \quad L_{2\sigma} = L_2 + L_m.$$

При реалізації векторного способу керування частоти обертання асинхронного електродвигуна, коли  $\psi_2 = \text{const}$ , перші чотири рівняння (4) в операторній формі запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned}
U_{1d} &= i'_{1d} r'_1 (1 + pT_1) - f^* l'_1 i_{1q} - \frac{r'_2}{T_2} \psi_{2d}; \\
U_{1q} &= i'_{1q} r'_1 (1 + pT_1) + f^* l'_1 i_{1d} + \kappa_2 \omega^* \psi_{2d}; \\
0 &= -\kappa_2 i_{1d} r_2 + \frac{1}{T_2} \psi_{2d} + p \psi_{2d}; \\
0 &= -\kappa_2 i_{1q} r_2 + (f^* - \omega^*) \psi_{2d};
\end{aligned} \tag{5}$$

З третього і четвертого рівнянь системи (5) отримаємо:

$$\begin{aligned}
\psi_{2d} &= \frac{k_2 r_2 T_2 i_{1d}}{T_2 p + 1}; \\
f_c^* &= \omega^* + \frac{k_2 r_2 T_2 i_{1q}}{\psi_{2q}}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Момент електродвигуна при векторному керуванні

$$\mu = k_2 \psi_{2d} i_{1q}. \tag{7}$$

Враховуючи (5), (6) і (7) та рівняння руху електропривода, побудовано функціональну схему асинхронного регульованого електропривода з підтриманням  $|\psi_2| = \text{const}$ , яка приведена на рис. 2.

Вектор потокозчеплення ротора рахується за відомим значенням потокозчеплення  $\bar{\psi}_2 = \frac{1}{k_2} (\bar{\psi}_1 - \bar{I}_1 l'_1)$ , а в нерухомих координатах  $a, b$

$$\begin{aligned}
\psi_{2a} &= (1 + l_2) \int_0^\tau (U_a - i_a r_1) d\tau - i_{1a} l'_1 (1 + l_2); \\
\psi_{2b} &= (1 + l_2) \int_0^\tau (U_b - i_b r_1) d\tau - i_{1b} l'_1 (1 + l_2).
\end{aligned} \tag{8}$$

Модуль потокозчеплення і кутове положення визначають співвідношеннями:

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2a}^2 + \psi_{2b}^2}; \quad \cos \theta = \frac{\psi_{2a}}{|\psi_2|}; \quad \sin \theta = \frac{\psi_{2b}}{|\psi_2|} \tag{9}$$

При реалізації  $\psi_2 = \text{const}$  величина потокозчеплення розраховується за формулою

$$\psi_{2n} = \frac{\sqrt{2} I_n L_m}{\sqrt{1 + \left( \frac{T_2 2\pi f_1 s_n}{P_n} \right)^2}}. \tag{10}$$

Оскільки  $M = \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2a} i_{1b} + \psi_{2b} i_{1a})$ , то  $M\omega = P$ , а  $P = kQH$ , то

$Q = \frac{P}{kH}$  при векторному керуванні  $M = \frac{L_m}{L} \psi_{2m} i_{1q}$ .

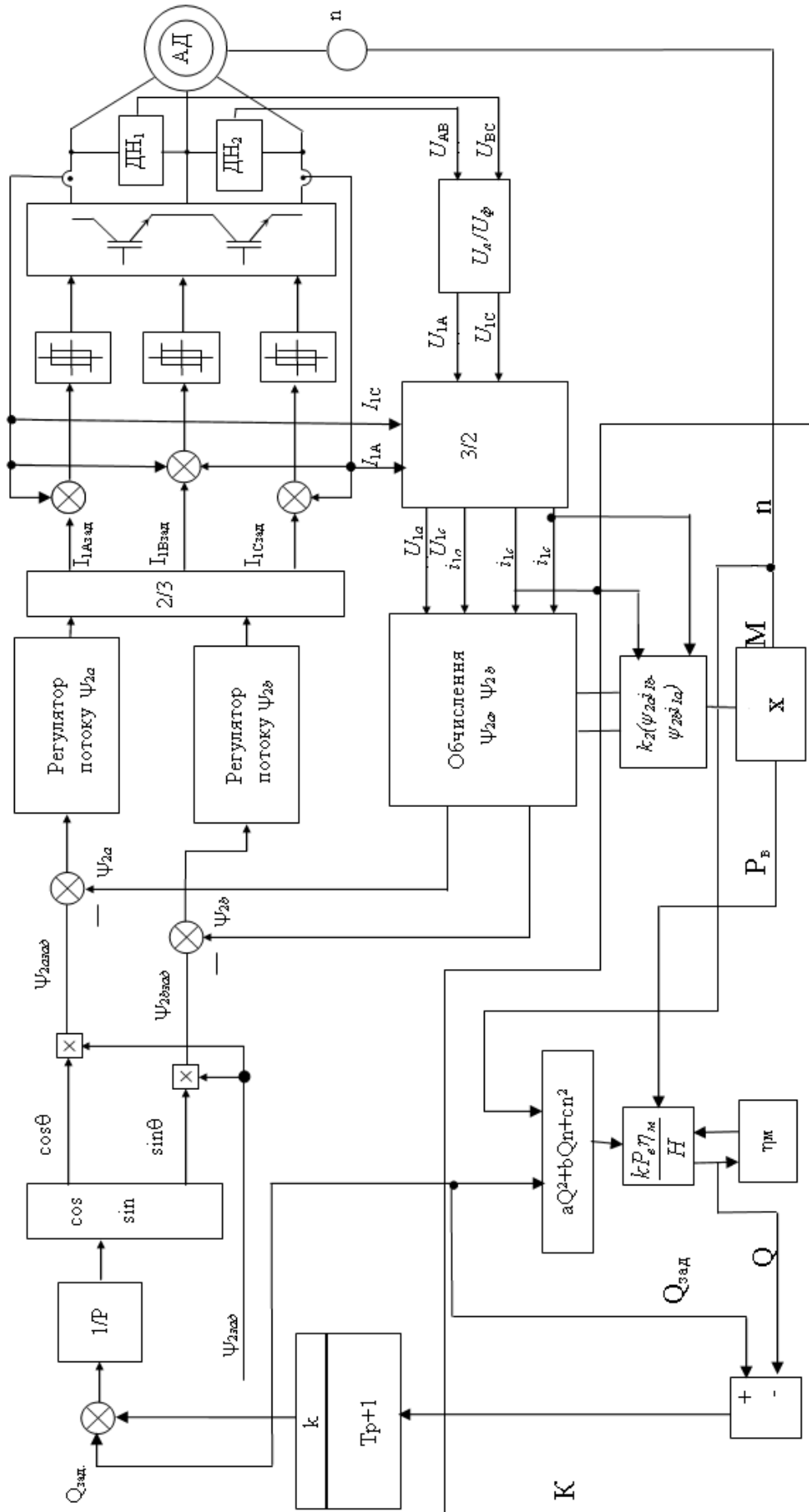


Рис. 2. Функціональна схема асинхронного електропривода з підтримкою  $\Psi_2 = const$ .

Реалізація корекції заданого значення швидкості (продуктивності вентиляційної установки) при зміні навантаження здійснюється схемою К (рис. 2), яка є складовою системи управління електроприводом.

Схема складена на основі синтезу наступних рівнянь. Електромагнітний момент електродвигуна при відомих потокозчепленнях і струмах в нерухомій системі координат визначається за виразом

$$M = k_2(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}), \quad (11)$$

а потужність виражається формулою (1).

Потужність на валу електродвигуна з урахуванням механічних витрат визначається виразом

$$P_g = (1 - k_{\text{мех}})P. \quad (12)$$

Якщо  $Q_{\text{зад}} - Q \neq 0$ , то коректується значення заданої швидкості обертання, при  $Q_{\text{зад}} - Q = 0$  така корекція не проводиться.

Важливим параметром режимів роботи продуктопроводів є швидкість руху аеросуміші або продуктивність.

Якщо задається продуктивність  $Q_{\text{зад}}$ , яка забезпечує швидкість руху аеросуміші такою, щоб з однієї сторони не виникав завал продуктопровода, а з іншої забезпечувалися мінімальні витрати енергії на реалізацію режиму, що за виразом (2) можна вирахувати значення напору вентиляційної установки  $H_{\text{зад}}$ . З виразів (12) і (1) при відомому значенню потужності, яку споживає вентиляційна установка, та її коефіцієнту корисної дії визначається значення продуктивності

$$Q = \frac{kP_g\eta_m}{H_{\text{зад}}}. \quad (13)$$

У блоці  $\eta_m$  схеми К вираховується значення ККД вентиляційної установки при відомому значенні  $Q$ .

**Висновок.** Реалізація закону  $\psi_2 = \text{const}$  в частотно-регульованому електроприводі пневмосистем дозволяє безпосереднє керування моментом електродвигуна і при цьому якість керування в статичних і динамічних режимах суттєво підвищується в порівнянні з іншими законами.

#### Література.

1. *Клендій П.Б.* Оцінка зменшення енергоємності пневмотранспортних установок шляхом дроселювання і регулювання частоти обертання вентилятора / *П.Б. Клендій, Г.Я. Клендій* // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково – виробничий журнал. – 2008. – № 1. – С.55-61.

2. *Корчемний М.О.* Дослідження асинхронного електропривода за допомогою математичного моделювання / *М.О. Корчем-*

ний // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К.: Урожай, 1971. – 76 с.

**ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПНЕВМОСИСТЕМ**

Катюха А.А., Клендий П.Б., Клендий Г.Я.

*Аннотация*

**В статье рассмотрена реализация векторного способа управления частоты вращения асинхронного электродвигателя привода вентиляционной установки пневмосистем и построена функциональная схема асинхронного регулируемого электропривода с поддержанием закона управления  $\psi_2 = \text{const}$**

**CONTROL LAW GROUND OF FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC VENTILATION UNITS PNEUMATIC SYSTEMS**

A. Katyuha, P. Klendiy, H. Klendiy

*Summary*

**Realization of vector method of management of frequency of rotation of asynchronous electric motor of occasion of a vent setting of pneumatic systems is considered in the article and the functional diagram of asynchronous managed electrical drive is built with maintenance of management law  $\psi_2 = \text{const}$ .**

УДК [669 – 131: 669.14]: 620.178.3

## ПІДВИЩЕННЯ ВИТРИВАЛОСТІ КОВАНИХ СТАЛЕЙ

Буніна Л.М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-54

**Анотація** – наведено дослідження малоциклової витривалості кованих марганцевистих сталей. Показано, що комплексне розкислення сталі алюмінієм та фероцерієм зменшує анізотропію властивостей.

**Ключові слова** – кована сталь, неметалеві включення, малоциклова витривалість.

*Постановка проблеми.* Опір кованих сталей руйнуванню при циклічних навантаженнях є одним з факторів, які визначають довговічність виготовлених з неї виробів. Вплив морфології неметалевих включень та структури металевої основи на процес руйнування кованих сталей вивчено недостатньо. У зв'язку з тим, що кінцеве розкислення (модифікування) є найбільш технологічним і економічним методами керування процесами структуроутворення сталі, досліджувався вплив модифікування фероцерієм на один з показників конструктивної міцності сталі – малоцикловою витривалість.

*Аналіз останніх досліджень.* Згідно багатьом літературним джерелам, форма неметалевих включень грає визначну роль у процесах зародження втомних тріщин і руйнуванні залізобуглецевих сплавів при циклічному навантаженні. Проте ці роботи не в повному обсязі досліджують процес руйнування кованих сталей.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи було вивчення впливу модифікування фероцерієм у порівнянні з розкисленням алюмінієм сталей з низьким (0,09%) та середнім (0,40%) вмістом вуглецю з урахуванням впливу їхньої технологічної текстури на малоцикловою витривалість.

*Основна частина.* Опір матеріалів руйнуванню в умовах малоциклової втоми називають малоцикловою витривалістю. Її критерієм є циклічна довговічність  $N$  – кількість циклів напруження чи деформації, які витримує зразок до появи макротріщини або руйнування. На практиці існує умовна межа – 50000 циклів, яка відокремлює малоцикловою втому від багатоциклової. Другою особливістю досліджень на ма-



лоциклову витривалість є пружньопластичне деформування на відміну від пружного деформування при багатоциклової витривалості [1].

Були підтверджені дані про те, що форма неметалевих включень впливає на інтенсивність тріщиноутворення [2, 3]: глобулярні включення викликали утворення невеликих по розміру каверн, витягнуті включення другого типу викликали утворення тріщин значної довжини.

Оцінювали роль неметалевих включень у процесах руйнування марганцевистих сталей з витягнутими залізо-марганцевими сульфідами та глобулярними церієвими включеннями при циклічних знакозмінних навантаженнях на поздовжніх і поперечних зразках. Дослідження механізму втомного руйнування проводили при деформації 0,35% на зразках, що мають з однієї сторони поліровану поверхню, яку фотографували після різної кількості циклів. Аналіз мікромеханізму при дослідженнях на малоциклову витривалість показав, що в найбільшому ступеню процесам тріщиноутворення сприяли включення залізо-марганцевих сульфідів. Біля таких включень відбувалось зародження мікротріщин, окремі з яких приводили до утворення магістральної тріщини при подальшому збільшенні числа навантажень. Найбільш небезпечними, які сприяли прискореному руйнуванню сталі, виявили себе витягнуті неметалеві включення у тому випадку, якщо руйнівне навантаження було нормальним до напрямку пластичної деформації (рис. 1, а). У тому випадку, коли лінія дії навантажень на розтягування співпадала з напрямом течії металу і включень при пластичній деформації, роль включень у процесі зародження і поширення тріщин різко знижувалась, частіш за все мікротріщина виникала у включенні (рис. 1, б). В області включень глобулярної форми також утворювались тріщини, однак їх швидкість зародження і росту значно відставала від швидкості зародження і росту мікротріщин в області витягнутих включень (рис. 1 в, г).

Вплив різного типу неметалевих включень на малоциклову витривалість вивчали на марганцевистих кованих сталях 09Г і 40Г з двома способами розкислення: алюмінієм та алюмінієм і фероцерієм. Зразки вирізували в поздовжньому та поперечному напрямку кування та полірували поверхню з однієї сторони. Досліджували вплив кінцевого модифікування на зниження анізотропії витривалості металу. Неметалеві включення, які відносились до включень другого типу у випадку дії зовнішніх навантажень поперек напрямку орієнтації включень визивали руйнування металу при значно меншому циклі перемінних напружень, ніж у тому випадку, якщо навантаження були направлені вздовж напрямку орієнтації включень. У тому випадку, коли досліджувались сталі після розкислення фероцерієм і алюмінієм з глобулярними включеннями першого типу, анізотропія властивостей різко знижувалась (табл. 1).

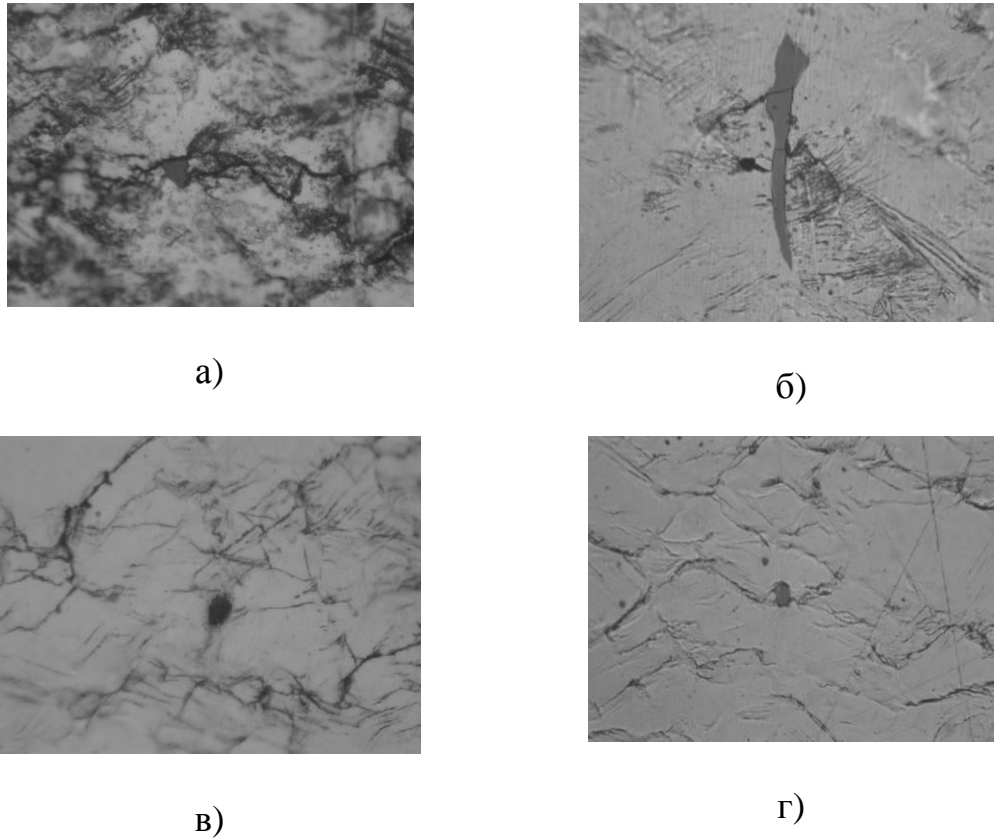


Рис. 1 – Участь неметалевих включень у руйнуванні зразків:  
 а) 09Г Al попереч.; б) 09Г Al поздовж.; в) 09Г Al+Ce поздовж.;  
 г) 09Г Al+Ce попереч.

Таблиця 1 – Коефіцієнти інтенсивності напруг кінетичних діаграм втомного руйнування, малоциклова витривалість і  $K_{1C}$  сталей 09Г, 40Г і 50Г

Марка сталі	Тип зразка	$\Delta K_{th}$	$\Delta K^*$	$\Delta K_{fc}$	МЦВ	$K_{1C}$
		МПа·м <sup>1/2</sup>			Н, тис. цикл.	МПа·м <sup>1/2</sup>
09Г	11ПЗ	13	21	70	10,6	45,05
	11П	13	20	60	6	39,02
	12ПЗ	14	22	80	10,9	66,5
	12П	14	22	80	8,6	60,1
50Г	41ПЗ	12	23	89	8,8*	65,05
	41П	12	22	70	5,8*	54,82

Продовження таблиці 1

Марка сталі	Тип зразка	$\Delta K_{th}$	$\Delta K^*$	$\Delta K_{fc}$	МЦВ	$K_{1C}$
		МПа·м <sup>1/2</sup>			N, тис. цикл.	МПа·м <sup>1/2</sup>
50Г	42ПЗ	8,3	20	91	9,0*	86,6
	42П	8,3	20	91	8,2*	76,8

\* Дослідження проведені на сталі 40Г

*Висновки.* За наявності неметалевих глобулярних включень ковані сталі мають перевагу перед кованими сталями з витягнутими неметалевими включеннями.

#### Література

1. Малоцикловая усталость стали в рабочих средах / [Г.В. Карпенко, К.Б. Кацов, И.В. Кокотайло, В.П. Руденко]. – К.: Наукова думка, 1977. – 106 с.
2. Куслицкий А.Б. Неметаллические включения и усталость стали / А.Б. Куслицкий. – К.: Техника, 1976. – 128 с.
3. Бельченко Г.И. Неметаллические включения и качество стали / Г.И. Бельченко, С.И. Губенко. – К.: Техника, 1980. – 168 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ КОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Бунина Л.Н.

### Аннотация

Приведено исследование малоцикловой выносливости марганцовистых кованых сталей. Показано, что комплексное раскисление стали алюминием и ферроцерием уменьшает анизотропию свойств.

## THE RISE OF FORGING STEELS ENDURANCE

L. Bunina.

### Summary

The low-cycle endurance of manganese steels for forging is given. There was shown that deoxidation of steel by aluminum and ferrocium reduced anisotropy of properties.

УДК 631.3-83(075.8)

## МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СУЧАСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

Квітка С.О., к.т.н.,

Безменнікова Л.М., к.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка О.С., магістр.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-31-59

**Анотація** – розглянуто методи управління та апаратна реалізація перетворювачів частоти електроприводів змінного струму.

**Ключові слова** – регульований електропривод змінного струму, перетворювач частоти, методи управління, апаратна реалізація.

*Постановка проблеми.* Основним елементом сучасних регульованих електроприводів змінного струму є перетворювач частоти. Вони все більшою мірою використовуються в електроприводах змінного струму насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів та ін., в промисловості та в сільському господарстві [1-3].

*Аналіз останніх досліджень.* Незважаючи на різноманіття існуючих на даний момент алгоритмів керування та варіантів апаратної реалізації перетворювачів частоти, існують типові рішення, що застосовуються більшістю виробників [2, 3].

Частотні перетворювачі призначені для регулювання частоти обертання вала АД, змінюючи швидкість в широких межах. Частотні перетворювачі, що одержали широке поширення, є інверторами напруги, хоча ще також використовуються і інвертори струму. Це пояснюється тим, що інвертори напруги можуть працювати в багатодвигуневому приводі і мають більш широкий діапазон зміни вихідної частоти. Остання обставина відкриває дорогу даних пристроїв не тільки у виробничу, але і в комунальну сферу, де, наприклад, навантаження на водогін вкрай нерівномірне. Частотні перетворювачі допомагають ефективно вирішити проблему необгрунтованої перевитрати електроенергії – коли тиск у трубах нормалізується, інвертор автоматично знижує момент на валу насоса, заощаджуючи при цьому до 30% енергії. У промисловості та у сільському господарстві при виробництві на

конвеєрних лініях так само часто використовуються частотні перетворювачі для керування транспортерами. В результаті чого досягається синхронізація роботи електродвигунів приводу транспортерів технологічної лінії, а внаслідок і всієї лінії, економія електроенергії і підвищення продуктивності лінії.

Фактично, існують негласні стандарти на структуру перетворювачів частоти та виконувани ними функції [3].

У загальному випадку можна виділити два основні завдання, які вирішуються регульованим електроприводом: керування моментом і швидкістю обертання електродвигуна.

Необхідність регулювання моменту диктується технічними та технологічними вимогами, що пред'являються до електроприводу. Для нормального функціонування приводу необхідно обмежувати момент і струм двигуна допустимими значеннями в перехідних процесах пуску, гальмування і під дією навантаження. Для механізмів, що зазнають при роботі значні перевантаження аж до зупинки робочого органа (наприклад, електроприводи млинів), виникає необхідність безперервного регулювання моменту електродвигуна в цілях обмеження динамічних ударних навантажень. У багатьох випадках потрібно також точне дозування зусилля на робочому органі (електроприводи металообробних верстатів, намотувальні машини та ін.)

Технологічні режими багатьох виробничих механізмів на різних етапах роботи вимагають руху робочого органа з різною швидкістю, що забезпечується або механічним шляхом, або шляхом електричного регулювання швидкості електроприводу. При цьому вимоги до діапазону і точності регулювання швидкості можуть змінюватися в широкіх межах залежно від галузі застосування електроприводу [1, 2].

*Формулювання цілей статті.* Аналіз стану розвитку, методів керування та апаратної реалізації сучасних перетворювачів частоти регульованих електроприводів змінного струму.

*Основна частина.* Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування: скалярне і векторне [1-3].

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є на сьогоднішній день найбільш поширеним. Він застосовується в складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання вала двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск в трубопроводі, при цьому використовується відповідний датчик).

Основний принцип скалярного керування – зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом  $U/f^n = const$ , де  $n \geq 1$ . Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до

електроприводу навантаженням. Зазвичай за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів. Скалярне керування забезпечує сталість перевантажувальної здатності електроприводу незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження моменту, що розвивається двигуном, при низьких частотах (при  $f < 0,1f_{ном}$ ). Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для електроприводів зі скалярним керуванням досягає 1:10.

Метод скалярного керування відносно простий у реалізації, але має два істотних недоліки. По-перше, за відсутності датчика швидкості на валу двигуна неможливо регулювати швидкість обертання вала, тому що вона залежить від навантаження. Наявність датчика швидкості вирішує цю проблему, однак залишається другий істотний недолік – не можна регулювати момент на валу двигуна. З одного боку, цю проблему можна вирішити установкою датчика моменту, однак такі датчики мають дуже високу вартість, часто перевищує вартість всього електроприводу. Але навіть за наявності датчика керування моментом виходить дуже інерційним. Більш того, при скалярному керуванні не можна регулювати одночасно і момент і швидкість, тому доводиться вибирати ту величину, яка є найбільш важливою для даного технологічного процесу.

Для усунення недоліків, властивих скалярному керуванню, фірмою Siemens був запропонований метод векторного керування. У сучасних електроприводах в систему керування закладається математична модель двигуна, яка дозволяє розраховувати момент на валу і швидкість обертання вала. При цьому необхідними є тільки датчики струму фаз статора двигуна. Завдяки спеціальній структурі системи керування забезпечується незалежне і практично безінерційне регулювання двох основних параметрів – моменту на валу і швидкості обертання.

На сьогоднішній день сформувалися два основні класи систем векторного керування – бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком по швидкості. Застосування того чи іншого методу векторного керування визначається областю застосування електроприводу. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1:100) і вимогах до точності її підтримки не більше  $\pm 0,5\%$  застосовують бездатчикове векторне керування. Якщо ж швидкість обертання вала змінюється в широких межах (до 1:10000 і більше), маються вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до  $\pm 0,02\%$  при частотах обертання менше 1 Гц) або є необхідність позиціонування вала, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обер-

тання, застосовують методи векторного керування із зворотним зв'язком по швидкості.

При використанні векторного керування досягаються наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості навіть при відсутності датчика швидкості;
- плавне без ривків, обертання двигуна в області малих частот;
- можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (при наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких скачках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрів і намагнічування, а отже, підвищується ККД двигуна.

Поряд з перевагами, методу векторного керування властиві і деякі недоліки, такі, як велика обчислювальна складність і необхідність знання параметрів двигуна. Крім того, при векторному керуванні коливання швидкості на постійному навантаженні більше, ніж при скалярному керуванні. Слід зазначити, що існують області, в яких можливе використання тільки скалярного керування, наприклад в груповому електроприводі, де від одного перетворювача живляться кілька двигунів.

Побудова силової частини [1-3]. Найбільшого поширення набули перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму, побудовані за схемою випрямляч – автономний інвертор. Принцип роботи та області застосування таких перетворювачів частоти залежать від типу випрямляча та автономного інвертора (інвертор напруги або інвертор струму).

Найбільшого поширення набули некеровані випрямлячі. Виконувані на діодах, вони характеризуються максимальною простотою і надійністю, високим ККД, а також досить високою якістю вихідної напруги і гармонійного складу струму, споживаного з мережі. Однак некерованість процесу перетворення енергії не дозволяє реалізувати режим рекуперації, необхідний у багатьох випадках.

Керовані випрямлячі на низькочастотних тиристорах, позбавлені як недоліків, так і більшості переваг діодних випрямлячів. Вони мають високий ККД і властивість оборотності по напрямку перетворення енергії і зазвичай використовуються спільно з автономними інверторами струму для регулювання величини вихідного струму перетворювача. Недоліки керованих випрямлячів полягають у підвищеному рівні пульсацій випрямленої напруги, в зниженому значенні коефіцієнта потужності, який зменшується пропорційно вихідній напрузі, і в односторонньому напрямку вихідного струму.

Напівкеровані випрямлячі займають проміжне положення між керованими і некерованими випрямлячами, дозволяючи регулювати значення випрямленої напруги без можливості рекуперації енергії в мережу. У разі керованих і напівкерованих випрямлячів з'являється можливість відключення силової схеми перетворювачів частоти від мережі без використання додаткового устаткування.

Перетворювач частоти (рис. 1) складається з некерованого діодного силового випрямляча, автономного інвертора, системи керування ШІМ, системи автоматичного регулювання, дроселя  $L_B$  і конденсатора фільтра  $C_B$ . Регулювання вихідної частоти  $f_{вих}$  і напруги  $U_{вих}$  здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного керування. Широтно-імпульсне керування характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча. Тривалість цих станів всередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (звичайно 2...15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, протікають синусоїдальні струми.

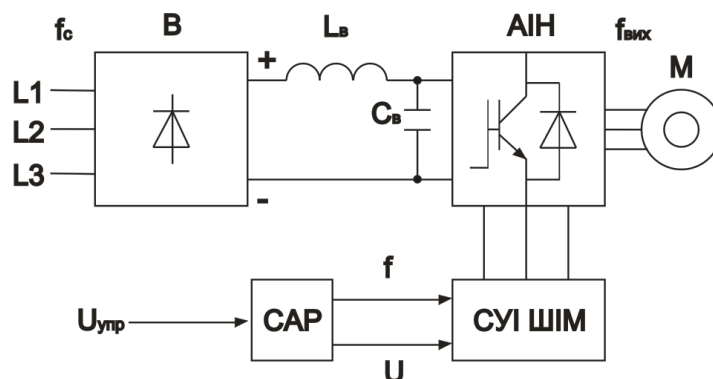


Рис. 1. Перетворювач частоти.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів – GTO-тиристорів, або IGBT-транзисторів.

Особливостями автономних інверторів напруги є живлення від джерела напруги, замикання контуру реактивного струму навантаження через зворотні діоди і незалежність форми кривої напруги на виході інвертора від характеру навантаження. Недоліком АИН є необхідність використання реверсивних випрямлячів для організації рекуперативних режимів роботи електропривода. Однак застосування інверторів напруги дозволяє без ускладнення схеми отримати високі енергетичні показники і забезпечити вихідні струми, близькі до синусоїдальним. Саме це обумовлює широке застосування АИН в сучасному електроприводі. Для побудови силових ключів в області комутованих струмів до 50 А використовуються біполярні транзистори з ізо-



льованим затвором (IGBT) і польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а також низькочастотні і високочастотні діоди і тиристори. Силові біполярні транзистори в діапазоні до 50 А знаходять основне застосування в дешевому промисловому обладнанні. В області комутованих струмів більше 50 А основними використовуваними приладами є силові модулі на базі біполярних транзисторів, тиристорів (GTO, GCT, IGCT). Особливо слід виділити транзисторні і діод-транзисторні модулі, виконані за інтегральною технологією на основі транзисторів типу IGBT. Низькі втрати потужності в ключових режимах, великі значення робочих напруг і струмів, малі часи включень і відключень цих модулів, а також можливість їх використання при паралельній роботі дозволяють створювати потужні і компактні перетворювальні установки з високою частотою комутації напівпровідникових ключів.

Основним елементом систем управління сучасних перетворювачів частоти є спеціалізований мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор (DSP). Побудова системи управління на базі DSP обумовлена необхідністю великого обсягу складних обчислень в режимі реального часу для реалізації сучасних алгоритмів управління. Найбільшою мірою це критично для бездатчикових систем векторного керування.

Система управління може бути одно- або багатопроцесорною. Однопроцесорні системи мають ряд істотних недоліків: до мікроконтролера пред'являються підвищені вимоги по наявності вбудованих периферійних модулів і портів введення-виведення, за швидкодією та обсягом пам'яті; значно ускладнюється розробка програмного забезпечення. Однак при вирішенні завдань управління невисокої складності перевагою однопроцесорних систем є простота апаратної і програмної реалізації.

В даний час більшість перетворювачів будуються на двопроцесорній основі (рис. 2). Перший процесор (ЦП1) виконує основні функції перетворювачів частоти (реалізація алгоритмів управління інвертором, випрямлячем, опитування датчиків і т.д.), другий (ЦП2) забезпечує роботу пульта управління, зв'язок з системою верхнього рівня і інші сервісні функції. Слід зазначити, що розподіл функцій між мікроконтролерами може бути здійснено і іншим способом.

Переваги двопроцесорної системи в порівнянні з однопроцесорною – зниження вимог до ЦП1 і ЦП2 по вбудованій периферії, швидкодії та обсягу пам'яті; можливість застосування єдиного інтерфейсу для зв'язку центрального контролера з пультом управління і з системою автоматизації верхнього рівня; значне спрощення розробки програмного забезпечення для кожного з контролерів. Управління драйверами інвертора здійснюється за допомогою формування шестикана-

льного ШІМ-сигналу з автоматичним додаванням «мертвого часу». У більшості мікроконтролерів модуль ШІМ реалізований апаратно. Для отримання форми вихідної напруги, близької до синусоїдальної (що особливо критично при скалярному керуванні), може використовуватися програмна або апаратна корекція «мертвого часу».

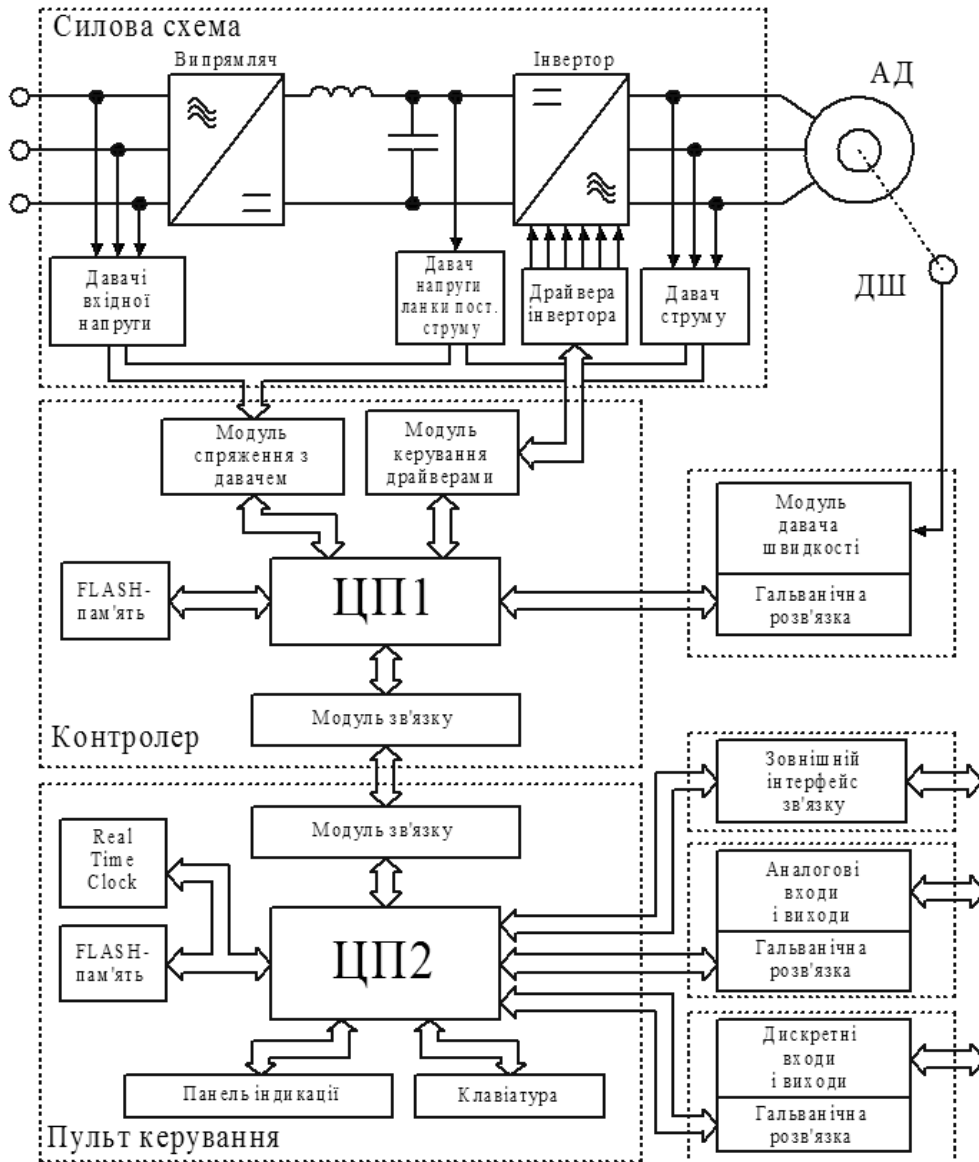


Рис. 2. Система управління перетворювачем частоти.

Управління перетворювачем може здійснюватися за допомогою пульта, дискретних чи аналогових входів. Перетворювачі конструктивно будуються за модульним принципом, що дозволяє вводити в них додаткові функціональні модулі, які в поєднанні з вбудованими програмними засобами дозволяють отримати різну конфігурацію електроприводу, що відповідає вимогам замовника, від найпростіших розімкнених до точних замкнених систем позиціонування. Як правило, та-

кі модулі (плати) розширення містять у своєму складі аналогові й дискретні входи і виходи, а також інтерфейси зв'язку.

*Висновки.* Сучасний асинхронний електропривод динамічно розвивається і характеризується широким спектром пропонованих технічних рішень. У даній статті наведено огляд методів керування, що застосовуються в сучасному регульованому асинхронному електроприводі, дана характеристика типових модулів, що входять до складу силової частини. При підготовці матеріалу статті використовувалися результати аналізу сучасних тенденцій побудови перетворювачів частоти, які пропонуються провідними світовими виробниками.

#### Література

1. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник / Г.Г. Соколовский. – М.: АCADEMIA, 2006. – 265 с.
2. *Хусаинов Р.* Частотники: критерии выбора / Р.Хусаинов // Конструктор. Машиностроитель. – 2008. – №12.
3. *Карлов Б. , Есин Е.* Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация / Б.Карлов, Е. Есин. // Силовая электроника. – 2004. – №1.

### **МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ**

Квитка С.А., Безменникова Л.Н., Вовк А.Ю., Квитка А.С.

#### *Аннотация*

**Рассмотрены методы управления и аппаратную реализацию преобразователей частоты электроприводов переменного тока.**

### **MANAGEMENT METHODS AND HARDWARE OF MODERN FREQUENCY TRANSFORMERS**

S. Kvitka, L. Bezmennikova, O. Vovk, A. Kvitka

#### *Summary*

**There were considered management methods and hardware of frequency transformers of electric drives on alternating current.**

УДК 621.313.333.2

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ТЕПЛОВЫЙ ИЗНОС ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПОСЛЕПУСКОВОЙ ПЕРИОД

Овчаров С.В., к.т.н.

Стребков А.А., инженер\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

тел. (0619)42-32-63

**Аннотация** – исследован дополнительный тепловой износ изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период в функции режимных параметров.

**Ключевые слова** – тепловой износ изоляции, послепусковой период, кратность загрузки рабочей машины, температура окружающей среды, кратность напряжения на зажимах электродвигателя.

*Постановка проблемы.* В послепусковой период в условиях соизмеримой мощности изоляция асинхронных электродвигателей подвергается дополнительному износу. Величина дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период зависит от многих режимных параметров при пуске электродвигателя и в период его остывания: отношения момента инерции системы «электродвигатель - рабочая машина» к номинальному моменту электродвигателя, кратности загрузки рабочей машины, температуры окружающей среды, кратности напряжения на зажимах электродвигателя.

*Анализ последних достижений.* В работе [1] найдена зависимость дополнительного теплового износа изоляции в функции отношения момента инерции системы «электродвигатель - рабочая машина» к номинальному моменту электродвигателя, однако не учтены при этом режимные параметры.

*Формулировка целей статьи.* Поэтому целью статьи является исследование дополнительного расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период в функции режимных параметров.

*Основная часть.* Учитывая сравнительную скоротечность процесса нагрева обмотки при пуске, можно принять, что обмотка дости-

---

\* Научный руководитель: д.т.н. Овчаров В.В.

© к.т.н. Овчаров С.В., инженер Стребков А.А.

гает максимального превышения температуры в момент времени  $t = 0$ . В послепусковой период охлаждения обмотки до номинального значения скорость изменения температуры будет небольшой в соответствии с кривой охлаждения

$$\tau = \tau_n \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_m e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – текущее превышение температуры обмотки, °С;

$t$  – текущее время, с;

$\tau_n$  – номинальное превышение температуры обмотки, °С;

$T$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, с;

$\tau_m$  – максимальное превышение температуры обмотки в конце пуска, °С.

Представим графики остывания обмотки электродвигателя (рис. 1) и скорости теплового износа изоляции в послепусковой период (рис. 2).

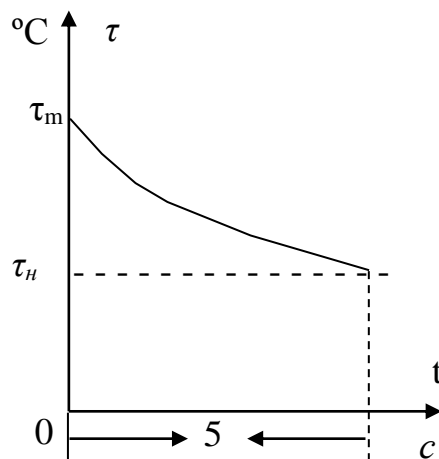


Рис. 1

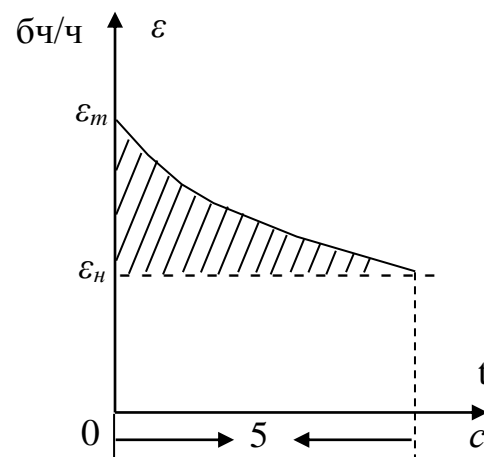


Рис. 2

Дополнительный тепловой износ изоляции в послепусковой период происходит на интервале времени от нуля до  $5T$  и может быть найден по выражению

$$E_{\text{дон}} = \int_0^{5T} \varepsilon dt - 5T \varepsilon_n, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – скорость теплового износа изоляции в послепусковой период опишется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left( \frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\tau_n (1 - e^{-t/T}) + \tau_m e^{-t/T} + \vartheta_{cp} + 273} \right)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – текущая скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

$\varepsilon_n$  – номинальная скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

$B$  – параметр, характеризующий класс изоляции, К;

$\Theta_n$  – абсолютная номинальная температура изоляции, К;

$\vartheta_{cp}$  – температура окружающей среды, °С.

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции обмотки при заданном максимальном превышении температуры обмотки и известном значении постоянной времени нагрева электродвигателя типоразмера 4А100S2У3, для которого  $T = 1840$  с. Принимаем  $\vartheta_{cp} = 40^\circ\text{C}$ . Изоляция класса В указанного электродвигателя характеризуется следующими параметрами:  $B = 10200$  К,  $Q_n = 403$  К,  $\tau_n = 90$  °С,  $\varepsilon_n = 16\text{ч/ч}$ . Разбиваем зависимость  $\varepsilon = f(t)$  на 50 участков. Принимаем длительность каждого участка  $t_i = 184$  с. Тогда  $t_i/T = 0,1$ .

Введём обозначение:  $e^{-\frac{t_i}{T}} = \varepsilon$ . Находим значение  $\varepsilon = 0,9$ . Тогда превышение температуры обмотки на  $i$ -ом участке равно

$$\tau_i = \tau_n(1-\varepsilon) + \tau_{i-1}\varepsilon \quad (4)$$

Для первого участка

$$\tau_1 = \tau_n(1-\varepsilon) + \tau_m\varepsilon, \quad (5)$$

максимальное превышение температуры обмотки в конце пуска, принимаем равным  $164,6$  °С. [1]

Для второго участка

$$\tau_2 = \tau_n(1-\varepsilon) + \tau_1\varepsilon \quad (6)$$

и так далее.

Для указанного электродвигателя:

$$\tau_i = 9 + 0,9\tau_{i-1}. \quad (7)$$

Расчет дополнительного теплового износа изоляции проведем для электродвигателя типоразмера 4А100S2У3, со следующими каталожными данными:  $P_{2n} = 4$  кВт;  $\eta_n = 0,865$ ;  $\cos\varphi_n = 0,89$ ;  $R'_1 = 1,509$  Ом;  $X'_1 = 1,537$  Ом;  $R''_2 = 1,006$  Ом,  $X''_2 = 2,767$  Ом;  $R_1 = 1,485$  Ом;  $X_1 = 1,513$  Ом,  $X_\mu = 95$  Ом;  $U_n = 220$  В;  $s_n = 0,033$ ;  $s_k = 0,28$ ;  $s_m = 0,8$ ;  $\mu_{mn} = 2,0$ ;  $\mu_{mn} = 1,6$ ;  $\mu_{kn} = 2,5$ , при следующих параметрах:  $k_{u1} = 0,9$ ;  $k_3 = 1$ ;  $I/M_n = 0,08$  с<sup>2</sup>;  $\vartheta_{cp} = 40^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{нач} = 0^\circ\text{C}$ .

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период в функции температуры окружающей среды, то есть  $E_{don} = f(\vartheta_{cp})$  при  $k_{u1} = 0,9 \div 0,96$ . Результаты расчетов представляем на рис. 3.

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период в функции коэффициента загрузки, то есть  $E_{don} = f(\kappa_3)$  при  $k_{u1} = 0,9 \div 0,96$ . Результаты расчетов представляем на рис. 4.

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период в функции температуры окружающей среды, то есть  $E_{don} = f(\vartheta_{cp})$  при  $\kappa_3 = 0,9 \div 1$ . Результаты расчетов представляем на рис. 5.

бч  $E_{don}$

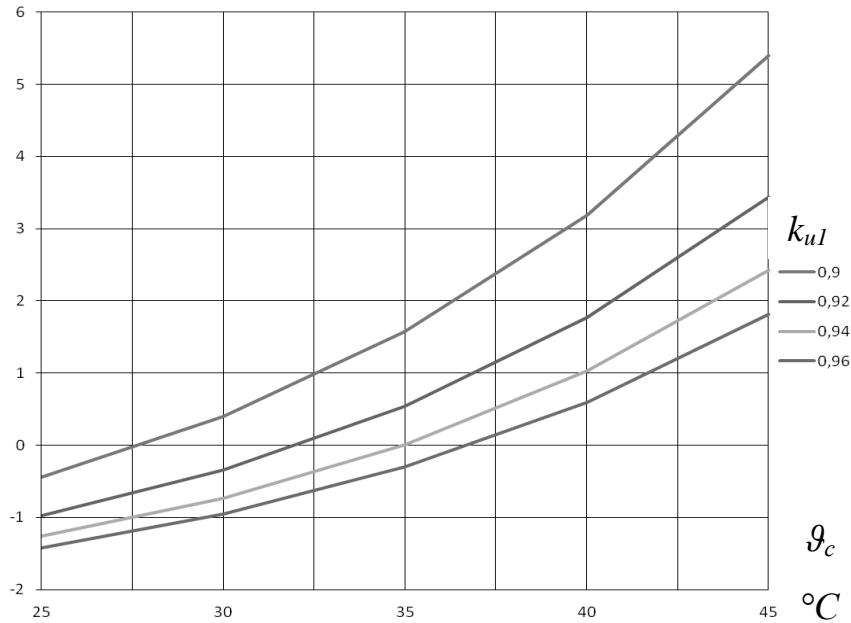


Рис. 3. Зависимость  $E_{дон} = f(t_{cp})$  при  $k_{u1} = 0,9 \div 0,96$ .

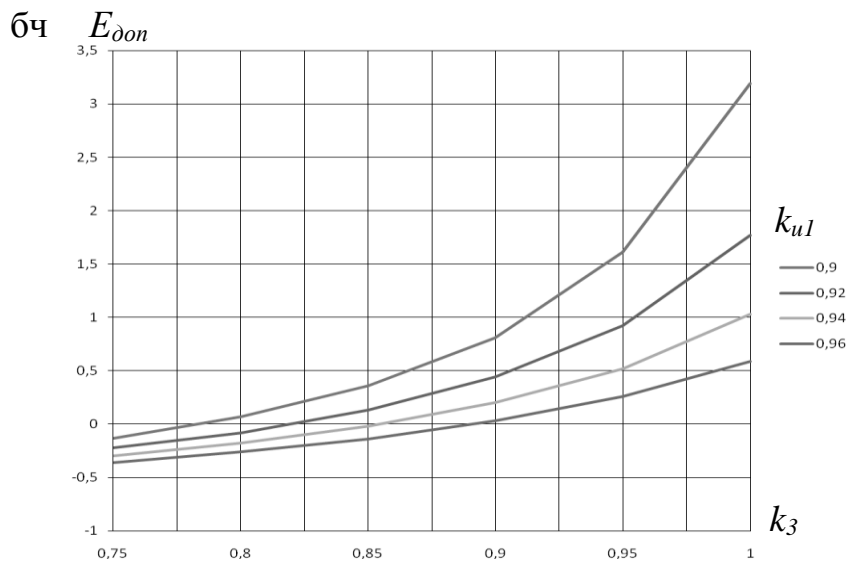
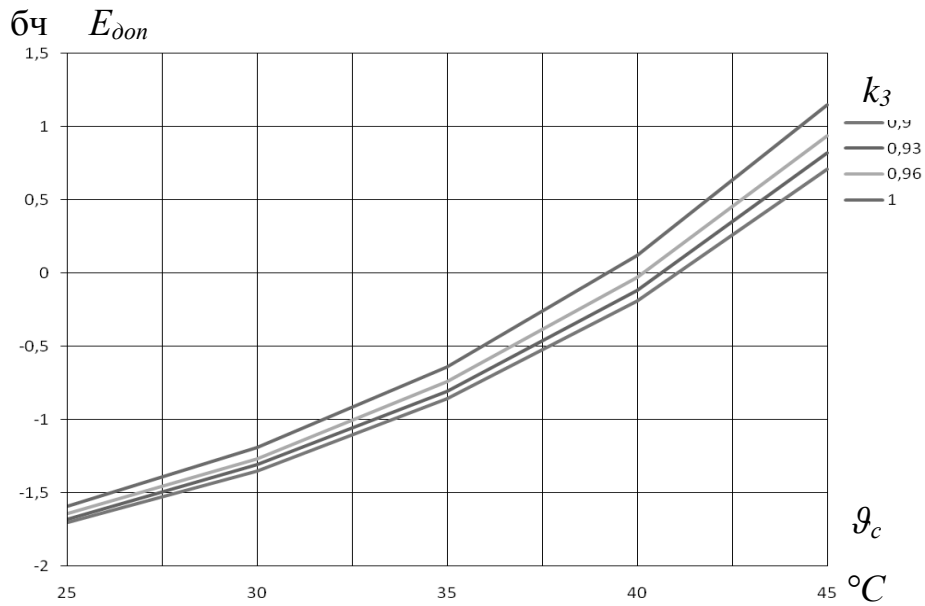
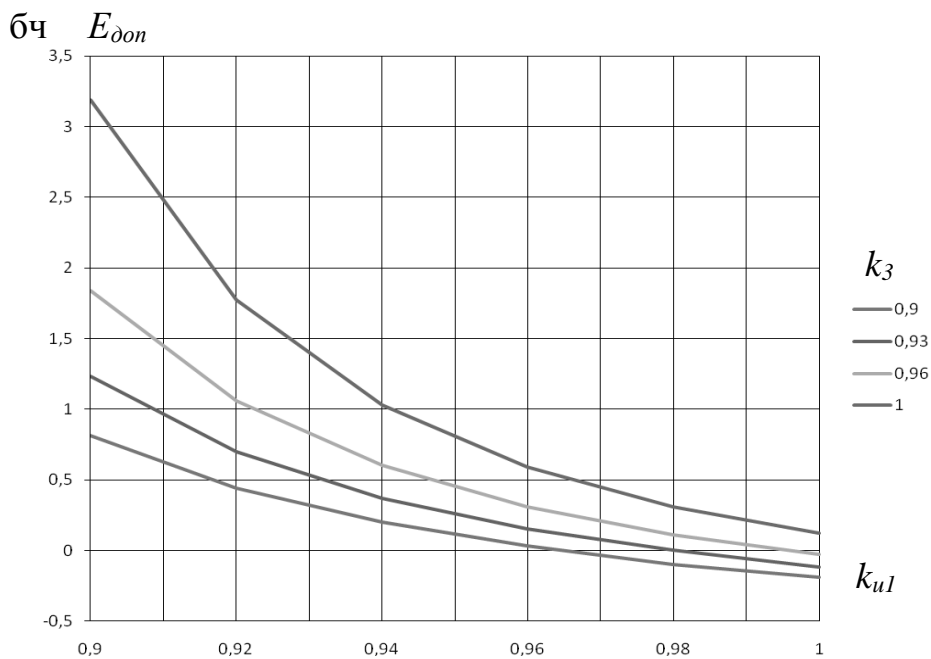


Рис. 4. Зависимость  $E_{дон} = f(k_3)$  при  $k_{u1} = 0,9 \div 0,96$ .

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период в функции кратности питающего напряжения, то есть  $E_{дон} = f(k_{u1})$  при  $k_3 = 0,9 \div 1$ . Результаты расчетов представляем на рис. 6.

Исследуем зависимость дополнительного теплового износа изоляции в послепусковой период в функции кратности питающего напряжения, то есть  $E_{дон} = f(k_{u1})$  при  $t_{cp} = 30 \div 40^\circ\text{C}$ . Результаты расчетов представляем на рис. 7.

Рис. 5. Зависимость  $E_{дон} = f(\vartheta_{cp})$  при  $\kappa_3 = 0,9 \div 1$ .Рис. 6. Зависимость  $E_{дон} = f(K_{u1})$  при  $\kappa_3 = 0,9 \div 1$ 

**Выводы.** Таким образом, дополнительный тепловой износ изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период является сложной функцией режимных параметров в пусковой и послепусковой периоды: кратности загрузки рабочей машины, температуры окружающей среды, кратности напряжения на зажимах электродвигателя.

#### Литература

1. Овчаров С.В. Аналитическое исследование расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период/ С.В. Ов-



чаров, О.А. Стребков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.12. Т. 2 – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – 243 с.

2. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / Киев: Изд-во УСХА, 1990. – 168 с.

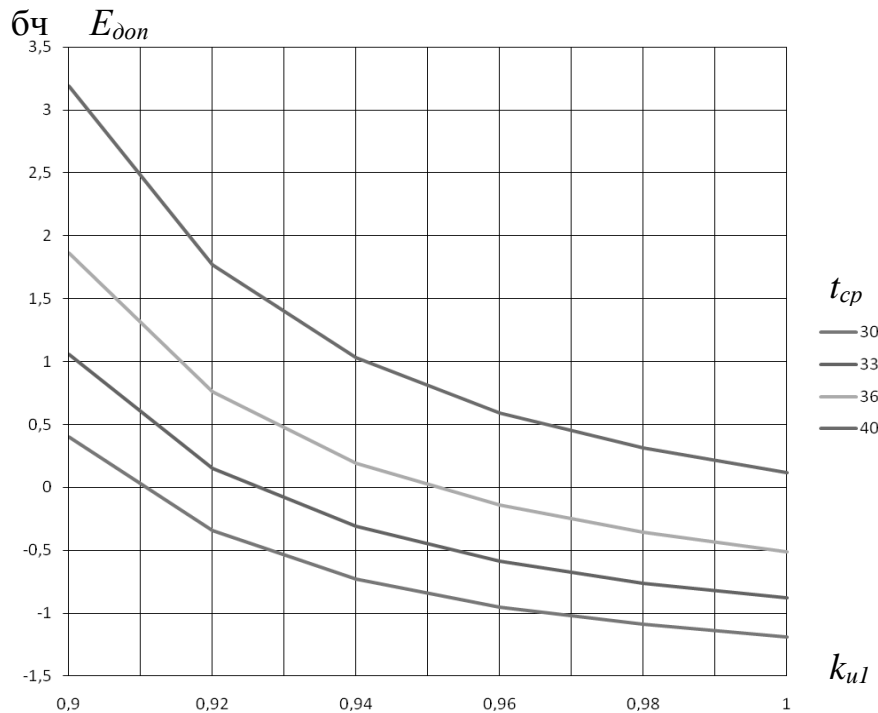


Рис. 7. Зависимость  $E_{дон} = f(k_{u1})$  при  $t_{cp} = 30 \div 40^\circ\text{C}$ .

## ДОДАТКОВИЙ ТЕПЛОВИЙ ЗНОС ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ПІСЛЯПУСКОВИЙ ПЕРІОД

С.В. Овчаров, О.О. Стребков

### Анотація

Досліджено додатковий тепловий знос ізоляції асинхронного електродвигуна в післяпусковий період в функції режимних параметрів.

## THE ADDITIONAL HEAT EXPENSE OF RESOURCE ISOLATION OF ASYNCHRONOUS MOTOR IN AFTERSTARTING PERIOD

S. Ovcharov, A. Strebkov

### Summary

The additional heat expense of resource isolation of asynchronous motor in after starting period as a function of operating parameters is researched.

УДК 621.311

## МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ВИЩИХ ГАРМОНІК СТРУМУ

Катюха А.А., к.т.н.,

Сілі І.І., магістр.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (066) 341-29-42

**Анотація** - в науковій роботі розглянуто основні методи та пристрої, які слід застосовувати в мережах 0,4 кВ для зменшення негативної дії вищих гармонік струму.

**Ключові слова** – вищі гармоніки струму, лінійний дросель змінного струму, генератор струму, активний фільтр гармонік.

*Постановка проблеми.* Майже все сучасне обладнання є нелінійним навантаженням для мережі, і частка такого нелінійного навантаження в електромережі 220 В/50 Гц безперервно збільшується. Через велике спотворення форми синусоїди страждають всі споживачі електроенергії. На сучасному етапі розвитку перетворювальної техніки існує декілька підходів до компенсації вищих гармонік активної та реактивної потужності у трифазних мережах, які мають певні переваги та недоліки.

*Аналіз останніх досліджень.* Спотворена крива струму або напруги може бути розкладена на фундаментальну синусоїду (50 Гц) і суму певної кількості частот кратних 50 Гц. Сума певної кількості частот, які можуть бути додані до синусоїди 50 Гц для отримання існуючої форми струму або напруги і називається гармоніками. Відповідно при зміні їх амплітуди, фази та частоти змінюється крива струму або напруги як результат синтезу гармонік.

*Формулювання цілей статті.* Визначити основні методи та пристрої для компенсації вищих гармонік струму в мережах 0,4 кВ та можливість їх застосування в мережах електропостачання.

*Основна частина.* Для зменшення впливу вищих гармонік на електрообладнання, перш за все, необхідно знати джерело і природу їх виникнення, а також зону їх дії. Причому, слід чітко розділяти виникнення вищих гармонік або в струмі, або в напрузі, або в струмі й напрузі одночасно.

Джерелами вищих гармонік можуть бути потужні однофазні приймачі, до яких, наприклад, відносяться електричні печі, комп'ютери і т.п. Ці приймачі можуть вносити і несиметрію в напругу трифазної системи. Крім цього, джерелами вищих гармонік можуть бути: електрозварювальні установки, системи освітлення із застосуванням газорозрядних і флуоресцентних ламп, а також, але в меншій мірі, обертові машини.

Існуючі методи та засоби можна об'єднати в три групи: пасивні фільтри, розділові або ізолюючі трансформатори і активні пристрої.

Лінійний дросель змінного струму - монтується у складі схеми вироблених імпульсних джерел живлення і є одним з варіантів придушення вищих гармонік і найпростішим пасивним коректором коефіцієнта потужності. Зниження коефіцієнта потужності в електромережах може бути викликано не тільки реактивною складовою струму, але і наявністю в мережах вищих гармонік. Існуючі конденсаторні установки компенсації реактивної складової не можуть вирішити цю проблему, тому що це пов'язано з нелінійністю споживання струму, тобто з вищими гармоніками і з так званою «потужністю спотворень». Дросель, що має великий індуктивний опір і включений послідовно з нелінійним навантаженням - один з варіантів придушення вищих гармонік. Він має малий індуктивний опір для основної частоти 50 Гц і великий опір для вищих гармонік. Що і призводить до їх ослаблення в кілька разів. Ефективність дії дроселя залежить від співвідношення потужності живильного трансформатора, потужності навантаження і параметрів дроселя [1].

Активний коректор коефіцієнта потужності представлено на рис. 1. Він так само монтується в складі серійних імпульсних блоків живлення й більш ефективний, порівняно з дроселем. Підвищення коефіцієнта потужності здійснюється за рахунок придушення в блоках живлення вищих гармонік.

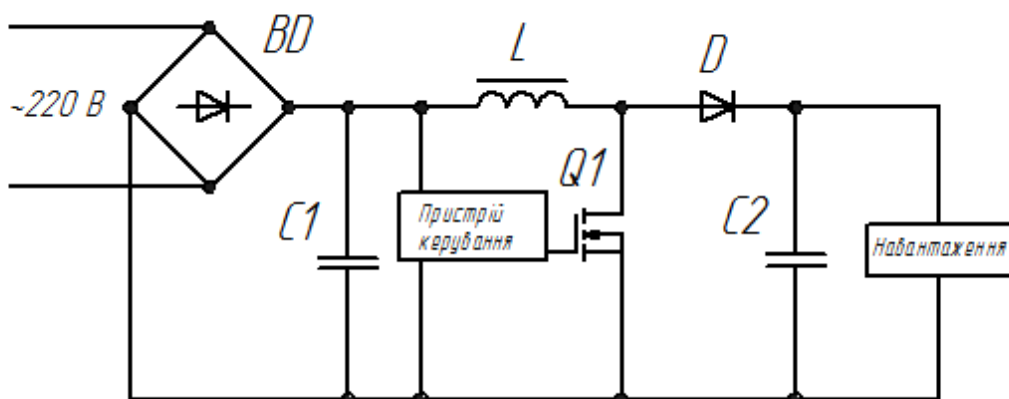


Рис. 1. Схема активного коректора коефіцієнта потужності.

Принцип дії полягає в забезпеченні рівномірного навантаження на всю синусоїду напруги живлення, за рахунок багаторазового (з частотою 50 ... 100 кГц) відбору потужності від напівхвилі напруги і забезпечення цим збігу синусоїд струму навантаження і напруги. Для реалізації цієї ідеї, у схемі застосовані, пристрій керування, дросель  $L$  і ключ  $Q1$ . Якщо забезпечити синхронне керування ключем за певним законом, то струм через дросель можна максимально наблизити до синусоїдальної форми [2]. Графік роботи активного коректора потужності представлено на рис. 2.

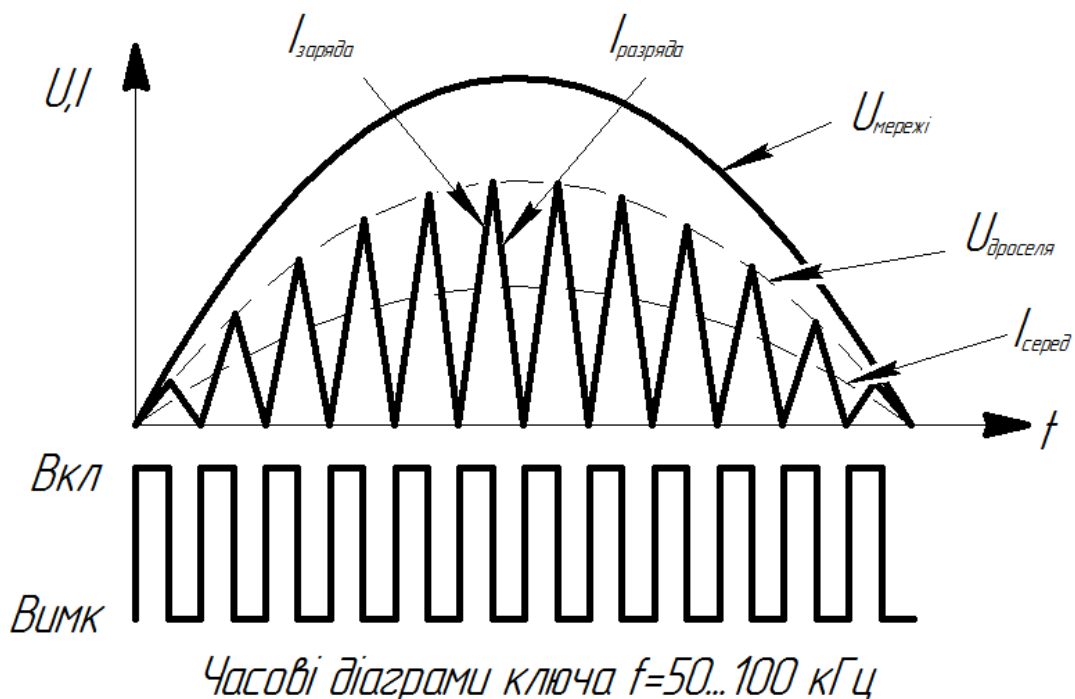


Рис. 2. Графік роботи активного коректора потужності.

Пасивні фільтри – являють собою контур, що складається з послідовно з'єднаних індуктивності (реактора) і ємності, включаються паралельно нелінійному навантаженню. Ці фільтри налаштовані на частоту гармонік, яку вони пригнічують, зазвичай це гармоніки з 3 по 15. Принцип їхньої роботи заснований на резонансі напруг. На частоті гармоніки, яку необхідно зменшити, індуктивні та ємнісні опору фільтра рівні і в ланцюзі діє низький опір для даної гармоніки, від чого струм даної частоти шунтується. Основними недоліками таких фільтрів, є їх висока вартість, висока чутливість і необхідність застосування окремого фільтра, на кожен гармоніку [2].

Активні фільтри гармонік. Їх ще називають активними кондиціонерами гармонік (Active Harmonic Conditioner АНС). Якщо пасивні фільтри гасять одну або кілька гармонік, використовуючи резонанс

напруг, то АФГ пригнічують весь спектр гармонік, від 2-ї до 25-ої. Це дуже важливо, оскільки спектр гармонік в мережах безперервно змінюється і часто не передбачуваний.

Принцип роботи АФГ полягає в наступному: трансформатор струму вимірює вміст гармонік в струмі навантаження, і керує генератором струму, який генерує точну копію гармонік, але з протилежного фазою, яка подається в мережу і компенсує весь спектр вищих гармонік. АФГ компенсує близько 90% гармонік. Різні моделі АФГ можуть компенсувати струми вищих гармонік амплітудою від 20 до 120 А. Активний фільтр гармонік представлено на рис. 3.

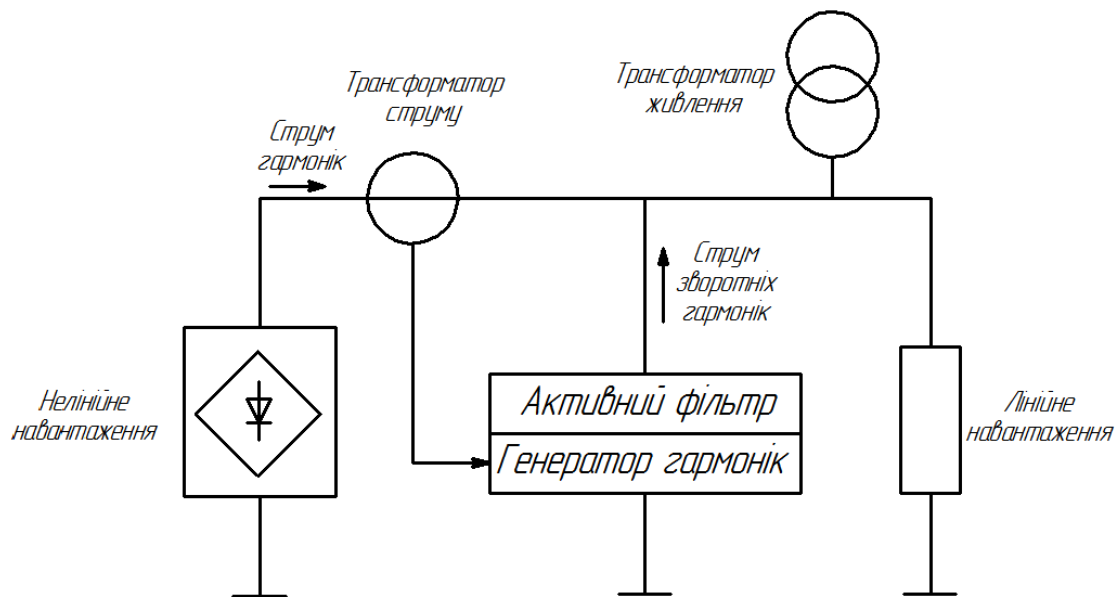


Рис. 3. Схема активного фільтра гармонік

Це найкращий спосіб придушення шкідливих гармонік. Для більш ефективного придушення гармонік, іноді застосовують гібридний АФГ. Він відрізняється від звичайного АФГ тим, що в нього додано пасивний фільтр, налаштований на одну з найнебезпечніших, для даної мережі, вищу гармоніку. Цим досягається велика надійність роботи АФГ. Для досягнення більшої ефективності та надійності роботи АФГ, фахівці рекомендують встановлювати їх як можна ближче до нелінійного навантаження по декілька на одну гілку електромережі або в груповий щит [3].

*Висновки.* Існуючі методи та пристрої пропонують алгоритми компенсації вищих гармонік активної, реактивної потужності, струмів зворотної та нульової послідовності. Результативність їх застосування визначається як формою сигналів мережі живлення, так і параметрами, і ступенем нелінійності навантаження. Однак розглянуті методи компенсації не забезпечують повну компенсацію вищих гармонік

струму при несиметричних і несинусоїдних напругах мережі живлення та несиметрії або нелінійності параметрів навантаження. Для більш кращого захисту від вищих гармонік струму слід аналізувати окремо кожен мережу на наявність вищих гармонік.

#### Література

1. *Климов В.П.* Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания / *В.П. Климов, А.Д. Москалев* [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.tensy.ru/article01.html> – название с экрана.

2. *Григорьев О.А.* Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / *О.А. Григорьев, В.Н. Петухов, В.В. Соколов, И.Г. Красилов* [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.tesla.ru> – название с экрана.

3. *Власюк Н.В.* Искажения напряжения в электросети с нелинейной нагрузкой – новая проблема энергетиков / *Н.В. Власюк* // *Электрик.* – №7-8. – 2012. – С.70.

## МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА

Катюха А.А., Сили И.И.

### *Аннотация*

**В научной работе рассмотрены основные методы и устройства, которые следует применять в сетях 0,4 кВ для уменьшения негативного воздействия высших гармоник тока.**

## METHODS AND DEVICES OF COMPENSATION THE ULTRAHARMONICS CURRENT

A. Katyuha, I. Sili

### *Summary*

**The basic methods and devices which should be applied in 0,4 kV electrical power networks to reduce the negative impact of the ultraharmonics current.**

УДК 631.354:633.1

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО ЗЕРНА В ОЧЕСАННОМ ВОРОХЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Леженкин И.А., аспирант\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

тел. (0619) 42-05-70

**Аннотация** – в статье дается анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы, а также приводится кривая плотности распределения вероятностей содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы.

**Ключевые слова** – фракционный состав, свободное зерно, озимая пшеница, очесанный ворох, статистические характеристики, плотность распределения.

*Постановка проблемы.* Как известно технология очесывания растений на корню имеет ряд преимуществ перед традиционной комбайновой технологией уборки зерновых. Однако ее широкое внедрение сдерживается из-за ряда причин. Основной из них является отсутствие технических средств для доработки очесанного вороха. Данный процесс включает в себя ряд операций, первой из которых является сепарация [1]. На сегодняшний день нет серийно выпускаемых сепараторов очесанного вороха. Для разработки технологической схемы, обоснования рабочих органов, параметров и режимов работы сепаратора очесанного вороха необходимо знать фракционный состав очесанного вороха. В связи с чем возникает проблема исследования состава очесанного вороха.

*Анализ публикаций.* В работе [2] изложены основы очесывания растений на корню. Исследование фракционного состава очесанного вороха приведены в работах Гончарова Б.И. [3], Данченко Н.Н. [4], Повиля В.М. [5]. Анализ фракционного состава очесанного вороха риса дается в работах [6, 7]. Все перечисленные работы посвящены исследованию фракционного состава риса. Фракционный состав зерновых колосовых коренным образом отличается от фракционного состава риса, поэтому возникает необходимость дальнейших исследований.

*Формулировка целей статьи.* Исследовать содержание свободного зерна в очесанном ворохе зерновых и вычислить его основные статистические характеристики.

---

\* Научный руководитель: д.т.н. Шацкий В.В.

© аспирант Леженкин И.А.

*Основная часть.* При уборке зерновых уборочными машинами с очесывающими рабочими органами получается очесанный ворох, состоящий из свободного зерна, соломы, половы и оборванных колосков. Для определения содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы в полевых условиях отбирались пробы, которые затем в лаборатории разбирались на отдельные фракции, при этом объем выборки составлял 50 значений. Полученные результаты были обработаны с использованием методов теории вероятностей [8] и математической статистики. Были вычислены среднее арифметическое значение и среднеквадратическое отклонение, а также коэффициент вариации содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы, для чего были использованы формулы [8]

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{N-1}}, \quad \gamma = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – среднее значение;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

$V$  – коэффициент вариации;

$N$  – объем выборки.

Относительно невысокое значение коэффициента вариации свидетельствует о том, что значения содержания свободного зерна имеют несущественный разброс относительно среднего значения. Для анализа достоверности определения среднего арифметического были рассчитаны абсолютная и относительная ошибки по формулам [8]

$$\Delta X = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad \delta X = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $\Delta X$  – абсолютная ошибка определения среднего арифметического;

$\delta X$  – относительная ошибка (показатель точности определения среднего арифметического).

Расчет по формулам (2) показал, что абсолютная ошибка составляет  $\Delta X = 1,13\%$ , а относительная ошибка равна  $\delta X = 2,1\%$ , так как относительная ошибка  $\delta X < 5\%$ , то можно сделать вывод о достоверности полученных результатов. Для построения кривой плотности распределения значений содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы вычислим величину классового интервала по формуле [8]

$$\lambda = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k}, \quad (3)$$

где  $X_{\max}$  – наибольшее значение содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы;

$X_{\min}$  – минимальное значение содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы;

$k$  – число классов, выбирается согласно рекомендаций [8],

$k = \sqrt{N} = 7$ .



В результате расчета получено, что классовой интервал составляет 6%. По соотношению  $P_i = \frac{n}{N}$ , определяем частоты, результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение частот по классам

Граница классов, %	39	45	51	57	63	69	75	81
Количество измерений в классе, $n$ ( $\sum n = 50$ )	1	15	17	9	5	2	1	
Частота, $P_i$	0,02	0,3	0,34	0,18	0,1	0,04	0,02	
$P_i / \lambda$	0,0033	0,05	0,056	0,03	0,016	0,0066	0,003	

По данным таблицы 1 строим экспериментальную кривую плотности распределения содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы (рис. 1). Для построения теоретической кривой плотности распределения содержания свободного зерна в очесанном ворохе используем выражение [8]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(\bar{X}-x_i)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

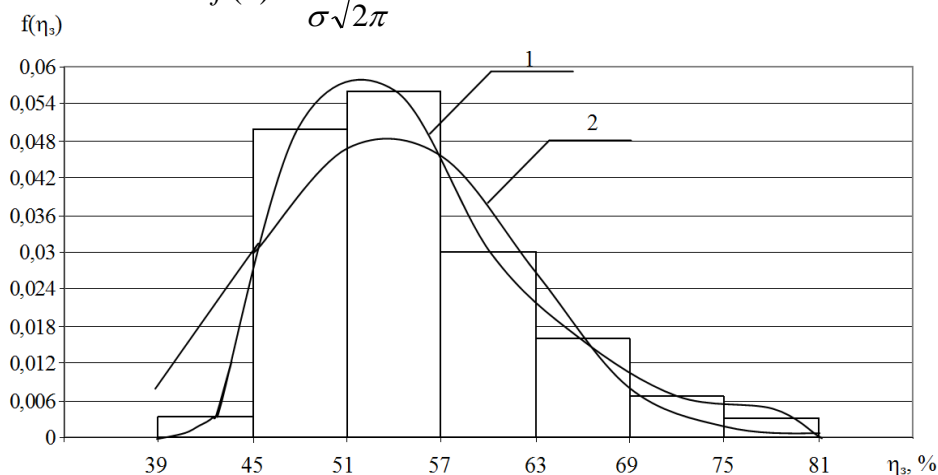


Рис. 2. Плотность распределения содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы: 1 – экспериментальная кривая плотности распределения; 2 – теоретическая кривая плотности распределения.

Подставляя значения среднего арифметического  $\bar{X}$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma$  в формулу (4) получим точки теоретической кривой (табл. 2).

Используя данные табл. 2, строим теоретическую кривую плотности распределения содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы. Проверку адекватности полученного закона распределения выполним по критерию Пирсона [9]

$$\chi_{\mathcal{G}}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{[P_i(\eta_3) - f_i(\eta_3)]^2}{f(\eta_3)}, \quad (5)$$

где  $P_i(\eta_3)$  – частота экспериментального ряда, приходящаяся на классовый промежуток (табл. 1);

$f(\eta_3)$  – точки кривой теоретической плотности распределения.

После подстановки в формулу (5) исходных данных получаем, что  $\chi_{\mathcal{G}}^2 = 0,03$ . Согласно [9] значение  $\chi_T^2 = 1,145$ . Следовательно  $\chi_T^2 > \chi_{\mathcal{G}}^2$ , значения содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы подчиняется нормальному закону. Статистическая модель содержания свободного зерна в очесанном ворохе имеет вид

$$f(\eta_3) = 0,05 \times e^{-\frac{(53,77 - \eta_{3i})^2}{127}}. \quad (6)$$

Таблица 2 – Результаты расчетов теоретической кривой плотности распределения содержания свободного зерна

Граница классов, %	39	45	51	57	63	69	75	81
$f(\eta_3)$	0,009	0,03	0,047	0,046	0,026	0,008	0,0014	0,0001

#### Выводы.

1. Выявлено, что среднее значение содержания свободного зерна в очесанном ворохе составляет 53,77%, при этом относительная погрешность определения среднего арифметического равна  $\delta_x = 2,1\%$ , т.е. среднее значение определено с достаточной точностью т.к.  $\delta_x < 5\%$ .

2. Установлено, что среднеквадратическое отклонение содержания свободного зерна в очесанном ворохе составляет  $\sigma = 7,97\%$ , а коэффициент вариации  $V = 14,82\%$ .

3. Распределение значений содержания свободного зерна в очесанном ворохе подчиняется нормальному закону, проверка по критерию Пирсона показала, что  $\chi_T^2 > \chi_{\mathcal{G}}^2$ .

4. Статистическая модель содержания свободного зерна в очесанном ворохе имеет вид:  $f(\eta_3) = 0,05 \times e^{-\frac{(53,77 - \eta_{3i})^2}{127}}$ .

#### Литература

1. Леженкін І.О. Доробка обчисаного вороху зернових на фураж / І.О. Леженкін // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2012. – Вип. 16(30) кн. 1. – С.437-441.

2. Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота

зерновых культур на корню: дис. д-ра техн. наук / П.А. Шабанов. – Мелитополь: МИМСХ, 1988. – 336 с.

3. Гончаров Б.И. Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис. канд. техн. наук / Б.И. Гончаров. – М.: 1982. – 217 с.

4. Данченко Н.Н. Обоснование щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дис. канд. техн. наук / Н.Н. Данченко. – Челябинск: 1983. – 15 с.

5. Повиляй В.М. Исследование процесса уборки селекционных посевов риса методом очесывания метелок на корню и обоснование параметров очесывающего устройства: дис. канд. техн. наук / В.М. Повиляй. – Краснодар: 1980. – 165 с.

6. Данченко Н.Н. Особенности физико-механических свойств очесанного вороха риса и технологические требования на его доработку / Н.Н. Данченко, В.Н. Шкиндер // Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин. – К.: УСХА, 1989. – С.63-70.

7. Аблогин Н.Н. Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очесанного вороха риса: дис. канд. техн. наук / Н.Н. Аблогин. – Мелитополь: ТГАТА, 1997. – 215 с.

8. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Изд. Физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

9. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров и проверка гипотез / А.А. Боровков. – М.: Наука, 1984. – 472 с.

## СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗМІСТУ ВІЛЬНОГО ЗЕРНА У ОБЧІСАНОМУ ВОРОСІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Леженкін І. О.

### *Анотація*

У статті дається аналіз змісту вільного зерна у обчисаному воросі озимої пшениці, а також наводиться щільність розподілу вільного зерна в обчисаному воросі озимої пшениці.

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE CONTENT FREE GRAIN PILE WINTER WHEAT

I. Lezhenkin

### *Summary*

This article provides an analysis of free grain heap of wheat, and the curve is the probability density function of the free content of grain pile of winter wheat.

УДК 621. 548

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Михайленко Е.Ю., инженер.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-24-36

**Аннотация** – предлагается классификация ветроустановок по расположению ветроколеса относительно оси вращения и применение трех основных видов их в Украине. Даны рекомендации для проектирования ветроэнергетических установок.

**Ключевые слова** – возобновляемая энергетика, ветроустановка, коэффициент использования энергии ветра, отбор мощности.

*Постановка проблемы.* Новый критерий оценки экономического развития стран, появившийся в последние десятилетия, – это доля энергии, выработанной из нетрадиционных и возобновляемых источников.

Уже на протяжении нескольких тысячелетий человек использует энергию ветра для своих нужд. Ветер надувал паруса кораблей, заставлял работать ветряные мельницы. Кинетическая энергия ветра всегда была и остается доступной практически во всех уголках Земли. Энергия ветра привлекательна и с точки зрения экологии: при ее использовании нет выбросов в атмосферу, нет опасных радиоактивных отходов. Ветер, как первичный источник энергии, ничего не стоит.

*Анализ последних достижений.* Для получения энергии ветра применяют самые разные конструкции. Многолопастные «ромашки»; винты вроде самолетных пропеллеров с тремя, двумя и даже одной лопастью (тогда у нее есть груз-противовес). Вертикальные роторы, напоминающие разрезанную вдоль и насаженную на ось бочку. Некое подобие «вставшего дыбом» вертолетного винта: наружные концы его лопастей загнуты вверх и соединены между собой. Встречаются и совсем оригинальные решения – по кольцу из рельсов бегают тележка с парусом, и ее колеса приводят в действие электрогенератор. В общем, конструктивных решений ветродвигателей существует великое множество [1].

*Формулировка цели статьи.* В настоящее время существует большое количество типов ветроустановок (ВУ). Классифицировать ВУ по видам, выполняемой работы, по расположению ветроколеса,

относительно направления ветра, по количеству вырабатываемой мощности. При проектировании ВУ необходимо учитывать их особенностей.

*Основная часть.* В последние 20-25 лет бурно развивается использование ветроэнергетики для производства электрической энергии. Современные ветроэнергетические установки имеют мощность от единиц киловатт до нескольких мегаватт и позволяют экономически эффективно с высокой степенью надежности преобразовывать энергию ветра.

ВЭУ могут использоваться для различных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей (АБ) и энергоснабжения различных объектов (дома, фермы и пр.) до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения. ВИЭ могут быть использованы в сфере сельского хозяйства, что будет способствовать повышению надежности энергообеспечения, экологической чистоте и повышению продуктивности сельскохозяйственного производства Украины.

По данным Института возобновляемой энергетики НАН Украины, из 19651 МВт электрогенерирующих мощностей Европы, установленных в 2008 году, по видам источников энергии первое место занимает ветер (8484 МВт). На долю электростанций, использующих газ, приходится 6932 МВт, нефть – 2495, уголь – 762, гидроресурсы – 473 и ядерное топливо – всего 60 МВт.

Мировое лидерство в развитии ветроэнергетики принадлежит Германии, где к началу 2009 года установленная мощность ВЭС достигла 23903 МВт. Если верить долгосрочному прогнозу Института возобновляемой энергетики, к 2030 году в ФРГ будут выведены из эксплуатации атомные электростанции, а производство электричества из возобновляемых источников энергии достигнет 38% валового. В том числе на ВЭС – 17%, или 80 млрд. кВт·ч [2].

Ветроэнергетические установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра. В настоящее время известно много различных типов ВЭУ. Основное распространение получили крыльчатые установки с горизонтальной осью вращения. Скорость вращения этого ветродвигателя обратно пропорциональна количеству лопастей, поэтому широкое распространение получили агрегаты, имеющие две, либо три лопасти. Чем больше мощность, тем больше размер лопастей. Для эффективной работы этой ВЭУ необходимо поднять ее на высоту не меньше 10 метров, поставить устройство для поворота ротора вдоль линии силы ветра. Также недостатком являются вибрационные нагрузки ротора из-за переменной скорости по высоте ротора, они дороги и сложны в эксплуатации. Научными исследованиями установлено, что они являются источником инфразвука  $< 20$  Гц.



Рис. 1. Классификация ветроустановок по расположению ротора:  
1 – горизонтальная ось вращения; 2 – вертикальная ось вращения;  
3 – ортогональный ветродвигатель.

Другой разновидностью ветроколеса является ротор Савониуса. Вращающий момент возникает при обтекании ротора потоком воздуха за счет разного сопротивления выпуклой и вогнутой частей ротора. Колесо отличается простотой, но имеет очень низкий коэффициент использования энергии ветра – всего 0,1-0,15.

Ветродвигатель с ротором Дарье – этот ротор имеет вертикальную ось вращения и состоит из двух – четырех изогнутых лопастей. В роторе Дарье коэффициент использования энергии ветра достигает значений 0,30-0,35.

Ортогональные ветроагрегаты перспективны для большой энергетики. Сегодня перед пользователями ортогональных конструкций стоят определенные трудности. Среди них – проблема запуска. В ортогональных установках используется тот же профиль крыла, что и в дозвуковом самолете. Самолет, прежде чем «опереться» на подъемную силу крыла, должен разбежаться. Так же обстоит дело и в случае с ортогональной установкой. Сначала к ней нужно подвести энергию – раскрутить и довести до определенных аэродинамических параметров, а уже потом она сама перейдет из режима двигателя в режим генератора. Отбор мощности начинается при скорости ветра около 5 м/с, а номинальная мощность достигается при скорости 14-16 м/с.

Вертикальные конструкции хороши тем, что улавливают ветер любого направления; остальным приходится разворачиваться по ветру.

Эффективность оборудования зависит от скорости ветра, продолжительности периодов наличия ветра, мощности и КПД ветроэнергетических установок [3]. Одним из элементов оценки эффективности ветроустановки является коэффициент использования мощности, характеризующий производство электроэнергии конкретного устройства с учетом простоев и наличия ветра. В современных ветроустановках этот коэффициент составляет 25-35%, тогда как в обычных электростанциях он равен 40%, а в теплоэлектростанциях доходит до 80% [4].

Типы ветроустановок. С учетом традиций и объективных факторов для условий Украины целесообразным является применение трех основных видов ветроустановок:

**1. Механические ветроустановки.** Энергию ветра издавна применяли для выполнения механической работы — перекачки воды, помола зерна, передвижения парусных судов и т. п. В настоящее время в связи с развитием индивидуальных сельских хозяйств такое направление применения ветровой энергии особенно актуально, а в будущем будет еще возрастать. Механические ветроустановки небольшой мощности могут эффективно использоваться на всей территории Украины независимо от показателей скорости ветра. Более перспективно их применение на морских и речных судах, курсирующих на небольшие расстояния, в частности на паромах.

**2. Ветроэлектрические установки, работающие на электросеть.** В данном случае эффективным является применение ветроустановок мощностью от 100 до 1000 кВт, причем наиболее перспективными считаются ВЭУ мегаваттного класса (1 МВт и более).

Как правило, ветроэлектрические установки, работающие на электросеть, применяются в региональных системах общего энергообеспечения. Срок службы таких ветрогенераторов — более 20 лет, выработанная электроэнергия дешевле, чем произведенная на тепловых электростанциях [5].

**3. Автономные ветроэнергетические установки.** Эта группа, наиболее многочисленная по своему применению и разнообразию, включает в себя ветроэлектрические установки средней и малой мощности. Можно выделить следующие подгруппы:

— ветроэнергосистемы, использующие в качестве резервного источника энергии дизель-генератор;

— ветроустановки малой мощности (до 10 кВт) с аккумуляторами электрической энергии. Разработана система аккумулирования электрической энергии на основе электрохимических аккумуляторов, обеспечивающая стабильное снабжение потребителей электроэнергией от ветроустановок (освещение, бытовые приборы и т. п.) [6];

— автономные энергосистемы средней мощности для индивидуальных домов и сельских усадеб включают в себя, кроме ветроэлектрических установок, системы аккумулирования тепловой и электрической энергии. Излишек энергии и низкопотенциальная энергия от ветроустановок накапливаются в виде тепловой энергии в тепловых аккумуляторах и используются для отопления и горячего водоснабжения.

Использование автономных энергосистем на базе ветроустановок экономически оправдано для районов, труднодоступных для доставки электроэнергии, а также традиционных энергоносителей. Такие установки будут пользоваться спросом в странах с большим коли-

чеством сельского населения. В Украине, где имеется множество сел, поселков, небольших городков, а также индивидуальных сельских хозяйств, автономные ветросистемы с аккумуляторами энергии должны иметь самое разнообразное применение.

Использование ветроустановок для производства электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра. Эффективность преобразования механической энергии в электрическую в электрогенераторе составляет обычно 95%, а потери электрической энергии при передаче не превышают 10%. Предъявляемые при этом требования к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии зависят от особенностей потребителей этой энергии. Эти требования жесткие при работе ветроустановок в рамках единой энергосистемы и достаточно мягкие при использовании энергии ВЭУ в осветительных и нагревательных установках. При проектировании ветроэлектрических установок надо учитывать следующие их особенности:

1) для обеспечения максимальной эффективности работы ветроколеса следует изменять частоту его вращения при изменении скорости ветра, сохраняя постоянным коэффициент быстроходности, в то же время для максимально эффективной работы электрогенератора необходима практически постоянная частота вращения;

2) механические системы управления частотой вращения ветроколеса достаточно сложны и дороги. Гораздо эффективнее и дешевле управлять частотой его вращения, изменяя электрическую нагрузку электрогенератора;

3) оптимальная частота вращения ветроколеса тем меньше, чем больше его радиус, поэтому только очень малые ветроколеса (радиусом не более 2м) удастся соединить с генератором напрямую. При больших размерах ветроколеса приходится использовать повышающие редукторы, удорожающие ветроустановку и ее обслуживание.

4) в конструкции ветроэлектрической установки предусматривается, как правило, возможность отключения генератора от ветроколеса и вращения его от химического или механического аккумулятора энергии, поэтому систему управления генератором не связывают с работой ветроколеса. При отсутствии такой связи даже при «мягком» соединении генератора с ветроколесом необходимы специальные демпфирующие устройства, для того чтобы исключить механические удары, перегрузки и броски напряжений на выходе генератора [5].

*Выводы.*

1. Дана классификация ветроустановок по расположению ротора.
2. Рассмотрены три основных вида ВУ применяемых в Украине.
3. Даны рекомендации для проектирования ВУ.

Литература:



1. *Фролов Н.* Энергия ветра: день за днем – доступнее, надежнее, эффективнее / *Н. Фролов* // Энергосбережение. – №7. – 2009. – С.10-11.
2. Перспективы развития ветряных электростанций в Запорожской области [Электронный ресурс] – режим доступа /<http://timeszp.com/articles/7972-perspektivy-razvitiya-vetryanych-ehlektrostantsijj-v-zaporozhskojj-oblasti.html>
3. *Коваленко В.И.* Проблемы создания и использования возобновляемых источников энергии / *В.И. Коваленко* // Сб. научн. трудов. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1991.
4. Наиболее часто задаваемые вопросы об энергии ветра. – К.: Информ. агентство «Эхо-Восток», 1999.
5. *Твайдел Дж.* Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / *Дж. Твайдел, А. Уайер.* – М.: Энергоатомиздат, 1990.– 391 с.
6. *Кудря С.А.* Разработать автономную систему накопления и хранения энергии возобновляемых источников, обеспечивающую аккумуляцию энергии до 60 кВт·час / *С.А. Кудря* // Технический отчет № 1. – Деп. в ВИНТИ, 1984. – № 01829003679.
7. *Мхитарян Н.М.* Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы: [Монография] / *Н.М. Мхитарян.* – К.: Наукова думка, 1999. – 317 с.

## **ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Михайленко О.Ю.

### *Анотація*

**Пропонується класифікація вітроустановок по розташуванню вітроколеса відносно осі обертання і застосування трьох основних видів їх в Україні. Дано рекомендації для проектування вітроенергетичних установок.**

## **AN OVERVIEW OF THE EXISTING CONSTRUCTIONS OF WIND DRIVEN POWER PLANTS**

L. Mikhailenko

### *Summary*

**There were proposed a classification of the wind power plants according to the location of the wind-wheel relative to the rotation axis which three main types are using in Ukraine. The recommendations for the wind-power plants designing are given.**

УДК 631.363

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОТЕЛ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕМ

Переверзев Д.Ю., аспирант\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

***Аннотация*** – предложена конструкция и методика исследования электрического котла с комбинированным электронагревателем для нагрева жидкого теплоносителя.

***Ключевые слова*** – комбинированный электронагреватель, горячее водоснабжение, индукционный котел, нагревательное устройство проточного действия, межсезонное и профилактическое обслуживание, многотарифный счетчик.

*Постановка проблемы.* Любая система отопления является сложным техническим решением, состоящим из нескольких функциональных узлов. Все составные части системы отопления должны быть правильным образом скомпонованы и запущены в работу. После запуска системы отопления, в результате старения и износа, возможен выход из строя отдельных элементов. Таким образом, любая система отопления требует профилактического техобслуживания. В обычных электрических котлах температура трубчатых электронагревателей может достигать 900 °С, что негативно сказывается на сроке эксплуатации, приводит к образованию накипи и постепенному разрушению нагревательного элемента.

*Анализ последних достижений.* Для отопления электричеством сейчас часто используют электрические котлы с трубчатыми электронагревателями. Они дешевые и могут работать по заданной программе. Как альтернативу таким котлам предлагаются индукционные котлы или вихревые индукционные нагреватели. Конструктивно вихревые индукционные нагреватели состоят из полого электромагнитного сердечника с индукционной катушкой. Для защиты от внешних факторов они заключены в экранирующую оболочку. Ток промышленной частоты 50 Гц, протекая по виткам катушки, создает переменное магнитное поле. Это поле наводит (индуцирует) в сердечнике вихревые

---

\* Научный руководитель: д.т.н. Овчаров В.В.

© аспирант Переверзев Д.Ю.

токи, которые в свою очередь приводят к нагреву металлических частей теплообменной системы.

*Формирование целей статьи.* В качестве материала для катушки вихревого индукционного нагревателя используется медный провод, что в свою очередь ведет к удорожанию конструкции нагревателя. Поэтому было решено внести изменения в конструкцию нагревателя с применением более дешевого материала для катушки. Кроме того была поставлена задача разработки методики исследования комбинированного электронагревателя.

*Основная часть.* Электрический котел с предлагаемым комбинированным электронагревателем (рис. 1) предназначен для использования в автономных системах отопления, горячего водоснабжения в технологических процессах, связанных с нагревом промежуточного теплоносителя. Конструкция электронагревателя в отличие от трубчатых и газовых нагревателей, позволяет электрическому котлу с комбинированным электронагревателем работать намного дольше (свыше 30 лет) не теряя своих технических показателей.

Электрический котел с комбинированным электронагревателем сочетает в себе два способа нагрева жидкого теплоносителя. С одной стороны, потери активной мощности в нагревателе происходят за счет вихревых токов и перемагничивания сердечника. С другой стороны, индукционная катушка, выполненная из стальной проволоки, так же нагревается, отдавая тепло теплоносителю.

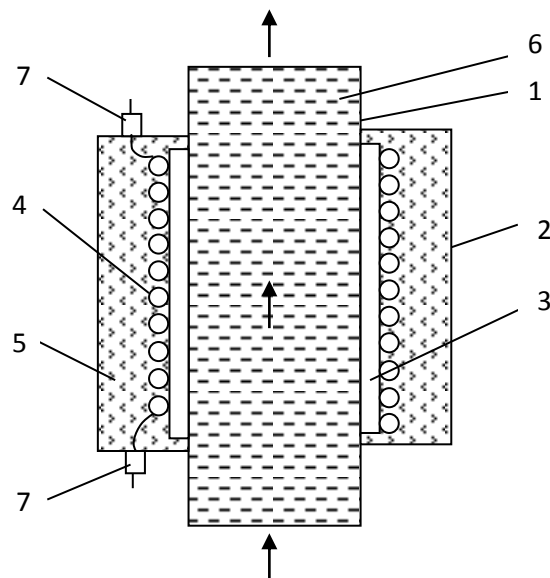


Рис. 1. Конструктивная схема комбинированного электронагревателя:

- 1 – внутренняя стальная труба; 2 – наружная стальная труба с фланцами; 3 – изоляционная конструкция; 4 – стальной провод;
- 5 – наполнитель (песок речной); 6 – проточный теплоноситель (вода);
- 7 – изоляторы проходные.

Рассмотрим физические явления и процессы, наблюдаемые в электрическом котле с комбинированным электронагревателем, для чего составим расчетную схему электрической цепи электронагревателя (рис. 2).

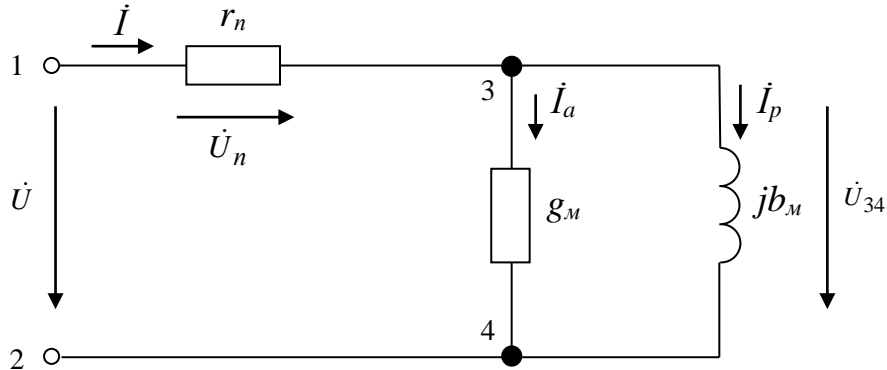


Рис. 2. Расчетная схема цепи электронагревателя.

На схеме обозначены:

$r_n$  – активное сопротивление провода, Ом;

$g_m$  – активная проводимость, эквивалентная потерям в стали от действия вихревых токов и гистерезиса, См;

$b_m$  – индуктивная проводимость, См;

$\dot{I}$  – комплекс действующего значения силы электрического тока, потребляемого электронагревателем, А;

$\dot{I}_a$  – комплекс активной составляющей силы электрического тока, А;

$\dot{I}_p$  – комплекс реактивной составляющей силы электрического тока, А;

$\dot{U}$  – комплекс действующего значения напряжения на зажимах нагревателя, В;

$\dot{U}_{34}$  – комплекс действующего значения напряжения намагничивающего контура, В;

$\dot{U}_n$  – комплекс действующего значения падения напряжения на активном сопротивлении стальной обмотки, В.

В задачу исследования входят аналитическое и экспериментальное определение параметров электронагревателя.

Активное сопротивление обмотки определяется по выражению

$$r_n = \rho \frac{l_n}{S_n}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала стального провода, Ом·(мм<sup>2</sup>/м);

$l_n$  – длина провода, м;

$S_n$  – площадь поперечного сечения стального провода, мм<sup>2</sup>.

Индуктивность обмотки определяется по выражению

$$L = \frac{w^2 \mu_c S}{l}, \quad (2)$$

где  $w$  – число витков обмотки;

$\mu_c$  – магнитная проницаемость стали, Гн/м;

$S$  – площадь стали, через которую замыкается магнитное поле, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина магнитопровода, м.

Параметры  $\rho$  и  $\mu_c$  определяются по справочным данным. Параметры  $w$ ,  $l_n$ ,  $S_n$ ,  $S$ ,  $l$  определяются по конструктивным данным электронагревателя.

Для проведения экспериментального исследования составляем электрическую схему экспериментальной установки (рис. 3)

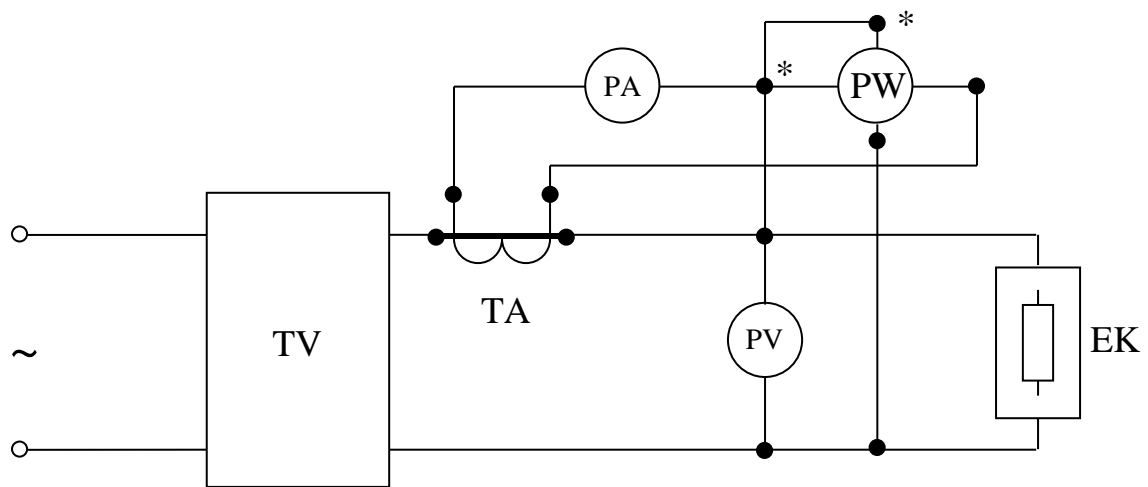


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки: TV – регулятор напряжения; ТА – трансформатор тока; ЕК – электронагреватель; РА – амперметр; РВ – ваттметр; РВ – вольтметр.

В результате эксперимента определяются показания приборов – напряжение  $U$ , ток  $I$ , мощность  $P$ .

Определяем полное сопротивление всей цепи:

$$z = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Определяем активное сопротивление всей цепи

$$r = \frac{P}{I^2}. \quad (4)$$

Определяем реактивное сопротивление всей цепи

$$x = \sqrt{z^2 - r^2}. \quad (5)$$

Определяем угол сдвига фаз всей цепи

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (6)$$

Запишем комплекс действующего значения напряжения на зажимах электронагревателя, при  $\psi_u = 0$

$$\dot{U} = U. \quad (7)$$

Запишем комплекс действующего значения силы электрического тока электронагревателя, приняв начальную фазу напряжения равной нулю

$$\dot{I} = \dot{I} \cdot e^{-j\varphi}. \quad (8)$$

Находим комплекс действующего значения напряжения на активном сопротивлении обмотки

$$\dot{U}_n = r_n \cdot \dot{I}. \quad (9)$$

Находим комплекс действующего значения напряжения на намагничивающем контуре

$$\dot{U}_{34} = \dot{U} - \dot{U}_n \quad (10)$$

Комплекс полного сопротивления намагничивающего контура

$$Z_M = \frac{\dot{U}_{34}}{\dot{I}}. \quad (11)$$

Комплекс полного сопротивления намагничивающего контура (рис. 4):

в показательной форме –  $Z_M = z_M \cdot e^{-j\varphi_M}, \quad (12)$

в тригонометрической форме –  $Z_M = z_M \cdot \cos\varphi_M - jz_M \cdot \sin\varphi_M, \quad (13)$

в алгебраической форме –  $Z_M = r_M + jx_M. \quad (14)$

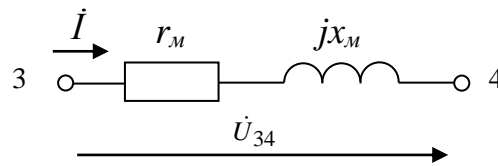


Рис. 4. Эквивалентная схема намагничивающего контура.

Определяем проводимости:

$$g_M = \frac{r_M}{z_M^2}; \quad (15)$$

$$b_M = \frac{x_M}{z_M^2}. \quad (16)$$

Определяем активные мощности:

$$P_n = r_n I^2; \quad (17)$$

$$P_M = g_M U_{34}^2 = r_M I^2; \quad (18)$$

$$P = P_n + P_M. \quad (19)$$

*Пример расчета.* При испытании одного из нагревателей приборы показали следующие значения: вольтметр – 220 В, амперметр – 50 А, ваттметр – 8000 Вт. В результате расчета получено следующее значения:  $r_n = 0,89$  Ом;  $z = 4,4$  Ом;  $r = 3,2$  Ом;  $x = 3,02$  Ом;  $\varphi = 43^\circ$ ;  $P_n = 2225$  Вт;  $P_M = 6250$  Вт;  $L = 0,0089$  Гн.

*Выводы.* 1. Создание электрического котла с комбинированным электронагревателем позволило расширить границы и область приме-

нения электронагрева как в производственных целях, так и на бытовом уровне, увеличить срок службы, повысить уровень электро- и пожаробезопасности, исключить необходимость межсезонного и профилактического обслуживания оборудования.

2. Комбинированный нагреватель может применяться повсеместно, поскольку имеется возможность набора мощности для помещений любого объема. Малые габариты индукционных нагревателей позволяют монтировать их в помещениях с ограниченной площадью. Особенным преимуществом является возможность интеграции в любую систему жидкостного отопления: радиаторную, теплый пол, воздушный обдув.

3. Применения стали в качестве материала для изготовления индукционной катушки позволяет значительно сократить затраты на изготовление нагревателя.

#### Литература

1. Рудобаит С.П. Подогреватели воды для сельскохозяйственных объектов / С.П. Рудобаит, Н.В. Оболенский, А.А. Мокеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003, №9. – С.16-17.

2. Кисель О.Б. Расчет индукционного проточного нагревателя жидкости / О.Б. Кисель // Вопросы электрификации сельскохозяйственного производства. – Целиноград: ЦСХИ, 1972. – 117 с.

3. Пат. 6353213 США МПК7 H05B6/10 BMG Holdings, LLC, Miller Blair, Mayer Thomas J. 09/751651. Voltage transformer type water heating unit. 2002.

4. Кувалдин А.Б. Низкотемпературный индукционный нагреватель стали / А.Б. Кувалдин. – М.: Энергия, 1976. – 112 с.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ КОТЕЛ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЧЕМ

Переверзев Д.Ю.

### *Анотація*

Запропонована конструкція та методика дослідження електричного котла з комбінованим електронагрівачем для нагріву рідкого теплоносія.

## ELECTRIC CALDRON WITH THE COMBINED HEATER

D. Pereverzev

### *Summary*

This article is devoted to construction and calculation method of electric caldron with the combined liquid heater.

## ЗМІСТ

<i>Овчаров В.В., Вовк О.Ю.</i> Електричний котел з низькотемпературним нагрівачем .....	3
<i>Радько І.П.</i> Дослідження морфології і мікроструктури відновлених робочих поверхонь контактних матеріалів при комутації струму .....	8
<i>Червинский Л.С.</i> О природе и механизме действия энергии электромагнитного излучения .....	15
<i>Сторожук Л.О.</i> Аналіз дисперсних характеристик м'ясних продуктів електричними інтегральними методами .....	23
<i>Овчаров В.В., Катюха І.А., Тимчук С.О.</i> Використання нечіткого регресійного аналізу для прогнозування електроспоживання на підприємстві .....	29
<i>Мунтян В.О., Чумак В.О.</i> Аналіз процесу обробки зернового корму за допомогою інфрачервоного випромінювання .....	37
<i>Федюшко Ю.М.</i> Параметральні прийоми моделювання масопереносу часток для еліпсоїдного сфероїда на прикладі сперміїв тварин .....	44
<i>Козирський В.В., Гай О.В., Бодунов В.М., Костюк В.А.</i> Формування динамічної моделі відновлення електропостачання споживачів в системах з джерелами розподіленої генерації .....	50
<i>Гуцаленко О.В.</i> Аналіз досліджень дозованого вивантаження сипких матеріалів із бункерів розкидачів кузовного типу .....	57
<i>Синявський О.Ю., Савченко В.В.</i> Вплив відхилення напруги і частоти струму на технологічні характеристики сепараторів молока .....	63
<i>Лукач В.С., Кушніренко А.Г., Катюха А.А.</i> Індуктор із змінним радіусом навивки .....	69



<i>Назаренко І.П.</i> Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів багатофазних електродних систем електросепараторів слабопровідних суспензій .....	75
<i>Куценко Ю.Н.</i> Определение внешних магнитных полей в случае статики .....	83
<i>Нестерчук Д.М., Гончарова Н.В.</i> Монітор групи асинхронних електродвигунів .....	89
<i>Буніна Л.М.</i> Підвищення тріщиностійкості хромистої сталі для ковальських зливків .....	100
<i>Іскерський І.С.</i> Особливості розробки електротехнологічного комплексу з виробництва твердого біопалива .....	105
<i>Санченко О.В.</i> Експериментальні дослідження спектрального складу вихідної напруги широтно-імпульсного перетворювача при роботі на активне навантаження .....	110
<i>Попова І.О.</i> Функціональне діагностування режимів роботи групи асинхронних двигунів .....	116
<i>Курашкин С.Ф.</i> Диагностирование режима работы электродвигателя погружного насоса .....	121
<i>Кондратенко І.П., Божко І.В., Жильцов А.В., Васюк В.В.</i> Методи визначення залишкових напружень .....	127
<i>Вовк О.Ю., Квітка С.О.</i> Пристрій вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна .....	136
<i>Леженкин А.Н.</i> Исследования кинематики абсолютного движения очесывающего барабана уборочной машины .....	141
<i>Постнікова М.В.</i> Сучасний стан контролю електроспоживання на зернопунктах .....	148
<i>Катюха А.А., Клендій П.Б., Клендій Г.Я.</i> Обґрунтування закону керування частотно-регульованим електроприводом вентиляційної установки пневмосистем .....	153
<i>Буніна Л.М.</i> Підвищення витривалості кованих сталей .....	160

<i>Квітка С.О., Безменнікова Л.М., Вовк О.Ю., Квітка О.С.</i> Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти .....	164
<i>Овчаров С.В., Стребков А.А.</i> Дополнительный тепловой износ изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период .....	172
<i>Катюха А.А., Сілі І.І.</i> Методи та пристрої компенсації вищих гармонік струму .....	178
<i>Леженкин И.А.</i> Статистический анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы .....	183
<i>Михайленко Е.Ю.</i> Обзор существующих конструкций ветро-энергетических установок .....	188
<i>Переверзев Д.Ю.</i> Электрический котел с комбинированным электронагревателем .....	194

Наукове фахове видання

Праці Таврійського державного агротехнологічного  
університету

Випуск 13. Том 2.

Свідоцтво про державну реєстрацію – Міністерство юстиції  
13503-2387 ПР від 03.12.2007

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Овчаров В.В.

---

Підписано до друку 22.04.2013 р. друк RIZO.  
Друкарня ТДАТУ 9,3 умов. друк. арк.; тираж 50 прим.

72312 ПП Верескун  
Запорізька обл., м. Мелітополь, вiл. К. Маркса, 10  
тел. (06192) 6-88-38