

Міністерство аграрної політики та продовольства України



ПРАЦІ  
Таврійського державного  
агротехнологічного університету

Випуск 12 Том 2

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2012 р.

**УДК 621.311:631****ПЗ.8**

Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип. 12. Т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – 243 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 6 від 31.01.2012 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., професор;  
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, 2012.

УДК 621.313.333.2

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Овчаров В.В., д.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

***Аннотация*** – в работе систематизированы научные знания физических основ электротехники.

***Ключевые слова*** – физическое явление, физическая величина, физический закон, алгоритм изучения физического явления, применение физических явлений и законов.

*Постановка проблемы.* При проведении научных исследований формулируется научная задача (проблема), которая детально раскрывается путём формулирования объекта и предмета исследования. Объектом исследования всегда является процесс, а предметом исследования – раскрытие закономерностей исследуемого процесса. Вся техника в мире создана на базе физических явлений и законов. А часть техники – электротехника базируется, в частности, на семи электромагнитных физических явлениях и законах: электризации тел, взаимодействия заряженных тел, электрического тока, теплового действия электрического тока, электромагнетизма, электромагнитной индукции, электромагнитной силы.

Поэтому научные исследования в области электротехники должны базироваться на описании физических процессов. Например, теоретические основы электротехники – это описание электромагнитных физических процессов в электрических и магнитных цепях языком высшей математики.

*Анализ последних достижений.* Современные научные исследования используют в сложных системах метод планирования эксперимента, так как иногда очень сложно описать аналитическим путём физические и другие процессы, протекающие в исследуемом объекте. Однако не всегда удаётся в результате понять физику исследуемых процессов и практически использовать полученные результаты исследований.

*Формулировка целей статьи.* Задачей данной статьи является систематизация физических электромагнитных явлений и законов с

целью успешного их применения при анализе исследуемых процессов в электротехнике.

*Основная часть.* Прежде всего, выделим предлагаемые пять шагов в инженерии знаний физических явлений и законов:

- суть физического явления;
- характеристика физических величин, введённых для описания физического явления;
- формулирование закона физического явления;
- математическая запись закона;
- применение явления и закона в технике.

В свою очередь характеристика физической величины даётся по следующему алгоритму:

- для чего введена;
- определение физической величины;
- определяющая формула;
- единица;
- скалярная или векторная величина;
- как находится.

Рассмотрим все семь электромагнитных физических явлений, используемых при конструировании и проявляющихся в работе электротехнических устройств.

### ***Явление электризации тел***

1. Физическая суть явления электризации состоит в потере или приобретении телом свободных электронов. Тела, которые приобрели электроны, заряжаются отрицательно, а тела, которые потеряли электроны – положительно.

2. Для характеристики явления введена физическая величина – заряд, которая характеризуется следующим образом:

- введена для определения интенсивности взаимодействия заряженных частиц;
- электрический заряд – это источник электромагнитного поля, связанный с материальными носителями (например, электронами и протонами);
- заряд не имеет определяющей формулы;
- единицей заряда является кулон (Кл), элементарный электрический заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;
- заряд это скалярная величина;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон сохранения электрических зарядов: алгебраическая сумма зарядов в изолированной системе сохраняется постоянной.

4. Математическая запись закона сохранения электрических зарядов:

$$\sum_{i=1}^n q_i = const. \quad (1)$$

5. Явление электризации тел используется в электротехнологиях, проявляется при трении в изолированных системах.

#### *Явление взаимодействия заряженных тел*

1. Физическая суть явления взаимодействия заряженных тел состоит в том, что одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно – притягиваются.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: электрическая сила взаимодействия, заряды тел, расстояние между зарядами, относительная диэлектрическая проницаемость среды, электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума).

#### *Электрическая сила взаимодействия*

– введена для оценки интенсивности взаимодействия заряженных тел;

– электрическая сила – это мера взаимодействия зарядов;

– обозначение –  $F$ ;

– единица – ньютон (Н);

– сила взаимодействия величина векторная;

– находится расчётом или измерением.

#### *Электрический заряд*

Характеристика дана ранее.

#### *Расстояние между заряженными телами*

– введено для пространственной характеристики точечных зарядов, эквивалентно заменяющих заряженные тела;

– расстояние между точечными зарядами – кратчайший путь между ними;

– единица – метр (м);

– находится расчётом или измерением;

#### *Относительная диэлектрическая проницаемость среды*

– введена для характеристики среды, в которой находятся заряды;

– представляет собой отношение диэлектрической проницаемости среды к электрической постоянной;

– определяющая формула –  $\varepsilon = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}$ ;

– где  $\varepsilon_c$  – диэлектрическая проницаемая среды, Ф/м;

- $\varepsilon_0$  – діелектрическа проницаема вакуума (електрическа постоянна), Ф/м;
- величина безразмерна;
- величина скалярна;
- находится расчётом или измерением.

*Електрическа постоянна*

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

3. Закон взаимодействия точечных электрических зарядов (закон Кулона): сила взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна величине этих зарядов  $q_1$  и  $q_2$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и диэлектрической проницаемостью среды.

4. Математическая запись закона Кулона в скалярной форме:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \quad (2)$$

$$[F] = \frac{\frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

5. Применяется в электротехнологиях.

#### ***Явление электрического тока***

1. Физическая суть явления состоит в упорядоченном направленном движении свободных заряженных частиц под действием сил электрического поля;

2. Для описания явления введены следующие физические величины: электродвижущая сила, сопротивление проводника, сила электрического тока.

#### *Электродвижущая сила*

- введена для энергетической характеристики источника электрического тока;

- электродвижущая сила – это физическая величина, численно равная отношению работы, которую совершают сторонние силы источника по перенесению зарядов против сил электрического поля, к величине переносимых зарядов;

- определяющая формула для постоянного тока  $E = \frac{A}{q}$ ,

где  $A$  – работа, Дж;

$q$  – величина заряда, Кл;

- единица – вольт (В);
- величина скалярная;
- находится расчётом или измерением.

*Сопротивление проводника*

- введено для характеристики проводника;
- зависит от структуры материала проводника;
- расчётная формула на постоянном токе  $R = \rho \frac{l}{s}$ ,

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника, Ом·мм<sup>2</sup>/м (в технической системе единиц);

$l$  – длина проводника, м;

$s$  – площадь поперечного сечения проводника, мм<sup>2</sup> (в технической системе единиц).

- единица – Ом (Ом);
- величина скалярная;
- находится расчетом или измерением.

*Сила электрического тока*

- введена для характеристики интенсивности электрического тока;
- сила электрического тока – это физическая величина, численно равная количеству заряда, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени;

- определяющая формула для постоянного тока  $I = \frac{q}{t}$ ,

где  $q$  – величина заряда, Кл;

$t$  – время, с.

- единица – ампер (А);
- величина векторная;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон Ома: сила электрического тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна э.д.с. и обратно пропорциональна сопротивлению цепи.

4. Математическая запись закона Ома для постоянного тока:

$$I = \frac{E}{R}. \quad (3)$$

6. Применяется во всех электротехнических устройствах.

*Явление теплового действия электрического тока*

1. Физическая суть явления состоит в том, что за счёт столкновения движущихся заряженных частиц с атомами (молекулами) вещества проводника повышается их внутренняя энергия (проводник нагревается);

2. Для описания явления введены следующие физические величины: количество теплоты, сопротивление проводника, сила электрического тока, время.

### *Количество теплоты*

– введено для энергетической характеристики процесса нагрева проводника;

- единица – джоуль (Дж);
- величина скалярная;
- находится расчётом или измерением.

3. Закон Ленца – Джоуля: количество теплоты, которое выделяется в проводнике, прямо пропорционально сопротивлению проводника, квадрату силы электрического тока и времени его прохождения.

4. Математическая запись закона Ленца-Джоуля на постоянном токе:

$$Q = RI^2t. \quad (4)$$

5. Применяется в электронагревательных устройствах.

### *Явление электромагнетизма*

1. Физическая суть явления состоит в том, что при прохождении электрического тока по проводнику вокруг него образуется магнитное поле;

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: число витков проводящего контура, магнитный поток, индуктивность проводящего контура, сила электрического тока.

#### *Число витков контура*

- введено для конструктивной характеристики контура;
- величина безразмерная;
- величина скалярная;
- находится расчётом.

#### *Магнитный поток*

– введен для характеристики интенсивности магнитного поля;

– магнитный поток – это физическая величина, численно равная для однородного магнитного поля произведению магнитной индукции на площадь поперечного сечения магнитопровода;

– определяющая формула для однородного магнитного поля при постоянных намагничивающих силах  $\Phi = B \cdot S$ ,

где  $B$  – магнитная индукция, Тл;

$S$  – площадь, м<sup>2</sup>;

- единица – вебер (Вб);
- величина векторная;
- находится расчётом или измерением.

#### *Индуктивность проводящего контура*

– введена для конструктивной характеристики проводящего контура;



– расчётная формула 
$$L = \frac{w^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{l},$$

где  $w$  – число витков контура;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость магнитопровода;

$\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м;

$S$  – площадь магнитопровода, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина средней магнитной силовой линии, м;

– единица – генри (Гн);

– величина скалярная;

– находится расчётом или измерением.

3. Закон электромагнетизма: магнитный поток прямо пропорционален индуктивности проводящего контура и силе тока в контуре.

4. Математическая запись закона электромагнетизма для постоянного тока:

$$w \cdot \Phi = L \cdot I, \quad (5)$$

где  $w$  – число витков;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб;

$L$  – индуктивность, Гн;

$I$  – сила электрического тока, А.

6. Применяется в электромагнитных устройствах.

#### ***Явление электромагнитной индукции***

1. Физическая суть явления состоит в том, что, если проводящий контур пронизывается меняющимся во времени магнитным полем, то в контуре наводится электродвижущая сила.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: электродвижущая сила, число витков контура, магнитный поток, время.

3. Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): величина э.д.с., наводимой в проводящем контуре, прямо пропорциональна числу витков контура и скорости изменения магнитного потока.

4. Математическая запись закона электромагнитной индукции:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (6)$$

где  $e$  – э.д.с., В;

$w$  – число витков;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб;

$t$  – время, с.

5. Применяется в электрических генераторах.

#### ***Явление электромагнитной силы***

1. Физическая суть явления состоит в том, что на проводник с током, помещённый в магнитное поле, действует сила выталкивания.

2. Для характеристики явления введены следующие физические величины: сила выталкивания, магнитная индукция, длина проводника, сила электрического тока, угол между направлением тока и направлением вектора магнитной индукции.

3. Закон электромагнитной силы (закон Ампера): сила выталкивания, действующая на проводник с током, помещённый в магнитное поле, прямо пропорционально магнитной индукции, длине проводника, силе электрического тока и синусу угла между направлением тока и вектором магнитной индукции.

4. Математическая запись закона Ампера:

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha , \quad (7)$$

где  $F$  – сила выталкивания, Н;

$B$  – магнитная индукция, Тл;

$l$  – длина проводника, м;

$I$  – сила тока, А.

$\alpha$  – угол между направлениями силы электрического тока и вектора магнитной индукции, град.

*Выводы.* Предложенный систематизированный материал физических явлений и законов может быть использован при аналитическом исследовании электромагнитных и тепловых процессов в электротехнических устройствах.

## **ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

Овчаров В.В.

### *Анотація*

**В роботі систематизовані наукові знання фізичних основ електротехніки.**

## **PHYSICAL BASIS OF ELECTRICAL ENGINEERING RESEARCH**

V. Ovcharov

### *Summary*

**There have been systematized a scientific knowledge of the physical basis of electrical engineering.**

УДК: 631.1.2.631.1.621.1

## АНАЛІЗ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ПІВНІЧНОГО ПРИАЗОВ'Я УКРАЇНИ

Федюшко Ю.М., д.т.н.,

Федюшко М.П., інженер.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-11-52

Хандола Ю.М., к.т.н.

*Харківський національний технічний університет ім. П. Василенка*

Тел. (057) 712-52-45

**Анотація** - робота присвячена вивченню існуючих проблемних питань в енергетичній галузі та обґрунтуванню можливостей використання вітрового потенціалу і шляхів його реалізації з врахуванням основних впливових факторів при впровадженні вітроенергетики.

**Ключові слова** - вітровий потенціал, енергетичний запас, джерела альтернативної енергії.

*Постановка проблеми.* Сучасний паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) України в основному сформувався у післявоєнний період, ще за часів існування Радянського Союзу. Тому його масштаби, галузева структура та розміщення нерідко суперечать інтересам молоді держави.

В зв'язку з цим постає необхідність визначення концепції соціально-економічного та науково-технічного розвитку України та формуванням енергетичної політики, що дозволить приймати обґрунтовані рішення у забезпеченні потреб у енергетичних ресурсах. В зв'язку з цим постає необхідність визначення концепції соціально-економічного та науково-технічного розвитку України та формуванням енергетичної політики, що дозволить приймати обґрунтовані рішення у забезпеченні потреб у енергетичних ресурсах.

В умовах ринкових відносин та виходу з енергетичної кризи необхідно вирішувати питання співвідношення систем державного регулювання виробництва і споживання електроенергії та енергоносіїв.

*Аналіз останніх досліджень.* Враховуючи досвід зарубіжних країн, слід визначити, що, наприклад, енергетика Великобританії є су-

купністю державних і приватних підприємств. Видобуток переробка та постачання нафти і нафтопродуктів, а також основна частка видобутку газу перебувають в руках приватних компаній, тоді, як до недавнього часу вугільна промисловість, виробництво та розподіл електроенергії і практично все газопостачання належали державним компаніям.

Найбільшою (майже 40%) у загальній структурі споживання в Україні паливно-енергетичних ресурсів є частка природного газу, де близько 80% припадає на імпортований газ з Росії та Туркменістану.

Стосовно галузей електроенергетики (крім галузей атомної енергетики) необхідно прийняти закон про системну електроенергетику, що став би правовою базою перетворення регіональних енергосистем в акціонерні товариства відкритого типу.

При розвитку енергетичних потужностей України провідне місце повинно належати маневреним і екологічно безпечним тепловим електростанціям. Тут необхідно врахувати досвід зарубіжних країн, в яких розроблені ефективні системи котлів з використанням низькосортного вугілля (з теплотворною здатністю 4500 – 6000 ккал/кг, зольність до 35%) [1].

На теперішній час зношення ТЕС становлять більше 50%. Тому постає необхідність у демонтажі спрацьованого та застарілого устаткування ТЕС. Технічне переозброєння електроенергетики та оновлення її основних фондів за рахунок високоефективних парогазових установок (ПГУ) дозволить швидко забезпечити введення потужностей на діючих ТЕС, зекономити дефіцитне органічне паливо завдяки більш високому ККД (до 52%) технологічного циклу. Крім цього, ПГУ є високо маневреними, з часом набирання потужностей від нуля до номіналу не більше 10 хвилин.

*Ціль дослідження.* Метою даної статті є аналіз існуючих проблем в паливно-енергетичному комплексі. Змінити на краще паливно-енергетичний баланс України може подальший екологічно-безпечний розвиток гідроенергетики. Особливо це стосується Західного району, де стає можливим спорудження ГЕС і ГАЕС на Дніпрі та річках Карпат, а також шляхом будівництва середніх, малих і мікроГЕС. Реконструкція ГЕС і ГАЕС дасть змогу збільшити у два рази регулюючу потужність порівняно з існуючою в об'єднаній енергосистемі України.

*Основна частина.* У останні часи значно поглибилися роботи по дослідженню, проектуванню та впровадженню у національне господарство нетрадиційних джерел енергії, використанню яких в Україні донедавна не приділялося достатньої уваги.

З усіх видів нетрадиційних джерел енергії сила вітру є найбільш дешевим та екологічно чистим джерелом, а вітроенергетика з її сучасним технічним оснащенням – це вже напрямок у енергетиці. Енергія

вітру є вторинним проявленням енергії Сонця у вигляді кінетичної енергії повітряних мас, які рухаються, та представляє собою енергію високої якості, так як вона може безпосередньо перетворюватись у електричну енергію.

Потужність сонцевого випромінювання, яка безперервно перетворюється у енергію вітрових потоків, оцінюється приблизно у 10 ГВт. Практично можна використовувати 10 – 12% запасів, що у 100 разів більше гідроенергетичного потенціалу. За даними Департаменту енергії США, за допомогою вітру можна виробити енергії у 15 разів більше теперішньої світової її потреби [2].

Енергетичний потенціал вітру у багатьох регіонах України при невеликій його швидкості достатній для успішного розвитку вітроенергетичної галузі. До таких регіонів можна віднести: Карпатський, Донбаський, Керченський, Західно-Кримський, Гірничо-Кримський, Приазовський, Причорноморський, а також Полтавську та Харківську зони.

У районі Сиваша можна встановити ВЕС потужністю 135 тис. МВт, на Одеській банці у Чорному морі ці потужності дорівнюють 20 тис. МВт, а на Херсонесі за рік через  $1\text{ м}^2$  площі проходить вітровий потік з енергією 1,3 млн. МВт. Сприятливими умовами для розвитку вітрової енергії забезпечені акваторії Азовського моря, Дніпро-Бугського та Дніпровського лиманів, солоних озер у Одеській та Запорізькій областях, водосховищ Дніпровського каскаду [3].

На вибір параметрів вітронасосних установок та їх правильне використання впливає вітровий режим. Основними показниками енергії вітру, які дають змогу робити висновок про її економічну ефективність, є: середні швидкості ( $\bar{V}$ ), повторюваність робочих швидкостей, тривалість затишшя та тривалість активних вітрів. При наявності в даній місцевості  $\bar{V} = 4$  м/с [3], є економічно доцільним використання вітродвигунів, які можуть бути конкурентно-здібними з тепловими двигунами такої ж потужності.

Повторюваність типових режимів розподілу повітряних мас можливо визначити за виразом

$$t = 1000 a \left( \frac{\Delta V}{\bar{V}} \right)^p \cdot e^{-k \left( \frac{V}{\bar{V}} \right)^n}, \quad (1)$$

де  $t$  – повторюваність або частота вітру, в промілях;

$V$  – швидкість вітру, м/с;

$\bar{V}$  – середня швидкість вітру за розрахунковий період часу;

$\Delta V$  – інтервали швидкості;

$a, p, k, n$  – параметри рівняння, які залежать від місцевих фізико-географічних особливостей.

Середньорічна швидкість вітру ( $\bar{V}$ ) та внутрішньорічна повторюваність швидкостей не достатньо повно характеризують корисний виробіток вітрової електростанції, яка також залежить від співпадання її потужності з графіком навантаження.

Вироблена енергія вітровою електростанцією буде повністю використана в енергосистемі лише в тому випадку, коли встановлена потужність ( $N_{\text{ев}}$ ) буде менше мінімального навантаження ( $P_{\text{min}}$ ). Якщо  $N_{\text{ев}} > P_{\text{min}}$ , то завжди можуть з'явитися відрізки часу за проміжок яких потужність вітрової електростанції буде більшою від необхідного графіку навантаження, тому частина виробітку буде не використаною.

Відповідність закладеної потужності вітрової електростанції та графіку завантаження може оцінюватися коефіцієнтом співпадання  $C$ . Тоді корисна енергія, яка використовується в енергосистемі виробітку вітрової електростанції буде рівна:

$$W_{\text{П}} = W_{\text{В}} \cdot C, \quad (2)$$

де  $W_{\text{в}}$  – можливий виробіток вітрової електростанції при безмежних витратах.

При  $N_{\text{ев}} \leq P_{\text{min}}$ ,  $C = 1$ , при  $N_{\text{ев}} > P_{\text{min}}$ ,  $C < 1$ , а чим більше  $N_{\text{ев}}$ , тим менше стає коефіцієнт  $C$ .

Суттєвий вплив на коефіцієнт  $C$  має форма графіку навантаження і якщо він заданий параметрами кривої тривалості в вигляді

$$x = 1 - at^n, \quad (3)$$

де  $x$  – відносне навантаження  $\left(\frac{P_x}{P_{\text{max}}}\right)$ ;

$t$  – відносна тривалість навантаження;

$$a = \frac{P_{\text{min}} - P_{\text{max}}}{P_{\text{max}}}; \quad (4)$$

$$n = \frac{P_{\text{cp}} - P_{\text{min}}}{P_{\text{max}} - P_{\text{cp}}}, \quad (5)$$

то чим менше  $a$  і більше  $n$ , тим більший коефіцієнт  $C$ .

*Висновок.* Провівши детальний аналіз зміни коефіцієнту співпадання для зони Приазов'я з'явиться можливість зробити висновки про ефективне використання енергії вітру при впровадженні вітрових електростанцій.

Вибір схеми електропостачання в кожному випадку повинен базуватися на детальному техніко-економічному аналізі конкретного споживача з врахуванням графіка навантаження та об'єму споживання енергії. Крім того, необхідно прийняти до уваги місцеві фактори, такі як радіаційний, вітровий та інші режими, віддаленість об'єкту від культурної зони, економічні перспективи даного району.

Таким чином, рішення енергетичної програми України по розвитку нетрадиційної енергетики повинно у перспективі покращити структуру енергобалансу, екологічну обстановку в країні та зменшити її енергетичну залежність, для чого необхідно вирішити ряд задач по розробці та реалізації математичних моделей відповідних систем використання альтернативних джерел енергії та зв'язків між ними.

#### Література

1. *Загній О.М.* Можливості реорганізації енергетики України з метою адаптації до ринкових умов / *О.М. Загній, В.Т. Колибаба* // Економіка України. – 1994. – № 5. – С. 85–87.
2. *Холодов Д.Н.* Эффективное использование возобновляемых источников энергии в Приморском регионе / *Д.Н. Холодов* // Экономика Украины. – 2000. – № 12. – С. 75 – 77.
3. *Затула В.С.* Альтернативні джерела енергії в Україні / *В.С. Затула* // Географія та основи економіки в школі. – 1999. – №9. – С. 3–5.

### **АНАЛИЗ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ УКРАИНЫ**

Федюшко Ю.М., Федюшко М.П., Хандола Ю.М.

#### *Аннотация*

**Работа посвящена изучению существующих проблемных вопросов в энергетической отрасли и обоснованию возможностей использования ветрового потенциала и путей его реализации с учетом основных факторов влияния при внедрении ветроэнергетики.**

### **ANALYSIS AND THEORETICAL RESEARCH POSSIBILITIES OF INTRODUCTION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN NORTH PRIAZOV'YA AT UKRAINE**

Yu. Fediushko, M. Fediushko, Yu. Khandola

#### *Summary*

**Work is devoted to studying of existing problem questions in power area and a substantiation of opportunities wind potential use and ways of its realization according to the mane influential factors at introduction wind energetic.**

УДК 621.313.333

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Овчаров С.В., к.т.н.,

Гончарова Н.В., аспирант\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Аннотация** – в работе приведено аналитическое исследование перегрузочных характеристик асинхронных электродвигателей из условия допустимого теплового износа изоляции на одну перегрузку.

**Ключевые слова** – перегрузочная характеристика, дополнительный тепловой износ изоляции, скорость теплового износа, допустимое время.

*Постановка проблемы.* Асинхронные электродвигатели – наиболее распространенный тип электрических машин. Это объясняется простотой конструкции и высокой надежностью при условии правильной эксплуатации. Приблизительно 40% вырабатываемой электроэнергии потребляется асинхронными электродвигателями, поэтому проблемы сохранения, обеспечения, повышения и прогнозирования надежности асинхронных машин имеют большое значение. В большинстве случаев (85-95%) отказы асинхронных двигателей происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой межфазной изоляции – 5%, пробой пазовой изоляции – 2%. Причины отказов можно дифференцировать следующим образом: технологические составляют примерно 35 %, эксплуатационные (в основном из-за неудовлетворительной защиты электродвигателей) – 50% и конструкционные – 15%. [2].

В эксплуатационных условиях асинхронные двигатели периодически испытывают различные перегрузки. Перегрузки могут быть вызваны, например, неисправностью приводного механизма или форсированием его работы, отклонением от нормы частоты или напряжения, временным повышением температуры окружающей среды, а

---

\* Научный руководитель: д.т.н. В.В. Овчаров

© к.т.н. Овчаров С.В., аспирант Гончарова Н.В.



также другими причинами. Перегрузки сопровождаются повышением температуры обмотки, и как следствие ускоряется износ изоляции.

Сегодня основным защитным устройством электродвигателей от перегрузок являются тепловые реле, которые не учитывают фактический тепловой процесс в электродвигателях при перегрузках. Они настраиваются таким образом, чтобы при перегрузке на двадцать процентов отключение электродвигателя происходило через двадцать минут. При этом не учитываются постоянные времени нагрева электродвигателей, их начальный нагрев, конструктивные параметры электродвигателей и другое, – в результате защитные характеристики тепловых реле и перегрузочные характеристики не совпадают.

*Анализ последних исследований.* Начало исследований перегрузочных характеристик из условия допустимого теплового износа изоляции положено в [1]. Однако практических исследований не приведено.

*Формулирование целей статьи (постановка задачи).* Целью статьи является аналитическое исследование перегрузочных характеристик электродвигателей из условия допустимого теплового износа изоляции на одну перегрузку.

*Основная часть.* Определим допустимое время работы электродвигателя в зависимости от кратности перегрузки по току, взяв за основу допустимый дополнительный тепловой износ изоляции, приходящийся на одну перегрузку.

Для этого представим графически тепловой процесс в период перегрузки и после, считая, что после прекращения перегрузки электродвигатель продолжает работать с номинальной нагрузкой (рис. 1).

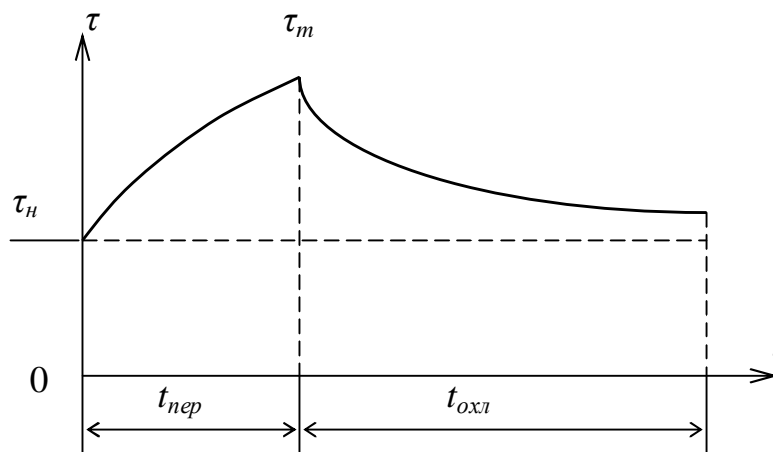


Рис. 1. Графики нагрева и охлаждения электродвигателя:  
 $\tau_m$  – максимальное превышение температуры изоляции обмотки в конце перегрузки, °C;  $t_{пер}$  – время перегрузки, с;  $t_{охл}$  – время охлаждения, с.

Приведен график теплового износа изоляции до, в период и после перегрузки (рис. 2).

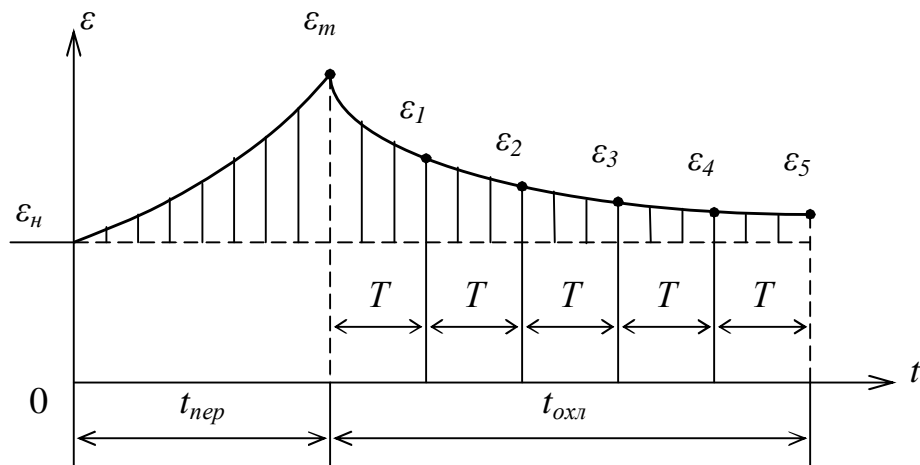


Рис. 2. График теплового износа изоляции электродвигателя.

Заштрихованная площадь на рис. 2 представляет собой дополнительный тепловой износ изоляции  $\Delta E_{дон}$ .

Запишем выражение для определения дополнительного теплового износа изоляции на участке перегрузки, приняв зависимость  $\varepsilon = f(t)$  линейной

$$\Delta E_{дон} = \frac{1}{2} t_{пер} (\varepsilon_m - \varepsilon_n), \quad (1)$$

где  $t_{пер}$  – время перегрузки, с;

$\varepsilon_m$  – максимальная скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

$\varepsilon_n$  – номинальная скорость теплового износа изоляции;  $\varepsilon_n = 1$  бч/ч.

Принимаем температуру окружающей среды  $v_{ср} = 40$  °С, то есть номинальной. Тогда максимальная скорость теплового износа изоляции равна

$$\varepsilon_m = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_m} \right)}, \quad (2)$$

где  $B$  – коэффициент, характеризующий класс изоляции, К;

$\theta_n$  – абсолютная номинальная температура изоляции обмотки электродвигателя, К;

$\theta_m$  – абсолютная максимальная температура изоляции обмотки электродвигателя, К.

В свою очередь абсолютная максимальная температура изоляции обмотки электродвигателя равна

$$\theta_m = \tau_m + \vartheta_{ср} + 273, \quad (3)$$

где  $\tau_m$  – максимальное превышение температуры изоляции при перегрузке, °С;

$v_{cp}$  – температура окружающей среды, °C.

Определим максимальное превышение температуры изоляции обмотки

$$\tau_m = \tau_y \left( 1 - e^{-\frac{t_{nep}}{T}} \right) + \tau_n \cdot e^{-\frac{t_{nep}}{T}}, \quad (4)$$

где  $\tau_y$  – установившееся превышение температуры изоляции при перегрузке, °C;

$T$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, с.

Постоянная времени нагрева электродвигателя равна [1]

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \cdot \tau_{in}}{\Delta P_n}, \quad (5)$$

где  $c_i$  – удельная теплоёмкость  $i$ -го тела электродвигателя, Дж/(°C·кг);

$m_i$  – масса  $i$ -го тела электродвигателя, кг;

$\tau_{in}$  – превышение температуры  $i$ -го тела электродвигателя в номинальном режиме последнего, °C;

$\Delta P_n$  – потери мощности в электродвигателе при номинальном режиме, Вт.

Установившееся превышение температуры

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + \kappa^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n (\kappa^2 - 1)}, \quad (6)$$

где  $a$  – коэффициент потерь электродвигателя;

$\kappa$  – кратность перегрузки по току;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, 1/°C.

Найдем дополнительный тепловой износ изоляции в период охлаждения после перегрузки

$$E_{d.o} = \frac{1}{2} T \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1} - 2\varepsilon_n), \quad (7)$$

где  $\varepsilon_i$  – скорость теплового износа изоляции в конце  $i$ -го участка, бч/ч;

$\varepsilon_{i-1}$  – скорость теплового износа изоляции в начале  $i$ -го участка, бч/ч.

В свою очередь:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_i} \right)}; \quad (8)$$

$$\theta_i = \tau_i + \mathcal{G}_{cp} + 273; \quad (9)$$

$$\tau_i = \tau_n (1 - e^{-1}) + \tau_{i-1} \cdot e^{-1}, \quad (10)$$

где  $\tau_i$  – превышение температуры изоляции в конце  $i$ -го участка, °C;

$\tau_{i-1}$  – превышение температуры изоляции в начале  $i$ -го участка, °C.

Таким образом, для определения допустимого времени работы электродвигателя в зависимости от кратности перегрузки по току запишем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\text{доп}} = \Delta E_{\text{д.н}} + \Delta E_{\text{д.о}}; \\ \Delta E_{\text{д.н}} = \frac{1}{2} t_{\text{пер}} (\varepsilon_m - \varepsilon_n); \\ \varepsilon_m = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_m} \right)}; \\ \theta_m = \tau_m + \vartheta_{\text{ср}} + 273; \\ \tau_m = \tau_y \left( 1 - e^{-\frac{t_{\text{пер}}}{T}} \right) + \tau_n \cdot e^{-\frac{t_{\text{пер}}}{T}}; \\ \tau_y = \tau_n \frac{a + \kappa^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n (\kappa^2 - 1)}; \\ E_{\text{д.о}} = \frac{1}{2} T \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1} - 2\varepsilon_n); \\ \varepsilon_i = \varepsilon_n \cdot e^{B \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_i} \right)}; \\ \theta_i = \tau_i + \vartheta_{\text{ср}} + 273; \\ \tau_i = \tau_n (1 - e^{-1}) + \tau_{i-1} \cdot e^{-1}. \end{array} \right. \quad (11)$$

Рассчитаем перегрузочную характеристику асинхронного электродвигателя АИР90L4У3. Заданными величинами являются:  $P_n = 2,2 \text{ кВт}$ ;  $\varepsilon_n = 1 \text{ бч/ч}$ ;  $B = 10200 \text{ К}$ ;  $\theta_n = 403 \text{ К}$ ;  $v_{\text{ср}} = 40 \text{ °С}$ ;  $T = 1191 \text{ с}$ ;  $\tau_n = 90 \text{ °С}$ ;  $a = 0,33$ ;  $\alpha = 0,004 \text{ 1/°С}$ ;  $E_{\text{доп}} = 1 \text{ бч}$ ;  $\kappa = 1,15 \dots 1,6$ .

Зависимость допустимого времени работы асинхронного электродвигателя АИР90L4У3 от кратности перегрузки по току  $t_{\text{пер}} = f(\kappa)$  приведена на рис. 3.

С помощью метода наименьших квадратов была проведена аппроксимация зависимости  $t_{\text{пер}} = f(\kappa)$  и получено уравнение регрессии

$$y = 67879x^4 - 394176x^3 - 858814x^2 - 832972x - 304018.$$

Аналогично рассчитываются перегрузочные характеристики асинхронных электродвигателей класса изоляции  $B$  других мощностей.

**Выводы.** Полученная математическая модель позволяет рассчитать перегрузочные характеристики асинхронных электродвигателей из условия допустимого дополнительного теплового износа изоляции

на одну перегрузку. Уравнения регрессии могут быть использованы в устройстве функционального диагностирования для определения допустимого времени работы асинхронного электродвигателя при токовой перегрузке.

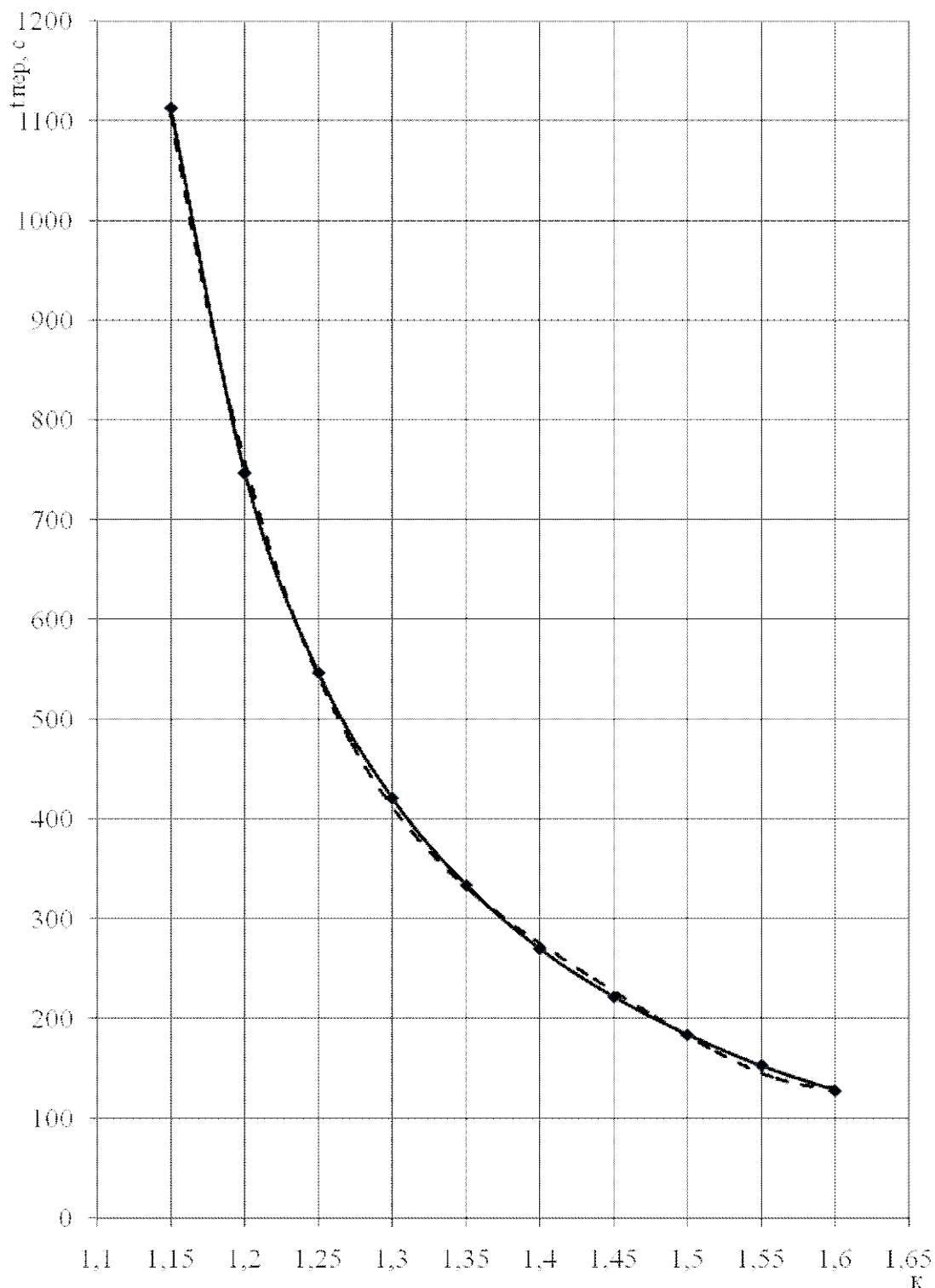


Рис. 3. Результат аппроксимации перегрузочной характеристики асинхронного электродвигателя АИР90L4У3.

## Литература

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. *Кузнецов Н.Л.* Надежность электрических машин / *Н.Л. Кузнецов.* – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

Овчаров С.В., Гончарова Н.В.

*Анотація*

**в роботі наведено аналітичне дослідження перевантажувальних характеристик асинхронних електродвигунів із умови допустимого теплового зносу ізоляції на одне перевантаження.**

**ANALYTICAL RESEARCH OF OVERLOAD CHARACTERISTICS  
OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS**

S. Ovcharov, N. Goncharova

*Summary*

**The article deals with methods of analytical research of overload characteristics of asynchronous electric motors under the conclusions of possible thermal deterioration of isolation.**

УДК 621.313.333.004.58

## ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ГРУПИ ТРИФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

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) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена розробці пристрою захисту трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи на базі мікроконтролера.

**Ключові слова** – асинхронний електродвигун, аварійні режими роботи, пристрій захисту, мікроконтролер.

*Постановка проблеми.* Експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором залишається невисокою. В аварійних режимах роботи струми, які протікають в обмотках статора та ротора електродвигуна, перевищують номінальні значення. В результаті чого перегріваються обмотки й зношується їх ізоляція, стан якої визначається не тільки значенням струму, але і його тривалістю. Знижена напруга мережі також є однією з причин виходу електродвигунів з ладу, так як вона призводить до недопустимого нагрівання обмоток, зниженню моменту, а іноді до втрати статичної стійкості. Всі основні аварійні режими роботи призводять до виходу електродвигунів з ладу, так як призводять до недопустимого нагрівання обмоток. Одна з головних причин відмов електродвигунів – це незадовільний їх захист від аварійних режимів роботи [1, 2, 4].

*Аналіз останніх досліджень.* В наш час в сільськогосподарському виробництві для захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи використовують теплові реле електромагнітних пускачів, автоматичні вимикачі, захист за напругою нульової послідовності, захист за мінімальною напругою, пристрої вбудованого температурного захисту та ін. [2, 3]. Проте, недоліки, які властиві вказаним пристроям захисту, обмежують їх використання [2, 3]. До недоліків більшості відомих електронних схем захисту асинхронних електрод-

вигунів можна віднести: малу швидкодію, застарілі схемотехнічні рішення та елементну базу, низьку функціональність та ін. [2].

*Формулювання цілей статті.* Розробка пристрою захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи в процесі їх експлуатації з метою підвищення їх експлуатаційної надійності на базі мікроконтролера.

*Основна частина.* Внаслідок аналізу умов експлуатації трифазних асинхронних електродвигунів та роботи захисних пристроїв були сформульовані вимоги до пристрою захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи, який повинен:

- мати можливість контролювати споживаний електродвигуном струм по фазах;
- мати можливість контролювати аномальну напругу в мережі як при її зростанні, так і при зниженні;
- мати достатню швидкодію відключення електродвигуна, що захищається;
- мати можливість постійного моніторингу напруги мережі, споживаного електродвигуном струму та відображення результатів на цифровому індикаторі;
- мати мале енергоспоживання;
- мати завадозахищеність;
- мати можливість автоматичного відключення і включення електродвигуна, що захищається;
- реалізований на сучасній елементній базі;
- стабільно і надійно працювати в умовах сільських електричних мереж та при зміні температури навколишнього середовища в широких межах.

Даним вимогам відповідає запропонований пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи (рис. 1). Пристрій призначений для відключення електродвигунів від мережі змінного струму у випадках зниження або зростання напруги в мережі нижче або вище значень, які задані оператором та при небезпечному зростанні споживаного електродвигуном струму. Пристрій реалізований на сучасній елементній базі, а його основою є мікроконтролер.

Пристрій захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи побудований на мікроконтролері (МК) ATmega 16, який є ведучим (master) пристроєм, та декількох мікроконтролерах ATmega 8, які є веденими (slave) пристроями. Зв'язок між мікроконтролерами здійснюється за допомогою двонаправленої двопровідної шини I<sup>2</sup>C.



Пристрій складається з наступних блоків: блоків контролю електродвигунів (БКД1 – БКД3), кожен з яких складається з веденого мікроконтролера (МК), блоку контролю струму (БКС) і напруги (БКН), блоку світлової сигналізації (БСС) і блоку реле (БР). Крім того, до складу пристрою входять ведучий мікроконтролер (МК), блок цифрової (БЦІ) та світлової сигналізації (БСС), клавіатура (КЛ), пам'ять (П), комунікаційний порт (КП) і блок живлення (БЖ).

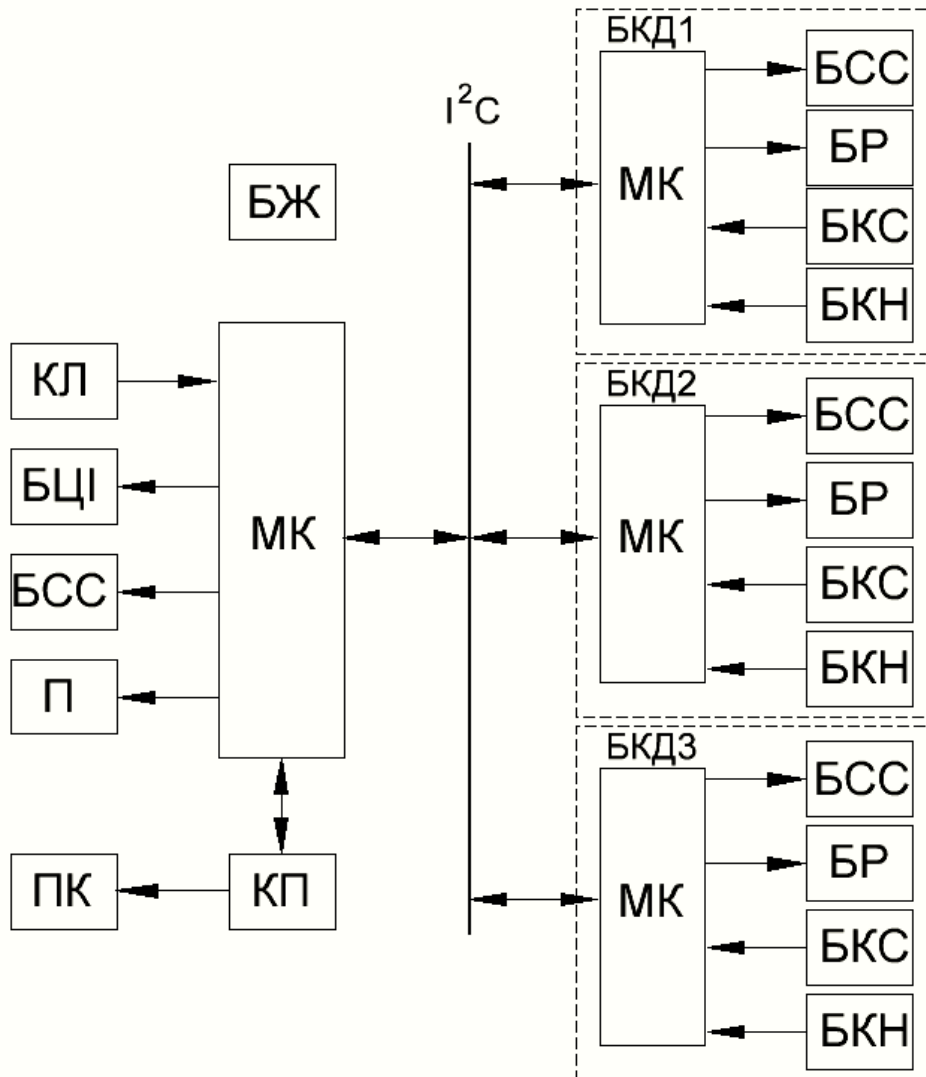


Рис. 1. Пристрій захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи.

Обмін даними між ведучим master-пристроєм та веденими slave-пристроями здійснюється за допомогою шини I<sup>2</sup>C. Всі операції по шині I<sup>2</sup>C здійснюються за допомогою тільки 2 проводів (2 ліній) – послідовної лінії даних (SDA) і послідовної лінії синхронізації (SCL).

При цьому кожний елемент визначається своїм унікальним адресом, до якого входить група приладів та номер конкретного приладу.

Блоки контролю електродвигунів (БКД1 – БКД3) призначені для контролю напруги живлення електродвигунів, струмів, які споживаються електродвигунами та керування електродвигунами. Блок контролю напруги (БКН) призначений для вимірювання напруги живлення і перетворювання її в інформативний електричний сигнал, який для подальшої обробки надходить на відповідні порти мікроконтролера (МК). Блок контролю струму (БКС) призначений для вимірювання і перетворювання струму, що споживається статорною обмоткою електродвигуна, в інформативний електричний сигнал, який для подальшої обробки також надходить на відповідні порти мікроконтролера (МК). Ведений мікроконтролер здійснює порівняння вхідних параметрів діагностування з величинами уставок. В залежності від величини вхідних параметрів (після їх порівняння із значенням уставок) МК видає керуючий сигнал на сигналізацію (БСС) або сигнал на відключення електродвигуна за допомогою блоку реле (БР).

Ведучий master-мікроконтролер задає основний потік даних на шині, формує необхідні часові інтервали, здійснює керування веденими slave-мікроконтролерами та обробку даних, що надходять від них. В залежності від стану master-МК видає сигнал на блок світлової сигналізації (БСС) та блок цифрової індикації (БЦІ). В запам'ятовуючому пристрої (П) накопичується інформація. Для вводу даних і керування пристроєм в схемі передбачена клавіатура (КЛ). Для спостереження оператором за поточним значенням величини діагностичних параметрів в пристрої передбачений блок цифрової індикації (БЦІ).

Визначення вхідних параметрів діагностування, порівняння їх з уставками, приймання та видача сигналів керування виконується за програмою. Програмою передбачений вхід даних щодо конструктивних, режимів та експлуатаційних чинників. Для цього в пристрої передбачений роз'єм для підключення програматора (призначений для запису програми в мікроконтролер) та комунікаційний порт (КП) (призначений для обміну даними між пристроєм діагностування та персональним комп'ютером).

Електричне живлення електронних блоків пристрою здійснюється від блоку живлення (БЖ).

*Висновки.* Розроблений пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів дозволяє контролювати струм, споживаний електродвигунами за допомогою інтегральних датчиків струму (датчики на ефекті Холла) і фазну напругу (наявність та рівень) і, при небезпечному їх відхиленні від заданого значення, автоматично від-

ключати електродвигун, що дозволяє захистити його від основних аварійних режимів роботи. Розроблений пристрій дозволяє зменшити вихід двигунів з ладу до 5...7%.

#### 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. *Грундулис А.О.* Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / *А.О. Грундулис.* – М.: Колос, 1982. – 104 с.

3. *Мусин А.М.* Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты / *А.М. Мусин.* – М.: Колос, 1979. – 112 с.

4. *Квитка С.О.* Пристрій діагностування та захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / *С.О. Квитка* [та ін.] // Матеріали науково-технічної конференції магістрів та студентів ТДАТУ. Випуск 10. – Т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 13–14.

## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ГРУППЫ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Квитка С.А., Безменникова Л.Н, Вовк А.Ю., Квитка А.С.

### *Аннотация*

Работа посвящена разработке устройства защиты группы трехфазных асинхронных электродвигателей от аварийных режимов работы на базе микроконтроллера.

## DEVICE FOR PROTECTION OF GROUP OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR FROM FAILURE MODES

S. Kvitka, L. Bezmennikova, O. Vovk, A. Kvitka

### *Summary*

The research is devoted to device for protection of group of three-phase asynchronous electromotor from the failure modes based on microcontroller.

УДК 620.178.16.004

## ОЦІНКА ЗНОСУ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ БІОПАЛИВО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Журавель Д.П., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-25-85

**Анотація** – робота присвячена розробці електротехнічного методу контролю зносу пар тертя в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів при триботехнічних дослідженнях.

**Ключові слова** – конденсатор, ємність, вимір, зразок, електростатичне поле.

*Постановка проблеми.* На сьогоднішній день існує багато методів вимірювання зносу трибоспряжень, але вони не дають змогу використання їх у дослідках де необхідна велика точність вимірів і похибка не повинна перевищувати частки міліметра. А для проведення специфічних вимірів, таких як вимір параметрів лунок зразків, при триботехнічних дослідженнях, не дають змогу виміряти діаметр та глибину без похибки оператора, яка найбільш впливає на результат виміру. Для вирішення цієї проблеми необхідно застосування сучасних технологій, що призведе до зменшення або повного усунення похибки оператора, а також дасть змогу прискорити процес виміру зносу зразків.

*Аналіз останніх досліджень.* На сьогоднішній день, для виміру зносу зразків, існує декілька методів, найбільшого поширення з яких набув оптичний. У цьому методі застосовується збільшувачий оптичний пристрій та лінійка. Велика похибка існуючих пристроїв має суттєвий вплив на результати виміру і тому впливає необхідність розробки нового, більш точного пристрою [1 – 3].

*Формулювання цілей статті.* Пропонується, у процесі проведення дослідів матеріалів на знос та тертя, для виміру геометричних розмірів лунок зразка використання електротехнічного методу вимірювання, що дозволить збільшити точність результатів вимірювання, зменшити похибку оператора та прискорити процес виміру.

*Основна частина.* Дослідження триботехнічних властивостей біопаливо-мастильних матеріалів проводились на машині тертя МАСТ-1. В основі методу покладено зовнішній нагрів зразків при наявності біопаливо-мастильних матеріалів на поверхні тертя, постійне контактне навантаження та постійна низька швидкість ковзання [2].

Дослід проводився за декількома схемами (рис. 1) [3].

Розглянемо схему дослідження кулька – металевий брусок (рис. 1 г). Кулька закріплюється у шпindel, що обертається. Зразок закріплюють в оправу, що розташована в чашці з змащувальним матеріалом. Далі проводиться навантаження зразків. Вихідними параметрами для аналізу триботехнічних властивостей змащувальних матеріалів є трибограма із зареєстрованих на ній зміною моменту тертя та геометричні параметри лунки ( $D$ ,  $h$ ) на поверхні циліндричної колодки. Після кожного дослідів проводився вимір вихідних параметрів та їх реєстрація.

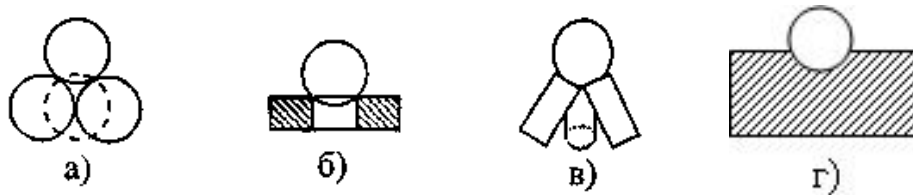


Рис. 1. Схеми дослідження пар тертя:

а) кулька, що обертається – три кульки; б) кулька, що обертається – зразок у вигляді кільця; в) кулька, що обертається – ролики; г) кулька, що обертається – циліндрична колодка.

Якщо аналіз трибограми не викликає суттєвих ускладнень, то вимір геометричних параметрів лунки потребує великої точності. Геометричними параметрами лунки є її радіус та глибина. Ці параметри вимірюються великими, дорогими, багатофункційними приладами. Це обладнання використовується в сучасних триботехнічних лабораторіях, де досліді проводяться постійно. Для одиничних лабораторних досліджень немає сенсу купувати таке дороге обладнання. Тому в таких дослідях глибину лунки розраховують аналітичним способом. Та при аналітичному розрахунку не враховуються особливості форми лунки, що приводить до похибок. Або її глибина не враховується зовсім, що також приводить до похибки. При цьому міряють лише радіус лунки оптичним пристроєм або мікрометром. Тому виникла необхідність розробки методу виміру глибини лунки для виключення похибки з кінцевого результату.

Після аналізу існуючих пристроїв виміру геометричних параметрів було вирішено запропонувати ємнісний метод виміру і розробити пристрій, що буде контролювати знос пар тертя при триботехнічних дослідженнях. В основу методу покладено явище накоплення зарядів в електростатичному полі. Тобто маємо своєрідний конденсатор.

Величинами, що впливають на ємність конденсатора є механічне переміщення, що змінює проміжок  $D$  пластиною конденсатора та поверхнею зразка, площа  $S$  пластини конденсатора, діелектрик, що впливає на діелектричну проникність  $\epsilon$  речовини. За умовами дослідів буде змінюватись зазор або склад діелектрика. В результаті проведен-

ня досліду ми отримуємо зразок (рис. 2) з досліджуваними параметрами.

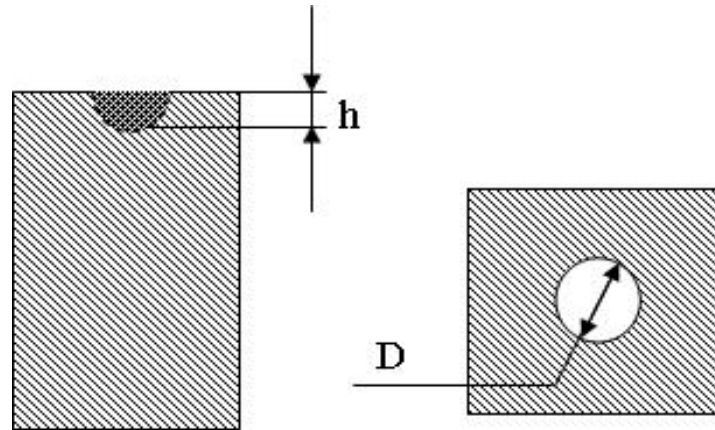


Рис. 2. Схематичне зображення зразку після проведення досліду.

Якщо зверху до зразка прикласти металеву пластину, а між ними прошарок діелектрика, отримаємо конденсатор (рис. 3). Ємність цього конденсатора буде залежати від параметрів лунки, тобто змінюватись при зміні цих параметрів.

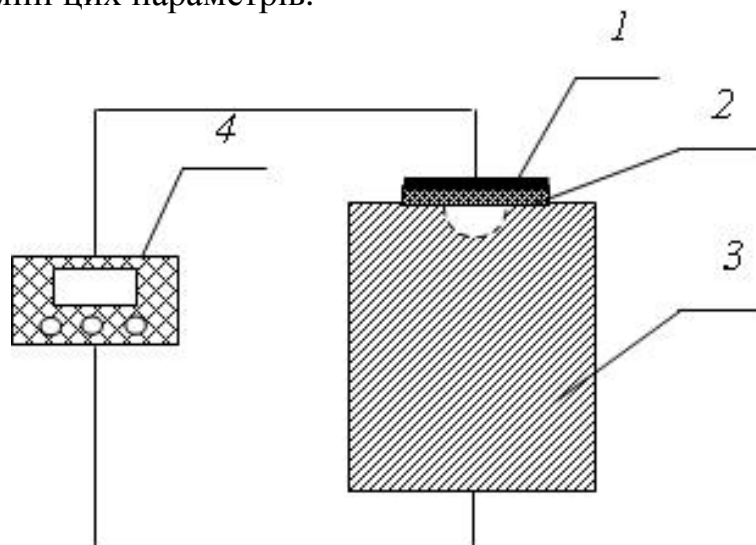


Рис. 3. Схематичний вид пристрою для контролю зносу трибо спряжень: 1) металеві пластини; 2) діелектрик; 3) зразок; 4) вимірювач ємності.

Процес виміру проходить наступним чином: зразок, лунка якого буде вимірюватись, закріплюється в затискачі. При цьому він ізолюється від нього гумовими прокладками. Після того, як встановили зразок, зверху на лунку ми встановлюємо прошарок діелектрика, таким чином, щоб він повністю перекривав лунку. Заздалегідь до діелектрика приєднується металеві пластинка. Вона відіграє роль обкладки конденсатора, що при цьому утвориться. Закріплення обкладки, утвореної з металеві пластини, виконується за допомогою зажиму з діелектричного матеріалу. До контактів, що приєднані до обкладинок

отриманого конденсатора, підключається пристрій, що вимірює ємність. При цьому пристрій попередньо відтарировано на вимір лінійних параметрів лунки.

В процесі досліду на циліндричній колодці утворюється лунка глибина якої залежить від швидкості, з якою оберталась кулька, часу досліду та матеріалу зразків. При зміні глибини лунки буде відповідно змінюватись ємність конденсатора. Глибина ( $h$ ) лунки обмежується умовою

$$h \leq R_{\text{кульки}}, \quad (1)$$

де  $h$  – глибина лунки, м;

$R$  – радіус кульки, що обертається, м.

Для того щоб переконатися чи буде змінюватись ємність при зміні параметрів лунки та її діапазон, зробимо аналітичний розрахунок. Початковими умовами будуть: зразок з лункою, обкладка, діелектрик з паперу що просочений парафіном. Задамося довільними значеннями радіусу лунки з урахуванням умови (1). Тобто він буде змінюватись від 0 до 0,005 м.

Ємність плоско-паралельного конденсатора знаходиться за формулою [4]

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність середовища;

$\varepsilon_0$  – відносна діелектрична проникність,  $\varepsilon_0 = 8,87 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$d$  – товщина діелектрика, м;

$S$  – площа обкладинок конденсатора, м<sup>2</sup>.

Оскільки мають місце одночасно два різних діелектрика, діелектрик та простір утворений лункою, з різною формою, то при представленні об'єму півкулі еквівалентним кубом, можна представити їх як два послідовно з'єднаних конденсатора. Ємність послідовно з'єднаних конденсаторів розраховується за формулою [4]

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \quad (3)$$

де  $C_1$  – ємність першого конденсатора з діелектрика, Ф;

$C_2$  – ємність другого конденсатора з еквівалентним кубом, Ф.

Ємність першого конденсатора, що має плоско-паралельну форму розраховуємо за формулою (2) при квадратній формі пластин та довжині сторони  $a_e = 1,2 \cdot r = 0,006$  м. Ємність другого конденсатора визначається за формулою

$$C_2 = \frac{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot d_n^2(h)}{d_n(h)}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_2$  – діелектрична проникність об'єму лунки, Ф/м;

$d_n(h)$  – довжина грані умовного кубу у функції досліджуваної глибини лунки, м.

Підставивши у формулу (3) значення ємностей (2) та (4), отримаємо

$$C = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot a_e^2 \cdot d_l(h)}{\varepsilon_1 \cdot a_e^2 + \varepsilon_2 \cdot d_l(h) \cdot d}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon_1$  – відносна діелектрична проникність діелектрика плоского конденсатора;

$\varepsilon_2$  – відносна діелектрична проникність об'єму кульки;

$d$  – товщина діелектрика плоского конденсатора, м;

$a_e$  – площа обкладинок конденсатора, м<sup>2</sup>.

Відповідно до отриманої формули загальної ємності конденсатора можна відзначити, наявність кореляційного зв'язку  $C(h)$  з глибиною лунки  $h$ . Це можливо у випадку сталості параметрів конденсаторів:  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $d$ ,  $a_e$ .

Глибину лунки  $h$  можна розрахувати за формулою

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_l^2}}{2}, \quad (6)$$

де  $D$  – діаметр кульки, м;

$d_l$  – діаметр лунки, м.

В результаті аналізу впливу матеріалів діелектриків  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  на загальну ємність досліджуваного послідовного конденсатора (5) необхідно зауважити, необхідність використання матеріалів однакової діелектричної проникності (таблиця 1). Оскільки, відомо, що у виразі  $x_1 \cdot x_2 / (x_1 + x_2)$ , де  $x_1$  та  $x_2$  довільні постійні, значення буде максимальним при  $x_1 = x_2$ , або у випадку  $x_1 < x_2$  менше за  $x_1$ .

Таблиця 1 – Відносна діелектрична проникність поширених діелектриків [4]

Дистильована вода	81,0
Гліцерин	39,2
Керосин	2,0
Парафін	2,2
Слюда	7,0
Скло	7,0
Ебоніт	3,0
Повітря	1,006

*Висновки.* Впровадження даного методу у дослідницький процес дозволить збільшити точність вимірювань геометричних параметрів, що буде суттєво впливати на результати досліджень. Прискорення процесу виміру дозволить заощадити час і використати його на проведення інших операцій, пов'язаних з дослідом. Пристрій на основі запропонованого методу буде мати невелику вартість. В результаті аналізу розрахункової формули ємності необхідно зазначити, що діелектрик,



який ізолює пластину конденсатору від досліджуваної поверхні, та заповнює об'єм лунки повинен бути або однаковим або мати максимально однакові значення відносної діелектричної проникності (рекомендовано використовувати дистильовану воду з гумовими упорами рухомої пластини конденсатора, пару діелектриків (ебоніт + парафін).

Подальші теоретичні та практичні дослідження необхідно спрямувати на обґрунтування параметрів  $d_n(h)$ , виборі технічних засобів дослідження, методики виконання експерименту та обробки результатів, розробка заходів щодо виробничого використання обладнання.

#### Літераура

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника/ *Д.Н. Гаркунов* – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

2. *Интернет ресурс*, Russian Hamradio, радіотехнічний сервер републіки Комі [Електроний ресурс].: – Режим доступу: <http://qrx.narod.ru/hams/tel kl.htm>

3. *Аксенов А.Ф.* Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях / *А.Ф. Аксенов* – М.: Машиностроение, 1977. – 154 с.

4. *Тевяцев А.Д.* Фізика у прикладах та задачах: Навч. посібник / *А.Д. Тевяцев, А.І. Рибалка, І.М. Кібець, В.О. Стороженко.* – Харків: ХТУРЕ, 2000. – 628 с.

## ОЦЕНКА ИЗНОСА ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ В СРЕДЕ БИОТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Журавель Д.П.

### *Аннотация*

**Работа посвящена разработке электротехнического метода контроля износа пар трения в среде биотопливо-смазочных материалов при триботехнических исследованиях**

## ESTIMATION OF WEAR OF TRAJEJOINT IS IN THE ENVIRONMENT OF BIOFUEL AND OIL MATERIALS

D. Juravel

### *Summary*

**That work is devoted to development of electrotechnical quality monitoring of wear of pairs friction in the environment of biofuel at the tribotechniques researches.**

УДК 631.317

## **СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ФУНКЦІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН**

Гончарова Н.В., аспірант\*,

Нестерчук Д.М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена систематизації та аналізу функцій перетворення первинних вимірювальних перетворювачів неелектричних величин. Наведені конструктивні схеми перетворювачів та аналітичні вирази, які описують залежності вихідних електричних величин від вхідних неелектричних величин.

**Ключові слова** – функція перетворення, первинний вимірювальний перетворювач, вхідна неелектрична величина, вихідна електрична величина.

*Постановка проблеми.* Розвиток електроніки та обчислювальної техніки став передумовою для широкої автоматизації найрізноманітніших процесів в промисловості, в наукових дослідженнях, в побуті. Реалізація цієї передумови визначається можливостями технічних засобів вимірювань для отримання вимірювальної інформації про досліджуваний параметр або процес.

Контролюючи технологічні процеси і наукові дослідження, необхідно вимірювати різноманітні неелектричні величини, кількість значно перевищує кількість електричних та магнітних величин. Згідно метрологічних положень існують три технічні засоби, а саме, датчик, первинний вимірювальний перетворювач та вимірювальний перетворювач, які призначені для вимірювання неелектричних величин.

За визначенням датчик – це конструктивно відокремлений первинний перетворювач, до якого надходять вимірювальні сигнали. Необхідність перетворення вимірюваної неелектричної величини в адекватний їй електричний сигнал стала підставою для введення в метрологію терміну «вимірювальний перетворювач» та «первинний вимірювальний перетворювач».

Розвиток та удосконалення напівпровідникової технології до-

---

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

© аспірант Гончарова Н.В., к.т.н. Нестерчук Д.М.

зволило також розширити сфери застосування первинних перетворювачів та датчиків, а також підвищити їх точність, швидкодію, надійність, довговічність, зручність сполучення з електронними вимірювальними схемами.

До первинних перетворювачів висуваються вимоги: мініатюрність (можливість вбудовування), механічна міцність, відтворюваність, відносна дешевизна та висока точність при перетворенні неелектричної величини в електричну [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Згідно з ДСТУ 2681-94 вимірювальний перетворювач – це вимірювальний пристрій, який здійснює вимірювальне перетворення, тобто вимірювальну операцію, під час якої вхідна величина перетворюється у вихідну, функційно з нею пов'язану.

Первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) – це вимірювальний перетворювач, який перший взаємодіє із об'єктом вимірювання і є перетворювачем роду фізичної величини.

Згідно аналізу літературних джерел [1 – 4] в основу принципу дії первинних вимірювальних перетворювачів покладене певне фізичне явище або ефект, відповідно до яких всі ПВП поділяються на такі групи: механічні, резистивні, електростатичні, електромагнітні, оптико-електричні та теплові.

Основною статичною характеристикою ПВП є функція перетворення.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Завданням статті є систематизація та аналіз функцій перетворення найбільш розповсюджених первинних вимірювальних перетворювачів в галузі електричних вимірювань неелектричних величин.

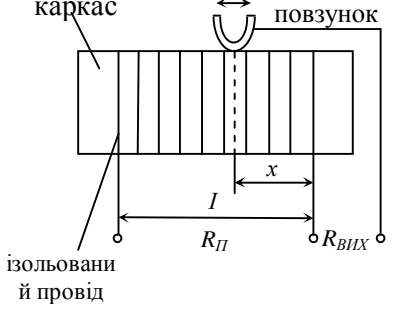
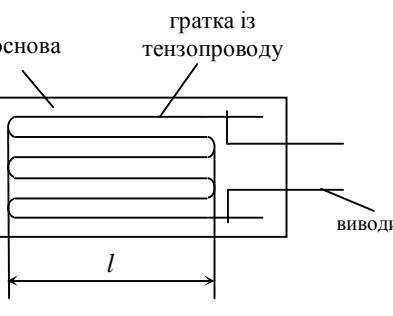
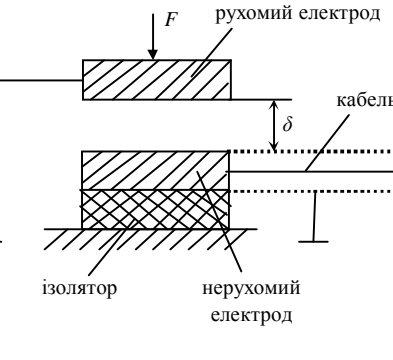
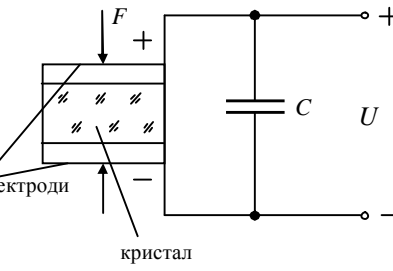
*Основна частина.* В даний час широко застосовуються різні первинні вимірювальні перетворювачі. У будь-якому каталозі електронних компонентів вони представлені досить повно, причому кожен тип перетворювача має кілька варіантів виконання.

Наявність повної технічної інформації про всі типи первинних вимірювальних перетворювачів та про їх технічні характеристики дозволяє вирішувати задачі вибору необхідного для вимірювання перетворювача, і тільки тоді можна бути повністю впевненим у вірному використанні перетворювача.

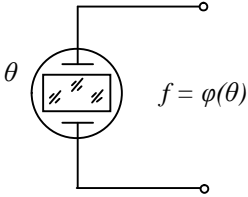
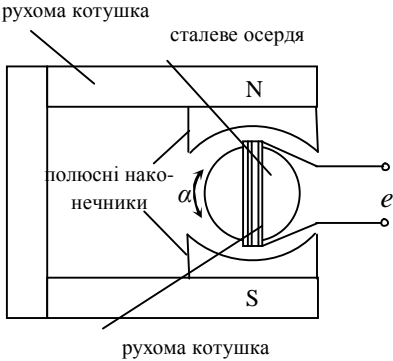
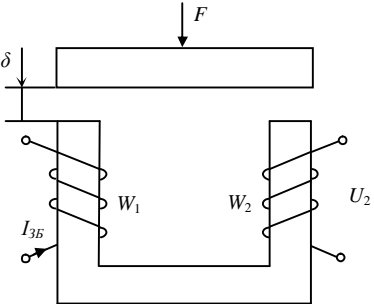
Детальний аналіз літературних джерел [1 – 4] дозволив зробити висновок, що відсутня систематизована інформація щодо опису функцій перетворення ПВП для вимірювання найвідоміших неелектричних величин. Функція перетворення ПВП – це залежність вихідної електричної величини від вхідної неелектричної. Функція перетворення ПВП може бути описана аналітичним виразом або у вигляді таблиць.

В таблиці 1 наведені спрощені конструктивні схеми перетворювачів та аналітичні вирази, які описують залежності вихідних електричних величин від вхідних неелектричних величин. [2 – 4].

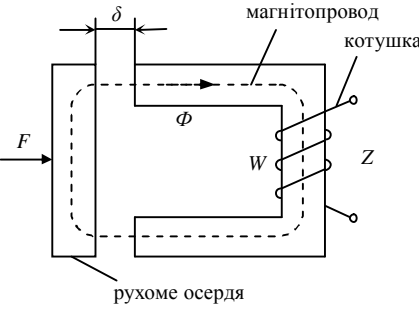
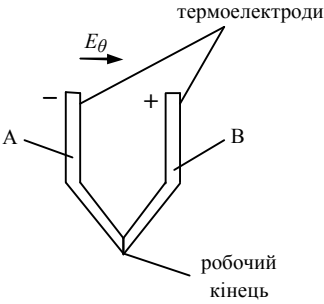
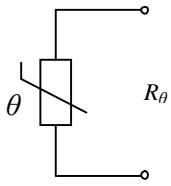
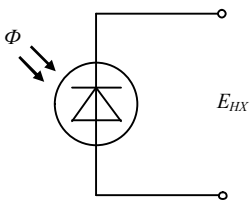
Таблиця 1 – Функція перетворення первинного вимірювального перетворювача

Найменування ПВП	Спрощена конструктивна схема перетворювача	Аналітичний вираз, який описує функцію перетворення ПВП
Реостатний перетворювач		$R_{вих} = f(x) = \frac{R_{П}}{l} \cdot x,$ <p>де <math>R_{вих}</math> – повний опір ПВП;  <math>l</math> – довжина;  <math>x</math> – лінійне переміщення.</p>
Тензорезистивний перетворювач		$\Delta R = \frac{k \cdot R}{l} \cdot \Delta l,$ <p>де <math>k</math> – коефіцієнт тензочутливості;  <math>l</math> – довжина бази тензорезистора;  <math>\frac{\Delta l}{l}</math> – відносна зміна довжини бази тензорезистора.</p>
Ємнісний перетворювач		$C = f(\delta) = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S \cdot \frac{1}{\delta},$ <p>де <math>\varepsilon_0</math> – діелектрична стала;  <math>\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}</math>;  <math>\varepsilon</math> – відносна діелектрична проникність середовища між електродами;  <math>S</math> – площа електродів.</p>
П'єзоелектричний перетворювач сили		$U = f(F) = \frac{d}{C} \cdot F,$ <p>де <math>d</math> – п'єзоелектричний модуль;  <math>C</math> – ємність, утворена електродами.</p>

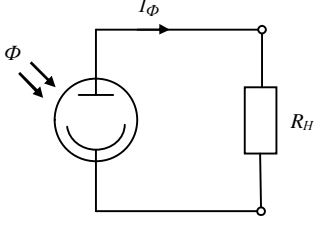
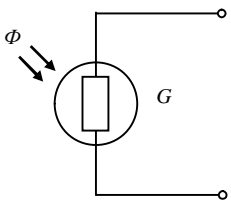
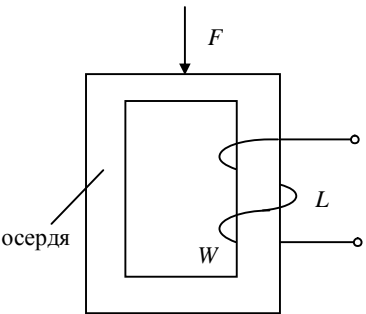
Продовження таблиці 1

Найменування ПВП	Спрощена конструктивна схема перетворювача	Аналітичний вираз, який описує функцію перетворення ПВП
П'єзоелектричний перетворювач температури		$f = \varphi(\Theta) = f_0 \times [1 + k_1 \cdot (\Theta - \Theta_0) + k_2 \cdot (\Theta - \Theta_0)^2 + k_3 \cdot (\Theta - \Theta_0)^3]$ <p>де <math>f</math> – частота коливань ПВП;  <math>f_0</math> – власна частота його коливань при початковій температурі <math>\Theta_0</math>;  <math>k_1, k_2, k_3</math> – сталі коефіцієнти.</p>
Індукційний перетворювач		$e = f(\alpha) = -B \cdot W \cdot S \frac{d\alpha}{dt},$ <p>де <math>B</math> – індукція в робочому зазорі;  <math>S = \frac{\pi d^2}{4}</math> – активна площа рамки;  <math>d</math> – діаметр рамки;  <math>W</math> – кількість витків рамки;  <math>\alpha</math> – кутове переміщення рамки.</p>
Трансформаторний перетворювач		$U_2 = f(\delta) = \omega W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot I_{3B} \cdot \frac{1}{2\delta},$ <p>де <math>I_{3B}</math> – струм збурення;  <math>S</math> – площа поперечного перерізу осердя;  <math>W_1, W_2</math> – кількість витків первинної та вторинної обмотки.</p>

Продовження таблиці 1

Найменування ПВП	Спрощена конструктивна схема перетворювача	Аналітичний вираз, який описує функцію перетворення ПВП
Індуктивний перетворювач		$Z = f(\delta) = \omega \cdot W^2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot \frac{1}{2\delta},$ <p>де <math>Z</math> – комплексний опір обмотки з кількістю витків <math>W</math>;  <math>\omega</math> – кутова частота;  <math>\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}</math> Гн/м – магнітна стала;  <math>S</math> – площа поперечного перерізу магнітопроводу;  <math>\delta</math> – довжина повітряного зазору;  <math>\Phi</math> – магнітний потік.</p>
Термоелектричний перетворювач		$E_{\theta} = f(\Theta) = E(\Theta_P) - E(\Theta_B),$ <p>де <math>\Theta_P</math>, <math>\Theta_B</math> – відповідно температура робочого та вільних кінців термопари.</p>
Терморезистивний перетворювач		$R_{\theta} = f(\Theta) = R_0 + (1 + \alpha\Theta),$ <p>де <math>\alpha</math> – температурний коефіцієнт опору.</p>
Фотодіод		$E_{HX} = f(\Phi) = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{S_I \Phi}{I} - 1 \right),$ <p>де <math>E_{HX}</math> – фотоЕРС;  <math>k</math> – стала Больцмана;  <math>T</math> – абсолютна температура;  <math>e</math> – заряд електрона;  <math>S_I</math> – чутливість;  <math>I_S</math> – тепловий струм.</p>

Продовження таблиці 1

Найменування ПВП	Спрощена конструктивна схема перетворювача	Аналітичний вираз, який описує функцію перетворення ПВП
Електровакуумний фотоелемент		$I_{\phi} = f(\Phi) = S_{\text{ИТ}} \cdot \Phi,$ <p>де <math>I_{\phi}</math> – фотострум, мА;  <math>\Phi</math> – світловий потік, лм;  <math>S_{\text{ИТ}}</math> – інтегральна чутливість фотокатода, мА/лм.</p>
Фоторезистор		$G = f(\Phi) = \Phi \cdot a,$ <p>де <math>G</math> – електропровідність фоторезистора;  <math>a</math> – коефіцієнт не лінійності енергетичної характеристики фотопровідності.</p>
Магнітопружний перетворювач		$\Delta L = f(\sigma) = \frac{W^2}{\varepsilon_i} \cdot S \cdot \mu \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma,$ <p>де <math>\Delta L</math> – приріст індуктивності обмотки з кількістю витків <math>W</math>;  <math>\sigma</math> – механічне напруження в осерді;  <math>S</math> – площа поперечного перерізу осердя;  <math>\varepsilon_i</math> – відносна деформація;  <math>\mu</math> – магнітна проникність матеріалу осердя;  <math>k_{\sigma}</math> – коефіцієнт магнітопружної чутливості.</p>

**Висновки.**

Таким чином, здійснена систематизація функцій перетворення первинних вимірювальних перетворювачів для вимірювання неелектричних величин дозволила наочно описати функціональні взаємозв'язки між електричними та неелектричними величинами, що вимірюються.

### Література

1. *Бриндли К.* Измерительные преобразователи: Справочное пособие: Пер. с англ. / *К. Бриндли.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. *Дорожовець М.* Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т. / *М.Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик;* За ред. *Б. Стадника.* – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.
3. *Полищук Є.С.* Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник. / *Є.С. Полищук.* – Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 360 с.
4. Измерения электрических и неэлектрических величин / *Н.Н.Евтихийев, Я.А. Куперимидт* и др.; Под общ. ред. *Н.Н.Евтихьева.* – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Гончарова Н.В., Нестерчук Д.Н.

### *Аннотация*

**Работа посвящена систематизации и анализу функций преобразования первичных измерительных преобразователей. Приведены конструктивные схемы преобразователей и аналитические выражения, которые описывают зависимости выходных электрических величин от входных неэлектрических величин.**

## **SYSTEMATIZATION AND ANALYSIS FUNCTIONS TRANSFORMATION OF PRIMARY MEASURING NON- ELECTRICAL QUANTITIES TRANSDUCERS**

N. Goncharova, D. Nesterchuk

### *Summary*

**The work is dedicated to organizing and analyzing the functions of transformation of primary transmitters. It shows the design of the converter circuit and analytic expressions that describe dependences of the output from the input electrical quantities of non-electrical quantities.**



УДК 664.7:631.3-52

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННО-ГРАДИЕНТНОГО МЕТОДА

Фурман И.А., д.т.н.,

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко,*

Тел. (057) 7123537,

Диордиев В.Т., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-57-97.

**Аннотация** – в статье приведена методика расчета параметров оптимального управления динамическими дискретными объектами при значительном числе тактов управления.

**Ключевые слова** – проекционно-градиентный метод, обобщенная модель, стабилизирующий вектор, матрица коэффициентов.

*Постановка проблемы.* В настоящее время для формализации свойств динамических объектов кормопроизводства используется процедура замены в процессе алгоритмических преобразований нулевых элементов на ненулевые, что характерно для известных методов оптимизации и требует значительных объемов вычислений.

*Анализ последних исследований.* Упрощению процедуры оптимизации управления такими объектами посвящен целый ряд работ как отечественных, так и зарубежных исследователей [1, 4, 5]. Однако практически все они направлены на использование преимущественно положений динамического программирования, упрощающего лишь процедуру собственно расчета и не учитывающего минимизацию интегральный критерий энергоэффективности.

*Формулирование цели статьи.* Целью настоящей статьи является использование проекционно-градиентного метода для уменьшения количество итераций при формализации параметров динамических объектов, что способствует упрощению алгоритмического и программного обеспечения задач оптимального оперативного управления ими. В качестве существенного достоинства данного алгоритма следует отметить, что для окончательного формирования вектора сдвига используется исходная разреженная матрица коэффициентов.

*Основная часть.* Для рассматриваемого класса объектов, к которым относятся электротехнические комплексы по производству

комбикормов в АПК [2 – 4, 5] обобщенная модель дискретного типа будет иметь вид

$$\vec{x}_k^0 = [A^0] \vec{x}_{k-1} + [B^0] \vec{u}_k; k = \overline{1, N_t}; \dim \vec{x}^0 = \dim \vec{u}^0 = N_p, \quad (1)$$

где  $[A^0]$  – матрица параметров объекта;  
 $[B^0]$  – матрица параметров управления;  
 $\vec{x}$  – вектор управляемых координат;  
 $\vec{u}$  – вектор управляющих координат (величин);  
 $\dim \vec{x}$  – оператор сдвига;  
 $N_t$  – число тактов управления.

При этом для дальнейшего анализа принято, что размерность вектора управляющих воздействий равна размерности  $N_p$  вектора регулируемых величин. На указанные величины накладываются двусторонние ограничения

$$\vec{x}^{\min} \leq \vec{x}_k^0 \leq \vec{x}^{\max}; \vec{u}^{\min} \leq \vec{u}_k^0 \leq \vec{u}^{\max}; \forall k = \overline{1, N_t}, \quad (2)$$

где ставится задача нахождения такой последовательности  $\{\vec{u}_k^0, k = \overline{1, N_t}\}$  управляющих воздействий, которая доставляет минимум некоторому критерию качества функционирования системы (в рассматриваемом случае это интегральный критерий энергоэффективности)

$$\vec{f}^0 = f^0(\vec{x}_1^0, \dots, \vec{x}_{N_t}^0, \vec{u}^0, \dots, \vec{u}_{N_t}^0) \quad (3)$$

при заданном векторе начальных условий объекта  $\vec{x}^0$ . При соответствующих обозначениях [4] данная задача записывается в виде эквивалентной задачи математического программирования:

$$\text{найти} \rightarrow \vec{x} = \vec{x}^{opt} : f(\vec{x}) \rightarrow \min; [h](\vec{x}) = 0; \vec{x}^{\min} \leq \vec{x} \leq \vec{x}^{\max}, \quad (4)$$

$$\text{где } [h]^T = [h_1^T \dots h_{N_t}^T]; \dim h = N_t N_p \stackrel{\Delta}{=} m; \quad (5)$$

$$h_k = [A^0] \vec{x}_{k-1}^0 + [B^0] \vec{u}_k^0 - \vec{x}_k^0; \quad (6)$$

$$\vec{x}^T = [\vec{x}_0^{0T}, \vec{x}_1^{0T}, \vec{u}_1^{0T}, \dots, \vec{x}_{N_t}^{0T}, \vec{u}_{N_t}^{0T}]; \dim \vec{x} = (2N_t + 1)N_p \stackrel{\Delta}{=} n, \quad (7)$$

т.е. сложность алгоритма расчета параметров оптимального управления объектом (2.3) определяется функциональной сложностью решения задачи математического программирования (4 – 7).

В данном случае искомый вектор определяется с помощью рекуррентной процедуры [6]

$$\vec{x}_k = \vec{x}_{k-1} + \Delta t(\vec{x}) \vec{u}_k; k = 1, 2, \dots; \vec{x}_0 = (\vec{x}^{\min} + \vec{x}^{\max}) / 2, \quad (8)$$

где  $\Delta t$  – шаг процедуры;  $k$  – номер итерации, а смысл и размерность введенных вектора переменных  $\vec{x}$  и вектора сдвига  $\vec{u}$  обусловлены формой задачи (4 – 7). Вектор сдвига является общим решением неопределенной системы линеаризованных алгебраических уравнений:

$$\vec{u} : [A] \vec{u} = \vec{b}; \vec{b} = -\vec{h}; \|\vec{u} - \nabla \vec{f}\| \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$[A^0]^\Delta = \begin{bmatrix} A^0 : -E : B^0 & & & \\ & A^0 : O : -E : B^0 & & \\ & & \ddots & \\ & & & A^0 : O : -E : B^0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $[A^0]$  – якобиан ограниченный-равенств;

$\nabla \vec{f}(x)$  – вектор градиента оптимизируемой функции,

при этом  $\dim E = N_p \times N_p$ . Данный вектор принят равным взвешенной сумме двух векторов – стабилизирующего и вектора ортогональной проекции градиента минимизируемой функции

$$\vec{u} = \vec{u}_q + \gamma \vec{u}_p; \gamma < 0; |\gamma| < 1, \quad (11)$$

где параметр  $\gamma$  выбирается так, чтобы обеспечить устойчивое движение к допустимой области при одновременном достижении точки экстремума и эти векторы должны удовлетворять условиям:

$$\vec{u}_q : [A] \vec{u}_q = \vec{b}; \vec{u}_p : [A] \vec{u}_p = 0; \|u_p - \nabla f\| \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$\vec{u}_q = [R] \hat{u}_q; \vec{u}_p = [R] \hat{u}_p; [R] = \text{diag} \alpha_i(\bar{x}); i = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Векторы  $\hat{u}_q, \hat{u}_p$  – соответствующие решения уравнения (9) в неевклидовой метрике, определяемой диагональной матрицей  $[R]$ , при чем величины элементов этой матрицы зависят от положения изображающей точки относительно двусторонних ограничений

$$\alpha_i = 2d_i^{\min} d_i^{\max} / (d_i^{\min} + d_i^{\max} + 2d_i^{\min} d_i^{\max}); d_i^{\min} = x_i - x_i^{\min}; d_i^{\max} = x_i^{\max} - x_i. \quad (14)$$

Разности векторов сдвига в принятой неевклидовой и евклидовой метриках являются коэффициентами притяжения ограничений-неравенств, равные разности множителей Лагранжа ограничений, соответствующих нижней и верхней границам допустимого изменения переменных [7]:

$$\vec{S}_q = \hat{u}_q - u_q = \lambda_q^{\min} - \lambda_q^{\max}; \quad (15)$$

$$\vec{S}_p = \hat{u}_p - u_p = \lambda_p^{\min} - \lambda_p^{\max}. \quad (16)$$

Возможность такого простого вычисления указанных величин является принципиальной особенностью рассматриваемого метода, которая позволяет эффективно учитывать активность ограничений неравенств при движении к экстремуму оптимизируемой функции.

Следует отметить некоторые особенности алгоритма расчета вектора сдвига. В данном случае стабилизирующая и проективная составляющие вектора сдвига в неевклидовой метрике задаются в форме

$$\hat{u}_q = [A]^T \hat{\lambda}_q; \hat{u}_p = \nabla f - [A]^T \hat{\lambda}_p; \dim \hat{\lambda}_q = \dim \hat{\lambda}_p = m, \quad (17)$$

т.к. функции исходных градиентов ограничений-равенств линейные. Необходимые значения множителей Лагранжа – весовых коэффици-

ентов указанных выше градиентов являются решениями систем уравнений с симметричной матрицей коэффициентов, но с различными правыми частями

$$[G]\hat{\lambda}_q = \bar{b}; [G]\hat{\lambda}_p = [A][R]\nabla f; [G] = [A][R][A]^T. \quad (18)$$

Решение (2.20) в соответствии с [6] проводится на основе преобразования их в системы уравнений с верхней треугольной матрицей коэффициентов

$$[\tilde{G}]\hat{\lambda}_q = \bar{b}; [\tilde{G}]\hat{\lambda}_p = \nabla f. \quad (19)$$

Элементы матрицы коэффициентов этих уравнений вычисляются с помощью процедуры:

$$j = 1: \tilde{g}_{11} = g_{11}; g_{11} = [a_1]^T [R][a_1]; \quad (20)$$

$$j = \overline{2, m}: \tilde{g}_{j1} = g_{j1}; g_{j1} = g_{ji} - \sum_{\ell=1}^{j-1} \frac{g_{j\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}} = [a_j]^T [a_i]; \quad (21)$$

$$\tilde{g}_{jj} = g_{jj} - \sum_{i=1}^{j-1} \frac{g_{ji}^2}{\tilde{g}_{ii}} = [a_j]^T [R][a_j], \quad (22)$$

а их правые части вычисляются с помощью процедуры

$$\tilde{g}_{m+1,1} = g_{m+1,1}; \tilde{g}_{m+1,i} = g_{m+1,i} - \sum_{\ell=1}^m \frac{\tilde{g}_{m+1,\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}}; i = \overline{2, m}, \quad (23)$$

где  $\bar{g}_{m+1} = \bar{b}$  при определении стабилизирующего вектора, а величина  $\bar{g}_{m+1} = [A][R]\nabla f$  – вектора проекции градиента. Координатные составляющие искомого вектора решения, обозначенного далее как  $\lambda_{m+1,j}$ , вычисляются начиная с последней по нумерации составляющей при помощи процедуры:

$$j = m: \hat{\lambda}_{m+1,m} = \frac{\tilde{g}_{m+1,m}}{\tilde{g}_{mm}}; \quad (24)$$

$$j = \overline{m-1, 1}: \hat{\lambda}_{m+1,j} = \left( \tilde{g}_{m+1,j} - \sum_{\ell=j+1}^m \hat{\lambda}_{m+1,\ell} \frac{g_{\ell j}}{\tilde{g}_{jj}} \right). \quad (25)$$

Отличие процедур (2.22) и (2.26) заключается в формальном отсутствии величин  $\frac{\tilde{g}_{j\ell}^2}{\tilde{g}_{\ell\ell}} = \hat{\lambda}_{j\ell}$  – коэффициентов ортогонализации Грама-Шмидта, что позволяет уменьшить число вычислительных операций и не вводить новых переменных, хотя количество вычислений несколько увеличивается.

Учет структуры ограничений-равенств осуществляется из уравнений динамики управляемого процесса. В данном случае главная вычислительная часть рассматриваемого алгоритма оптимизации-

решения системы уравнений (18), который надо проводить на каждой итерации рекуррентной процедуры (8). Для реализации этого решения необходимо сформулировать матрицу коэффициентов уравнений (18) – матрицу Грамма векторов коэффициентов исходной недоопределенной системы уравнений (9), обусловленной уравнениями объекта (1). Учет структуры ограничений сводится к исключению из алгоритма преобразований, связанных с указанными элементами. Из рассматриваемой матрицы достаточно выделить только ненулевые элементы и в этом случае требуемая матрица коэффициентов представляется в виде функционально и структурно идентичных блоков размерности  $2N_p \times N_p$ , число которых должно быть равно числу тактов управления  $N_t$ , где каждый блок содержит две матрицы

$$[S_j]^T = \left[ \begin{array}{c} G'_j \\ G'_{j,j+1} \end{array} \right]; j = \overline{1, N_t}, \quad (26)$$

где матрица  $[G'_j]$  – матрица Грамма, т.е. скалярных произведений векторов коэффициентов уравнения объекта, сформированная для одного такта управления. С учетом принятой неевклидовой метрики, а также уравнения

$$[G'_j] = [R_j^x] + [A][R_{j-1}^x][A]^T = [B][R_j^u][B]^T; \quad (27)$$

$$[R_j^x] = \text{diag} \alpha_{ji}^x; [R_j^u] = \text{diag} \alpha_{ji}^u; i = \overline{1, N_p}. \quad (28)$$

Матрица  $[G'_{j,j+1}]$  – матрица скалярных произведений векторов коэффициентов уравнения объекта (2.3), записанного для  $j$ -го такта, и векторов коэффициентов этого же уравнения, записанного для  $(j + 1)$ -го такта:

$$[G'_{j,j+1}] = -[A][R_j^x] \quad (29)$$

Здесь на каждом блоке преобразуется по алгоритму (20), а правые части уравнений (18) – по алгоритму вида (23), после чего с помощью уравнений (23) вычисляются множители Лагранжа ограничений-равенств, а с помощью выражений (17) и (13) – искомые векторы сдвига для всех переменных.

*Вывод.* Данный подход позволяет решить задачу расчета оптимального управления динамическими дискретными объектами при значительном числе тактов управления, что является обычно ограничивающим условием с вычислительной точки зрения. Здесь не используется процедура замены в процессе алгоритмических преобразований нулевых элементов на ненулевые, характерная для известных методов оптимизации. При этом значительно уменьшается количество итераций для получения решения по алгоритму проекционно-градиентного метода оптимизации, что способствует упрощению алгоритмического и программного обеспечения задач оптимального оперативного управления динамическими объектами.

## Література

1. *Диордиев В.Т.* Системо- и схмотехническая база реализации многокритериальной системы прямого цифрового регулирования параметров технологических процессов производства комбикормов в условиях хозяйств / *Диордиев В.Т., Труфанов И.Д., Кашкарев А.А.* // Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. – К.: 2008. – Ч.5 – С.102–108.
2. *Диордиев В.Т.* Декомпозиция задачи идентификации реального технологического процесса кормоприготовления / *В.Т. Диордиев.* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, Вип. 9, Т.3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – С.151–159.
3. *Диордиев В.Т.* АСК технологічними комплексами виробництва комбикормів у контексті наскрізного алгоритму керування виробництвом. / *В.Т. Диордиев, А.О. Кашкарьов* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 117. – С.125–128.
4. *Дорф Р.* Современные системы управления (пер. с англ. Б.И. Копылова.) / *Р. Дорф, Р. Бишон.* – М.: ЮНИАМЕДИАСТАЙЛ, 2002. – 832 с.
5. *Филипс И.* Системы управления с обратной связью / *И. Филипс, Р. Харббер.* – М.: ЮНИМЕДИАСТАЙЛ, 2001. – 616 с.
6. *Черницкий В.И.* Математическое моделирование стохастических систем / *В.И. Черницкий.* – Петрозаводск: Издательство Петрозаводского ун-та, 1994. – 200 с.

**ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ ПРОЕКЦІЙНО-  
ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ**

Фурман І.О., Діордієв В.Т.

*Анотація*

**В статті приведена методика розрахунку параметрів оптимального регулювання динамічними дискретними об'єктами при значній кількості тактів управління.**

**THE THEORETICAL ASPECTS OF MATHEMATICAL  
DESCRIPTION OF AUTOMATED OBJECT BASED  
ON PROJECTION GRADIENT METHOD**

I. Furman, V. Diordiev

*Summary*

**The article describes methods of calculating the parameters of the optimal control of dynamic discrete objects in a large number of cycles control.**

УДК 621. 316. 929

## ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ ВІДХИЛЕННІ НАПРУГИ МЕРЕЖІ

Попова І.О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – в роботі наведено структурну електричну схему пристрою контролю захисту асинхронного двигуна при зменшенні напруги на його затискачах.

**Ключові слова** – відхилення напруги, контроль, захист, асинхронний двигун.

*Постановка проблеми.* При експлуатації трифазних асинхронних електродвигунів в сільськогосподарському виробництві аварійність їх дуже висока через низьку якість електричної енергії в системах електропостачання загального значення, оскільки лінії електропередачі в сільському господарстві мають велику довжину і джерела живлення, доволі часто, мають співвідносну потужність з асинхронними електродвигунами, тому при запуску асинхронних двигунів великої потужності відхилення напруги на інших асинхронних двигунах технологічних ліній досягає значних величин [1, 2].

Якість електричної енергії в системах електропостачання регламентується стандартом, в якому встановлюються показники і норми якості електричної енергії в електричних колах систем електропостачання змінного трифазного і однофазного струму частотою 50 Гц, в тому числі і для відхилення напруги на споживачах.

В стандарті встановлено два види норм: нормально допустиме значення та гранично допустиме значення відхилення напруги. Нормально допустиме значення сталого відхилення напруги  $\delta U$  при його зниженні на виводах споживачів електроенергії встановлюється 5%, а гранично допустиме значення сталого відхилення напруги  $\delta U$  при його зниженні на виводах споживачів електроенергії встановлюється 10% [3].

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз експлуатаційних режимів роботи асинхронного двигуна при відхиленні напруги на затискачах в бік зменшення, доводить, що цей режим призводить до зменшення

обертового моменту двигуна у квадратичній залежності від зниження напруги, зниженню частоти обертання, зменшенню повного опору обмотки, все це призводить до збільшення сили фазних струмів і, як наслідок, збільшення швидкості теплового зносу ізоляції обмоток статора [1].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Завданням є розробити пристрій контролю на рівні сталого нормально допустимого (5%) відхилення напруги і захисту при відхиленні напруги на затискачах двигуна більше гранично допустимого (10%).

*Основна частина.* Розроблений пристрій забезпечує виконання наступних умов:

- контроль зниження напруги на 5-10% на затискачах асинхронного електродвигуна;
- включення світлової сигналізації при досягненні зменшення напруги на 5% від номінальної;
- включення світлової та звукової сигналізації при досягненні зменшення напруги на 10% від номінальної;
- відключення асинхронного двигуна від джерела синусоїдної напруги при досягненні зменшення напруги на його затискачах на 10%.

Структурна схема пристрою діагностування (рис. 1) містить наступні основні блоки: а) три блоки первинного вимірювального перетворювача напруги (ППН<sub>A,B,C</sub>); б) три блоки випрямляючого пристрою (ВП<sub>A,B,C</sub>); в) блок згладжувального фільтру (ЗФ); г) блок операційного пристрою; ґ) блок світлової сигналізації (СС1) досягнення відхилення напруги 5% від номінального значення напруги і світлової сигналізації (СС2) досягнення відхилення напруги 10% від номінального значення напруги; д) блок вузла підсилювання сигналу (ВПС); е) блока стабілізованого джерела напруги операційного підсилювача (БЖОУ); ж) стабілізованого джерела базової напруги (СДБН); з) блок виконавчого елемента (ВЕ); і) блок виконавчого елемента магнітного пускача (КМП); й) блок електродвигуна (АД).

Блок первинного вимірювального перетворювача напруги (ППН<sub>A,B,C</sub>) складається з трансформатора напруги, який призначений для зниження напруги до 7 В, що дає змогу наступному блоку, і всім елементам пристрою працювати і виконувати свою функцію.

Блок випрямляючого пристрою (ВП<sub>A,B,C</sub>) складається з діодів типу КД102А, які призначені для перетворення енергії джерела змінного струму в постійний. Діоди виконують перетворення змінного імпульсу в пульсацію однієї полярності.

Блок згладжувального фільтру (ЗФ) складається з конденсатора типу К50-6, який служить для зменшення пульсації випрямленого сигналу.



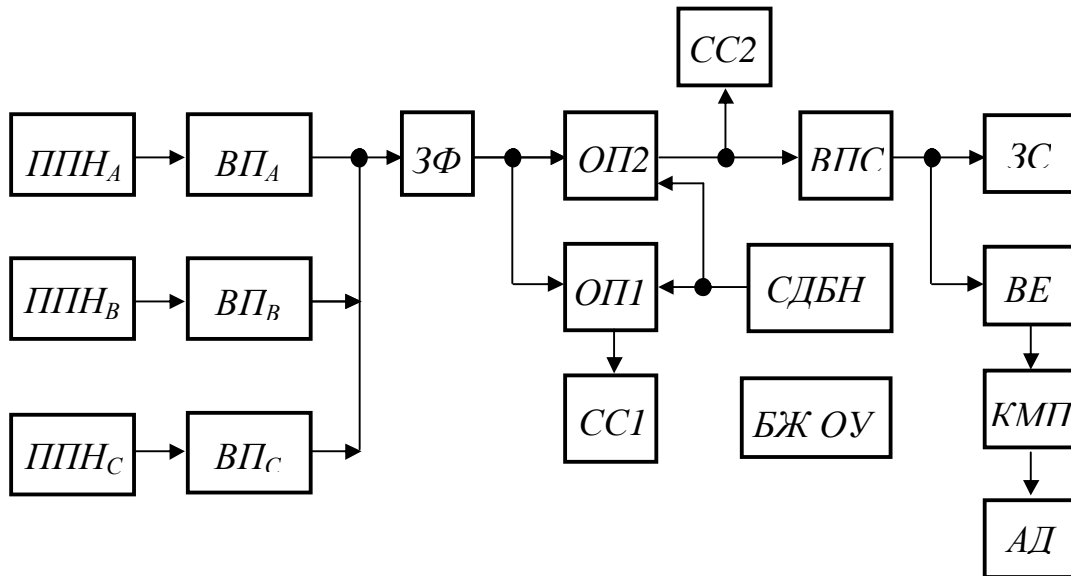


Рис. 1. Структурна схема пристрою контролю і захисту при відхиленні напруги:

ППН<sub>А,В,С</sub> – первинний вимірювальний перетворювач напруги; ВП<sub>А,В,С</sub> – випрямляючий пристрій; ЗФ – згладжувальний фільтр; ОП1, ОП2 – операційний пристрій; СС1, СС2 – світлова сигналізація; ВПС – вузол підсилювання сигналу; БЖ ОП – стабілізоване джерело напруги операційного підсилювача; СДБН – стабілізоване джерело базової напруги; ЗС – звукова сигналізація; ВЕ – виконавчий елемент; КМП – виконавчий елемент магнітного пускача; АД – електродвигун.

Блок операційного пристрою на основі операційного підсилювача (ОП1, ОП2) призначений для порівняння двох сигналів. Операційний підсилювач змінює рівень вихідного сигналу, коли рівень вхідних сигналів зрівнюється.

Блок світлової сигналізації (СС1, СС2) досягнення відхилення напруги на 5% і 10% від номінального значення напруги відповідно складається з світлодіодів, які призначені для сигналізації зниження напруги від номінальної на 5 і 10%.

Блок вузла підсилювання сигналу (ВПС) складається з випрямляючого елемента: тринистору; оптрону діодного типу АОД202А; діодного тиристора типу КН102Г; діодного мосту типу КД202А, та резисторів типу МЛТ-0,125. Даний блок призначений для випрямлення підсилення та передачі сигналу на блок виконавчого елемента і звукового сигналу (ЗС).

Блок виконавчого елементу (ВЕ), який складається з котушки проміжного реле КЛ, призначеної для знеструмлення своїм контактом блоку виконавчого елементу магнітного пускача (КМП).

Блок виконавчого елементу магнітного пускача (КМП) складається з магнітного пускача типу ПМЛ, який призначений для комутації електродвигуна (АД).

*Висновки.* Розробка і впровадження пристрою контролю і захисту асинхронних двигунів при відхиленні напруги є одним з шляхів рішення проблеми підвищення їх експлуатаційної надійності.

#### 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. Соколов В.С. Проблемы мониторинга качества электрической энергии / В.С. Соколов // Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С.25–29.

3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Normы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с.

## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Попова И.А.

#### *Аннотация*

**В работе представлена структурная схема устройства контроля и защиты асинхронного двигателя при уменьшении напряжения на его зажимах.**

## DEVICE OF PROTECTION OF THE INDUCTION MOTOR AT DEFLECTION OF THE VOLTAGE TO NETWORK

I. Popova

#### *Summary*

**In work is presented structured scheme device checking and protection of the at induction motor reduction of the voltage on its grip.**

УДК 621.313.333.2

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ОТ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Овчаров С.В., к.т.н.,

Переверзев Д.Ю., аспирант\*,

Буряк А.В., инженер.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

***Аннотация*** – исследованы тепловые процессы при отоплении зданий и сооружений и разработана методика определения удельной теплоотдачи от теплопередающей поверхности отопительной системы.

***Ключевые слова*** – график нагрузки трансформаторных подстанций, электронагрев, удельная теплоотдача, теплопередающая поверхность, учет теплопотребления.

*Постановка проблемы.* Анализ суточных графиков нагрузки сельских трансформаторных подстанций показывает, что в них имеются существенные ночные провалы. Анализ суточных графиков температуры наружного воздуха показывает, что именно в периоды провала нагрузки трансформаторных подстанций наблюдаются самые низкие температуры. Поэтому появляется возможность в период ночных провалов нагрузки трансформаторных подстанций использовать электрическую энергию для целей отопления, используя централизованные электрические котельные для подогрева воды.

*Анализ последних достижений.* В ряде работ рекомендуется использование электрической энергии в периоды провала нагрузок как для непосредственного превращения ее в тепловую энергию, так и для аккумуляции тепловой энергии [1,2]. Однако остается нерешенной проблема рационального использования электрической энергии для целей отопления из-за отсутствия технических средств учета потребления тепловой энергии каждой квартирой.

*Формулировка целей статьи.* Поэтому целью статьи является исследование тепловых процессов при отоплении зданий и сооружений и разработка методики определения удельной теплоотдачи от теплопередающей поверхности отопительной системы как основного

---

\* Научный руководитель Овчаров В.В.

© к.т.н. Овчаров С.В., инженер Переверзев Д.Ю., инженер Буряк А.В.

вопроса разработки счетчика тепловой энергии, потребляемой каждой квартирой. При этом теплоносителем является горячая вода

*Основная часть.* Среднесуточная температура в каждой отапливаемой квартире может быть найдена следующим образом

$$g_{cp.cym.y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i, \quad (1)$$

где  $n$  – число измерений за сутки;

$g_i$  – температура в квартире при  $i$ -ом измерении, °С;

$g_{cp.cym.y}$  – среднесуточная температура в  $y$ -ой квартир, °С.

Среднесуточная температура в квартирах дома

$$g_{cp.cym}^{kd} = \frac{1}{m} \sum_{y=1}^m g_{cp.cym.y}, \quad (2)$$

где  $m$  – число квартир в доме;

$g_{cp.cym}^{kd}$  – среднесуточная температура в квартирах дома, °С.

Среднесуточная температура теплоносителя

$$g_{cp.cym}^{TH} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_{TH.i}, \quad (3)$$

где  $g_{TH.i}$  – температура теплоносителя при  $i$ -ом измерении, °С;

$g_{cp.cym}^{TH}$  – среднесуточная температура теплоносителя, °С.

Общая площадь теплопередающей поверхности дома

$$S = \sum_{k=1}^m S_k, \quad (4)$$

где  $S_k$  – площадь теплопередающей поверхности  $k$ -ой квартиры, м<sup>2</sup>;

$S$  – общая площадь теплопередающей поверхности дома, м<sup>2</sup>.

Среднесуточное превышение температуры в доме над температурой теплоносителя

$$\tau_{cp.cym}^{kd} = g_{cp.cym}^{TH} - g_{cp.cym}^{kd} \quad (5)$$

где  $\tau_{cp.cym}^{kd}$  – среднесуточное превышение температуры теплоносителя над среднесуточной температурой в квартирах дома, °С.

Количество теплоты, полученной квартирой дома за сутки:

$$Q_{сутк} = q \cdot S \cdot \tau_{cp.cym}^{kd} \cdot t, \quad (6)$$

где  $Q_{сутк}$  – количество теплоты, полученной квартирой дома за сутки, Гкал;

$t$  – число часов в сутках, ч;

$q$  – удельная теплоотдача теплопередающей поверхности, Гкал/м<sup>2</sup>·ч·°С.

Таким образом, удельная теплоотдача от теплопередающей поверхности равна

$$q = \frac{Q}{S \cdot \tau_{\text{ср.сут}}^{\text{кд}} \cdot t} \quad (7)$$

Количество теплоты, полученной квартирой за месяц

$$Q_k = q \cdot S_k \sum_{X=1}^{2Z} \tau_x^k, \quad (8)$$

где  $z$  – число дней в месяце года;

$\tau_x^k$  – превышение температуры теплоносителя в  $k$ -ой квартире на  $x$ -вом участке измерения, °С.

$$\tau_x^k = g_x^{\text{mnk}} - g_x^k, \quad (9)$$

где  $g_x^{\text{mnk}}$  – температура теплоносителя в каждой квартире на  $x$ -вом участке измерения, °С;

$g_x^k$  – температура в  $k$ -ой квартире на  $x$ -вом участке измерения, °С.

*Вывод.* Полученные результаты исследования позволяют использовать их для построения квартирных счетчиков тепловой энергии.

#### Литература

1. *Малявина Е.Г.* Теплотери здания. Справочное пособие / *Е.Г. Малявина.* – М.: «АВОК-ПРЕСС», 2007. – 144 с.
2. *Богословский В.Н.* Тепловой режим здания / *В.Н. Богословский.* – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВІД ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Овчаров С.В., Переверзев Д.Ю., Буряк А.В.

#### Анотація

Досліджені теплові процеси при опаленні будівель та споруд, а також розроблена методика визначення питомої тепловіддачі від теплопередавальної поверхні опалювальної системи.

## METHOD OF DETERMINATION OF SPECIFIC HEAT EMISSION FROM HEAT-TRANSMITTING SURFACE OF HEATING SYSTEM

S. Ovcharov, D. Pereverzev, A. Buriak

#### Summary

The thermal processes are investigated at heating of buildings and developed the method of determination a specific heat emission from heat-transmitting surface of heating system.

УДК 621.313.333

## ПЕРІОДИЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОЧОЇ МАШИНИ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.,

Безменнікова Л.М., к.т.н. \*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. 8 (0619) 42-32-63

**Анотація** – Робота присвячена періодичному діагностуванню механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом в експлуатації за її функціональним станом.

**Ключові слова** – асинхронний електродвигун, робоча машина, функціональний стан, втрати потужності, метод діагностування.

**Постановка проблеми.** Асинхронні електроприводи становлять близько 95% загальної кількості електроприводів і споживають більше половини електроенергії галузі, але у процесі експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України щорічно відмовляє в середньому 20-25% наявного парку електродвигунів (при випробуваннях на надійність за цей термін відмовляє 2-3%), що призводить до незапланованих матеріальних витрат, пов'язаних з раптовою зупинкою технологічних ліній, а також на ремонт асинхронних двигунів. Причина – недостатній рівень експлуатації означених електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема – відсутність достатньої інформації не тільки про їх стан, але і про стан механічної частини робочої машини [1, 2]. Тому одна із складових підвищення рівня експлуатації як асинхронних електродвигунів, так і робочих машин в цілому – це своєчасний контроль асинхронних електродвигунів і механічних частин робочих машин, які вони приводять в дію.

**Аналіз останніх досліджень.** Методи періодичного діагностування, що існують не цей час, спрямовані виключно на контроль функціонального стану асинхронних електродвигунів, а стан механічних частин робочих машин залишається поза увагою [3 – 5], хоча відомо, що стан механічної частини робочої машини безпосередньо впливає на функціональну здатність приводного асинхронного електродвигуна.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Отже, розроблення і впровадження методу оцінки функціонального стану механічних частин робочих машин з асинхронним електроприводом, який дозволить періодично контролювати їх стан, є актуальним завданням. Тому поставимо задачу – розробити метод оцінки функціонального стану механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом.

Основна частина. З цією метою проаналізуємо режим холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», під якими будемо розуміти привод електродвигуном робочої машини, яка не завантажена технологічною сировиною. Активна потужність, яку споживає електродвигун в цьому режимі, дорівнює

$$P_X = P_{X(PM)} + P_{X(AD)}, \quad (1)$$

де  $P_X$  – потужність, що споживає електродвигун з мережі в режимі холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», Вт;

$P_{X(PM)}$  – потужність, що втрачається в механізмах робочої машини, яка не завантажена технологічною сировиною, Вт;

$P_{X(AD)}$  – потужність, що втрачається в асинхронному електродвигуні, який функціонує в режимі холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», Вт.

У свою чергу, потужність, що втрачається в асинхронному електродвигуні, дорівнює

$$P_{X(AD)} = P_{X(E1)} + P_{X(MГ)} + P_{X(MX)}, \quad (2)$$

де  $P_{X(E1)}$  – потужність, що втрачається в обмотках статора асинхронного електродвигуна, який функціонує в режимі холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», Вт;

$P_{X(MГ)}$  – потужність, що втрачається в магнітопроводі асинхронного електродвигуна, який функціонує в режимі холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», Вт;

$P_{X(MX)}$  – потужність, що втрачається в механічній частині асинхронного електродвигуна, який функціонує в режимі холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина», Вт.

Визначення вказаних у (2) втрат активної потужності виконується шляхом розділення потужності  $P_{X(AD)}$  в функції квадрата прикладеної напруги до затискачів обмотки статора ( $U_2$ ) стандартним гра-

фічним шляхом (рис.1) або розрахунковим шляхом, який запропоновано в [6].

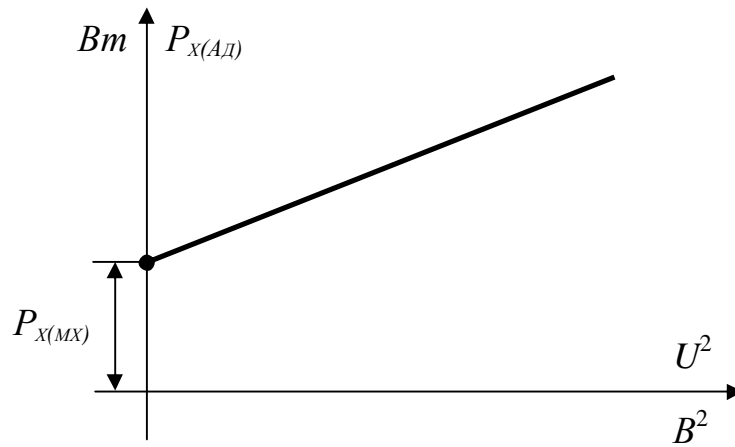


Рис.1. Розділення потужності  $P_x(Ad)$  в функції квадрата прикладеної напруги до затискачів обмотки статора ( $U^2$ ).

Якщо виконати аналогічним чином розділення потужності  $P_x$  в функції квадрата прикладеної напруги до затискачів обмотки статора ( $U^2$ ), то можна визначити суму ( $P_x(mx) + P_x(pm)$ ), яка буде постійною величиною для даного конкретного випадку (рис.2).

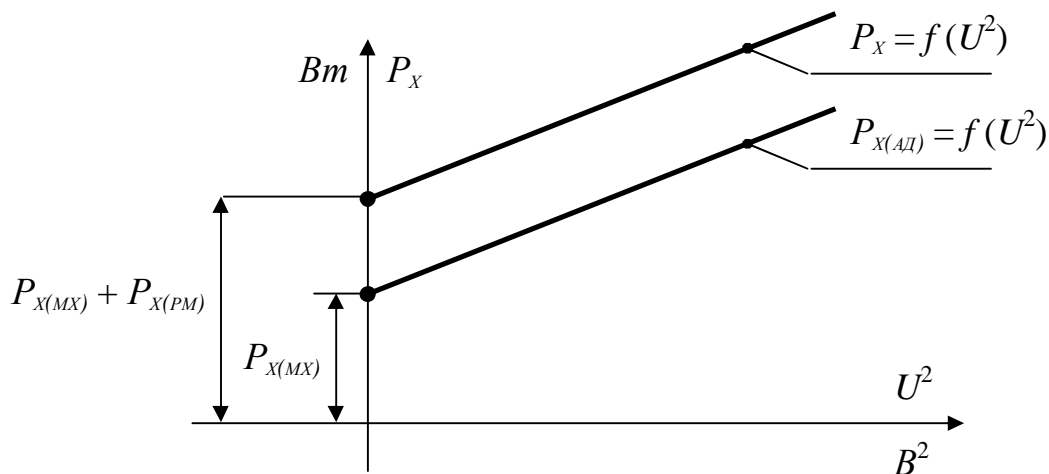


Рис.2. Розділення потужностей  $P_x$  і  $P_x(ad)$  в функції квадрата прикладеної напруги до затискачів обмотки статора ( $U^2$ ).

Як видно з рис. 2 потужність  $P_x(pm)$  доволі легко визначити як різницю між втратами механічної потужності в механічній частині електроприводу ( $P_x(mx) + P_x(pm)$ ) та механічній системі асинхронного електродвигуна ( $P_x(mx)$ ).

Якщо виконати дослід холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина» на початку експлуатації, то отримаємо базове зна-



чення потужності, що втрачається в механічній частині робочої машини, яка не завантажена технологічною сировиною ( $P_x(\rho m)б$ ). Якщо виконати вказаний дослід через певний проміжок часу, то отримаємо поточне значення потужності, що втрачається в механічній частині робочої машини, яка не завантажена технологічною сировиною ( $P_x(\rho m)п$ ). У разі однаковості вказаних значень ( $P_x(\rho m)б = P_x(\rho m)п$ ) механічна частина робочої машини буде мати номінальний функціональний стан. У разі збільшення вказаної потужності, але не більше за критичну потужність на валу асинхронного електродвигуна  $P_{кр}(ад)$  ( $P_x(\rho m)б < P_x(\rho m)п \leq P_{кр}(ад)$ ) механічна частина робочої машини буде мати неномінальний функціональний стан. У разі збільшення вказаної потужності понад значення критичної потужності на валу асинхронного електродвигуна  $P_{кр}(ад)$  ( $P_x(\rho m)б < P_x(\rho m)п > P_{кр}(ад)$ ) механічна частина робочої машини буде мати нефункціональний стан.

Висновок. Таким чином, щоб здійснити оцінку функціонального стану механічної частини робочої машини необхідно провести дослід холостого ходу системи «електродвигун – робоча машина» та асинхронного електродвигуна на початку експлуатації та через певний проміжок часу експлуатації. За результатами цих дослідів визначити потужність, що втрачається в механізмах робочої машини, яка не завантажена технологічною сировиною. Результати порівняти між собою та зі значенням критичної потужності на валу асинхронного електродвигуна, що дозволить визначити поточний функціональний стан механічної частини робочої машини.

#### 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. Яковлєв // За ред. С.О. Єрмолаєва. – К.: Мета, 2003. – 534 с.
3. Таран В.П. Диагностирование электрооборудования / В.П. Таран. – К.: Техніка, 1983. – 200 с.
4. Рассказчиков А.В. Современное состояние диагностики электродвигателей / А.В. Рассказчиков, А.Н. Назарычев // Ивановский энергетический институт. – Иваново: 1989. – 14 с. Деп. в Информэлектро 29.12.1989 г., № 264 – 89.
5. Хорольский В.Я. Теоретические основы эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / В.Я. Хорольский. – Ставрополь: Ставропольский сельскохозяйственный институт, 1992. – 149с.

6. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів / О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип.10, Т.4. – 2010. – С.39–46.

**ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ  
С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Вовк А.Ю., Китка С.А., Безменникова Л.Н.

*Аннотация*

**Работа посвящена периодическому диагностированию механической части рабочей машины с асинхронным электроприводом в эксплуатации по её функциональному состоянию.**

**PERIODIC DIAGNOSING OF THE MECHANICAL PART OF THE  
WORKING CAR WITH THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC  
DRIVE IN OPERATION**

O. Vovk, S. Kvitka, L. Bezmennikova

*Summary*

**Work is devoted periodic diagnosing of a mechanical part of the working car with the asynchronous electric drive in operation on its functional condition.**

УДК 631.362-546

## **СПОСОБИ І ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАХИСТУ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПОЯВИ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТРУМІВ В МЕРЕЖАХ 0,38 кВ**

Козирський В.В., д.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Герасименко В.П., інженер.

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*

*Ніжинський агротехнічний інститут, НУБіП*

Ковальов О.В., інженер.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-31-59

**Анотація** – Проведено аналіз способів і засобів підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ.

**Ключові слова** – струм, захист, ізоляція, заземлення, занулення.

*Постановка проблеми.* Правилами улаштування електроустановок регламентується застосування в електроустановках наступних захисних заходів [1]:

- мала напруга;
- електричне розділення мереж;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- забезпечення недоступності струмоведучих частин;
- захисне заземлення;
- занулення;
- подвійна ізоляція;
- захисне відключення.

Рішення про те, що повинне бути захищене, де захист необхідний, і які заходи захисту необхідно застосувати, багато в чому залежить від характеристик навколишнього середовища, технічних особливостей електричної мережі, надійності, легкості застосування і економічності пристроїв захисту. Так, наприклад, приміщення з вибухо- і пожежонебезпечним або хімічно активним середовищем, вологі приміщення, а також тісні провідні приміщення (підземні тунелі, резервуари) вимагають спеціального розгляду в порівнянні з приміщеннями з нормальним навколишнім середовищем. Також враховуються такі чинники як величина фазної напруги і без-

перебійність електропостачання. Прикладом можуть служити розподільні мережі з напругою щодо землі, що не перевищує 120 В, які до сьогоднішнього дня використовуються в США і Японії. У даних мережах необхідність захисних заходів менш критична, чим для мереж з напругою по відношенню до землі 220 В. При напрузі щодо землі 120 В широко застосовуються переносні прилади класу 0 (що мають тільки основну ізоляцію і що не мають клем для підключення заземлюючого провідника). У таких мережах можуть бути використані штепсельні розетки без заземлюючих контактів тих же типів, які можна зустріти у великій кількості в житлових будинках в Україні та Росії [2].

*Аналіз останніх досліджень.* Р.Н. Карякін пропонує наступну «філософію» захисту для трифазних мереж напругою 220/380В [2]. Ця філософія передбачає три рівні захисту:

- основний захист;
- захист при пошкодженні (ізоляції);
- додатковий захист.

Основний захист визначається як застосування заходів проти прямого дотику за допомогою виключення контакту між людиною і небезпечними струмоведучими частинами. Як основний захист від ненавмисного прямого дотику до небезпечних струмоведучих частин в електроустановках до 1 кВ можуть бути використані [3, 4]:

- ізоляція, відповідна мінімальній випробувальній напрузі; посилена ізоляція, подвійна ізоляція (обладнання класу II);
- бар'єри, огорожі і оболонки, розміщені поза зоною досяжності.

Деякі струмоведучі частини повністю покриті ізоляцією, яка може бути видалена тільки в результаті її руйнування або пошкодження виробу, що захищається. У інших випадках основна ізоляція може бути видалена тільки з використанням спеціальних інструментів.

*Формулювання цілей статті.* Проведення аналізу способів і засобів підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ.

*Основна частина.* Слід відмітити, що бар'єри і розміщення струмоведучих частин дозволяють забезпечити захист тільки від ненавмисних контактів. Вони не виключають можливості навмисного дотику за межами бар'єру або подолання відстані, передбаченої межами досяжності. Пошкодження основного захисту відбувається двома шляхами:

1. В результаті пошкодження оболонки, або її частини стають доступними для прямого дотику небезпечні струмоведучі частини. Захист від таких видимих пошкоджень забезпечується негайним ремонтом пошкодженого устаткування.

2. Пошкодження ізоляції між небезпечними струмоведучими частинами і відкритими провідними частинами. При пошкодженні основної ізоляції доступні дотику відкриті провідні частини набувають небезпечного потенціалу, що, як правило, може не супроводжуватися появою яких би то не було видимих для споживача ознак. У даному випадку повинен

забезпечуватися захист від поразки електричним струмом при непрямому дотику.

Захист у разі пошкодження ізоляції між небезпечними струмоведучими частинами і доступними дотику відкритими провідними частинами (ВПЧ) електроустановки забезпечується за допомогою пристрою автоматичного відключення або за допомогою інших заходів захисту при пошкодженні ізоляції.

Захист при пошкодженнях в електричних мережах до 1 кВ з глухо-заземленою нейтраллю може включати одне або більше класичних захисних заходів [2 – 4]:

- автоматичне відключення, зокрема з використанням пристроїв захисту від надструмів;

- захисне заземлення (рис. 1), де показана залежність напруги на заземлювачі  $U$  від відстані  $L$  між заземлювачем і зоною нульового потенціалу);

- посилена і подвійна ізоляція;

- занулення.

- використання провідних частин (в т.ч. екранів, оболонок) в якості PEN-провідників;

- захисний моніторинг ізоляції (вимірювання опору ізоляції, контроль цілісності ізоляції);

- безпечна наднизька напруга (установки класу III).

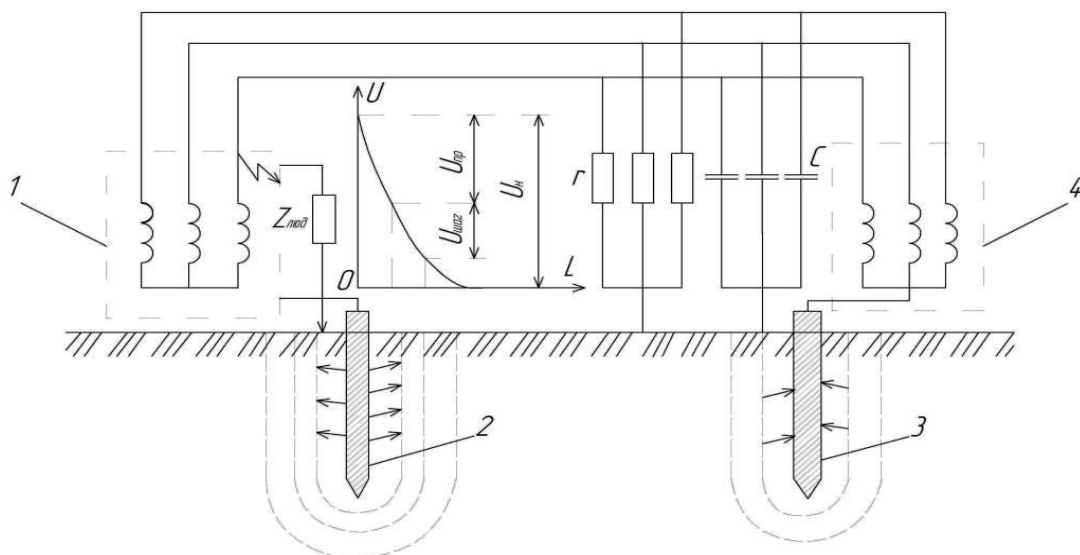


Рис. 1. Принципова схема захисного заземлення:

1 – електроприймач; 2, 3 – заземлювачі; 4 – джерело електроенергії.

Відповідно до ПУЕ захист людей від поразки електричним струмом при пошкодженні ізоляції може бути забезпечена шляхом занулення елементів електроустановки без додаткового заземлення (рис. 2).

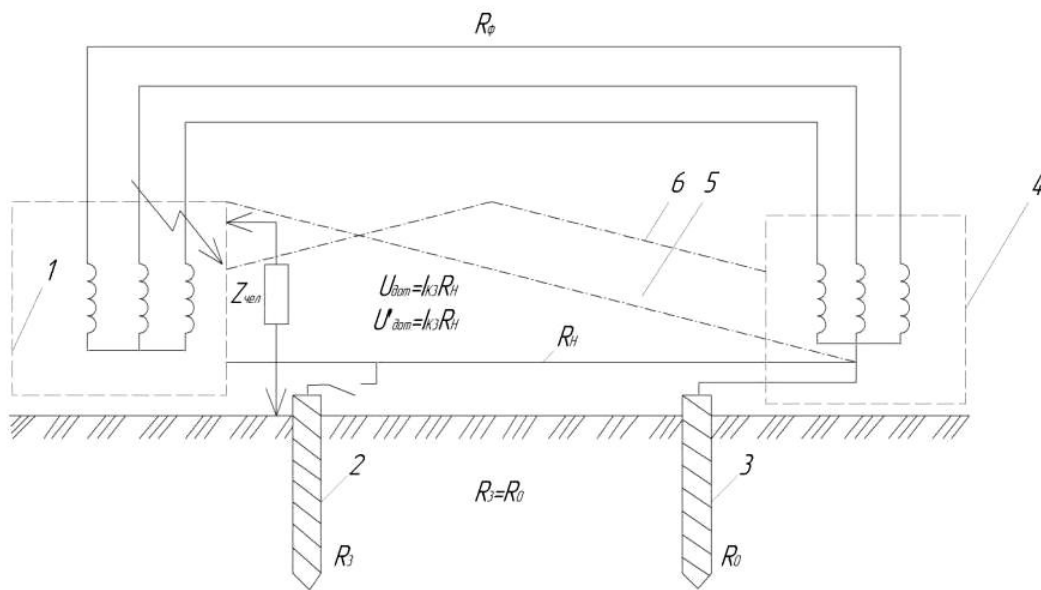


Рис. 2. Принципова схема занулення:

1 – електроприймач; 2, 3 – заземлювачі; 4 – джерело електроенергії; 5 – розподіл  $U_{\text{доп}}$  за відсутності повторного заземлення; 6 – розподіл  $\dot{U}_{\text{доп}}$  за наявності повторного заземлення.

Додатковий захист від поразки електричним струмом при випадковому ненавмисному прямому дотику застосовується як третя і остання захисна міра для розподільних мереж 0,38 кВ. Цей рівень забезпечується шляхом застосування пристроїв захисту, що реагують на диференціальний струм (ПЗВ-Д), із уставкою не більше 30 мА. Додатковий захист повинен застосовуватися для переносних приладів і в електричних мережах, прокладених в приміщеннях з підвищеною небезпекою [2].

Головне завдання додаткового захисту – забезпечення захисту від випадкового ненавмисного прямого дотику до струмоведучих частин. Принцип роботи ПЗВ-Д проілюстрований на рис. 3.

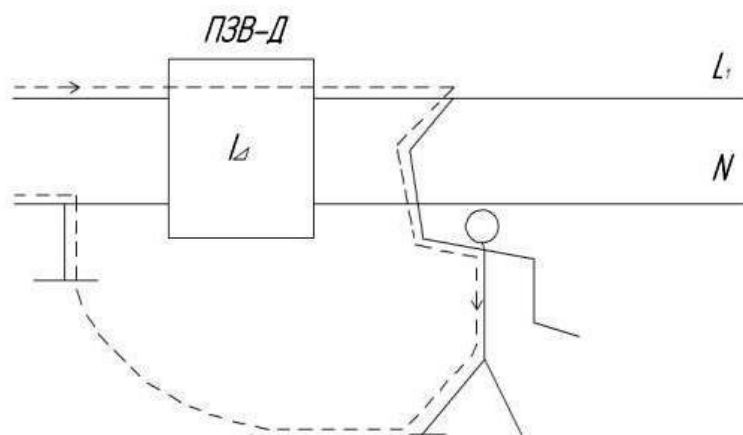


Рис. 3. Принцип роботи ПЗВ-Д.

Більш того, додатковий захист запобігатиме смертельному враженню електрострумом і в тих випадках, коли захисний провідник обірваний (рис. 4) або невірно приєднаний (рис. 5), а також при пошкодженні подвійної ізоляції (рис. 6).

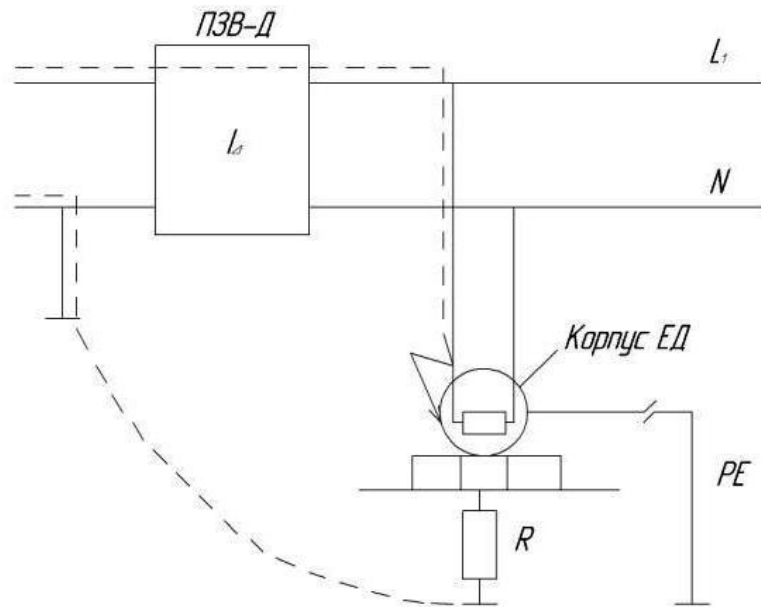


Рис. 4. Обрив захисного провідника.

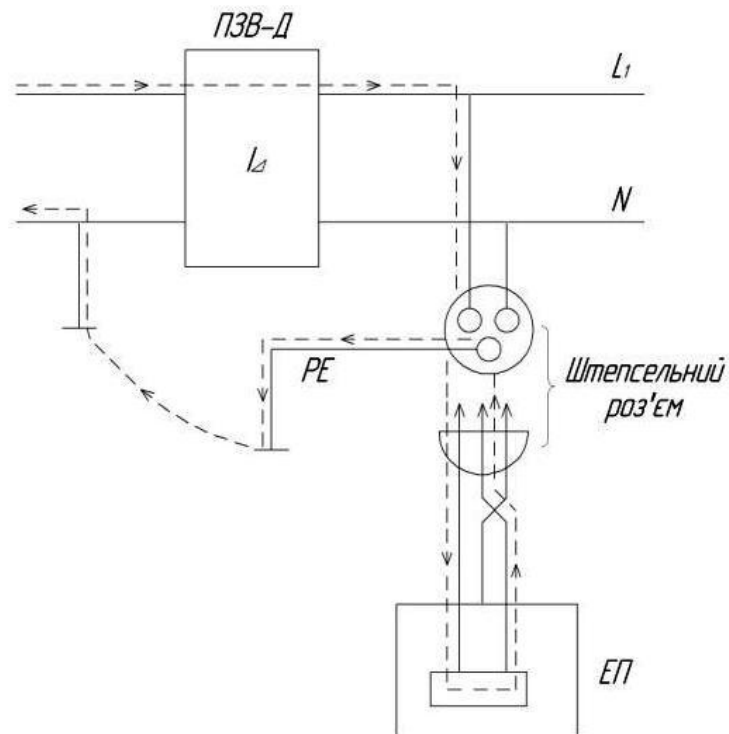


Рис. 5. Невірне підключення струмоприймача.

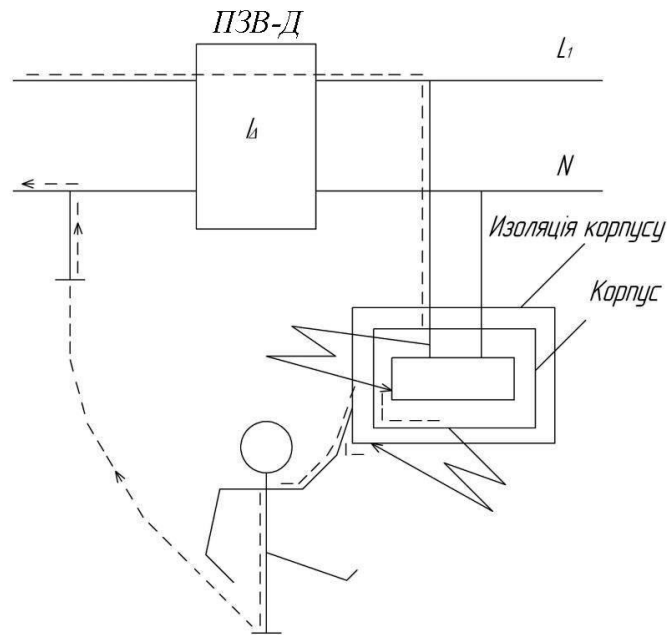


Рис. 6. Пошкодження ізоляції фази з одночасним пошкодженням ізоляції корпусу.

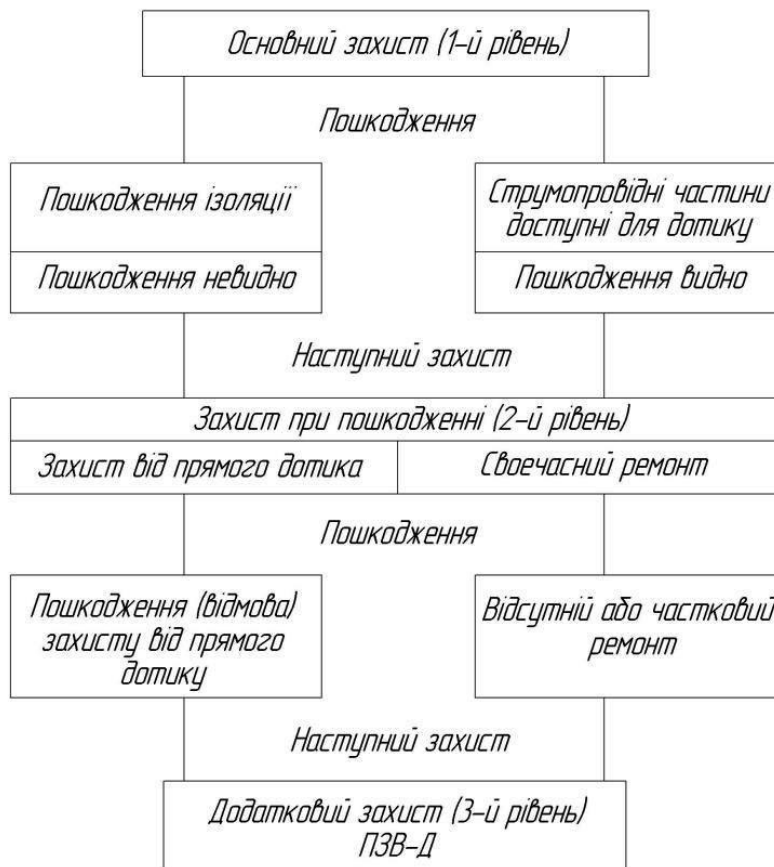


Рис. 7. Триступінчата система захисту струмоприймачів.



*Висновки.* В цілому ж, згідно сучасної філософії електробезпеки, повна система захисту може бути представлена у вигляді триступінчатої системи заходів, кожна з яких забезпечує захист споживача в певних умовах захисту електроустановки споживача.

#### Література

1. Правила улаштування електроустановок. – 2-е вид. переробл. та допов. – Харків: Форт, 2009. – 736 с.
2. *Карякин Р.Н.* Нормативные основы устройства электроустановок / *Р.Н. Карякин.* – М.: Энергосервис, 1998. – 277 с.
3. *Карякин Р.Н.* Основное правило электробезопасности / *Р.Н. Карякин* // Промышленная энергетика. – 1999. – № 2. – С.40–41.
4. *Карякин Р.Н.* Основное правило устройства электроустановок / *Р.Н. Карякин* // Промышленная энергетика. – 2000. – № 11. – С.50–51.

### **СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ТОКОВ В СЕТЯХ 0,38 кВ**

Козырский В.В., Герасименко В.П., Ковалев А.В.

#### *Аннотация*

**В работе проведен анализ способов и средств повышения надежности защиты и предупреждения появления опасных токов в сетях 0,38 кВ.**

### **METHODS AND FACILITIES OF INCREASE OF RELIABILITY OF DEFENCE AND WARNING OF APPEARANCE OF DANGEROUS CURRENTS ARE IN THE 0,38 kV NETWORKS**

V. Kozirskiy, V. Gerasimenko, A. Kovalyov

#### *Summary*

**The analysis of methods and increased facilities of reliability of defense and warning of appearance of dangerous currents is conducted in the 0,38 kV networks .**

УДК 621.313.333.2

## БЕЗИТЕРАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Островский А.В., аспирант.\*

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Аннотация** – предложена безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.

**Ключевые слова** – схема замещения, паспортные данные, итерационный метод, параметры.

*Постановка проблемы.* Известны различные методики определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя – итерационный; на основе опытов холостого хода и короткого замыкания; используя уравнения асинхронной машины и ее характеристики. Для использования этих методик часто требуется дорогостоящая специальная аппаратура, они сложны в исполнении и не всегда точны. Поэтому предложена альтернативная комбинированная безитерационная методика расчета параметров схемы замещения, отличающаяся простотой исполнения и позволяющая определить параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя на основе каталожных данных.

*Анализ последних исследований.* Вопросам расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя посвящено ряд работ [1 – 3], в которых используются различные методы определения параметров схемы замещения. Однако, они не всегда точны и сложны в исполнении.

*Формулирование цели статьи.* Следовательно, целью статьи является безитерационное определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по паспортным данным.

*Основная часть.* Для определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя исходными данными являются: номинальная мощность  $D_{2i}$ ; номинальный КПД  $\eta_i$ ; номинальный коэффициент

---

\* Научный руководитель – д.т.н. Овчаров В.В.

© аспирант Островский А.В.

мощности  $\cos \varphi_i$ ; номинальное скольжение  $s_i$ ; номинальное линейное напряжение  $U_{i\bar{e}}$ ; КПД двигателя при нагрузке 50%  $\eta_{50\%}$ ; коэффициент мощности двигателя при нагрузке 50%  $\cos \varphi_{50\%}$ ; кратность максимального момента (при прямом пуске)  $m_{\bar{e}}$ ; кратность пускового тока (при прямом пуске)  $\hat{E}_s$ .

T-образная схема замещения электродвигателя показана на рис. 1.

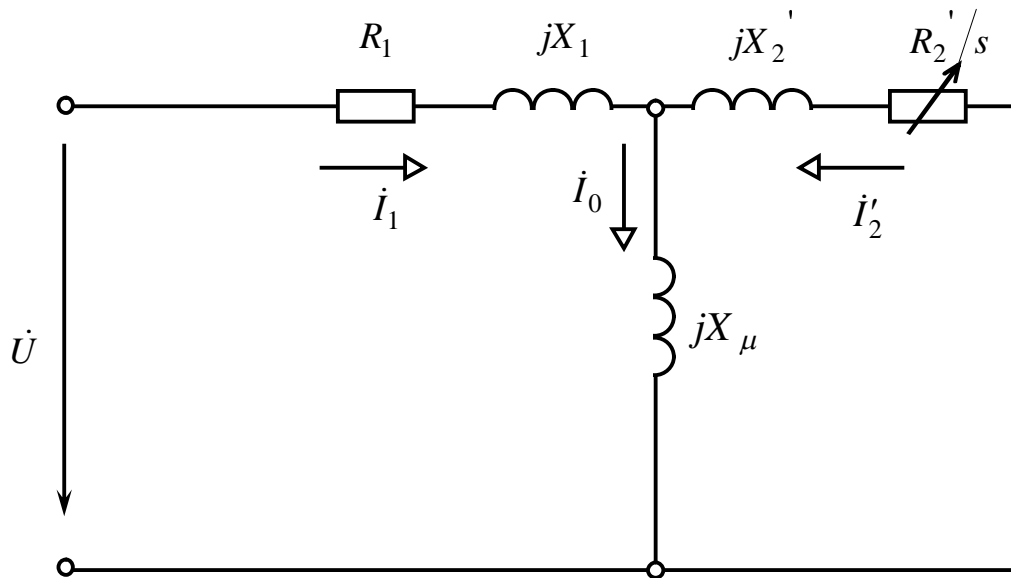


Рис. 1. T-образная схема замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (для одной фазы):

$R_1, R_2'$  – активные сопротивления фаз статора и ротора;  $X_1, X_2', X_\mu$  – индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора, ротора и ветви намагничивания.

Ток холостого хода с меньшей погрешностью найдём из выражения

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p}^2 - \left( \frac{p^* (1 - S_H) \cdot I_{1H}}{(1 - p^* S_H)} \right)^2}{1 - \left( \frac{p^* (1 - S_H)}{(1 - p^* S_H)} \right)^2}}, \quad (1)$$

где  $I_{1H}$  – номинальный ток, А;

$I_{1p}^*$  – ток при частичной нагрузке, равной  $p^* = 0,5$ .

Из формулы Клосса получаем соотношение для расчета критического скольжения

$$S_k = S_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 + 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1) - 1}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)}, \quad (2)$$

где  $\beta = \frac{R_1}{C_1 R_2}$  – предварительный коэффициент жесткости;

$C_1 = 1 + \frac{\tilde{O}_1}{\tilde{O}_\mu}$  – конструктивный коэффициент.

Принимаем  $\beta = 1,2$  – при этом наблюдаются наименьшие погрешности расчета.

Конструктивный коэффициент определяется по формуле

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2K_i I_{1H}}, \quad (3)$$

где  $\hat{E}_s$  – кратность пускового тока.

Запишем основные уравнения асинхронного двигателя для режима номинальной нагрузки:

$$\begin{cases} \dot{U} = -\dot{A}_1 + jX_1 \dot{I}_{1f} + R_1 \dot{I}_{1f}; \\ 0 = \dot{A}_1 + jX_2' \dot{I}_2' + R_2' \frac{\dot{I}_2'}{S_f}; \\ \dot{I}_{1f} = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \end{cases} \quad (4)$$

Спроектируем

токи на ось, проходящую через вектор  $U$ :

$$I_{1f} \cos \varphi_{1f} = I_0 \cos \varphi_0 + I_2' \cos \varphi_2. \quad (5)$$

Найдём проекцию тока ротора  $I_2' \cos \varphi_2$ , для чего определим ток  $I_2'$  из системы (4):

$$I_2' = \frac{U}{Z_1 + C_1 Z_2'}, \quad (6)$$

где  $Z_1 = R_1 + jX_1$ ;

$$Z_2' = R_2' + jX_2',$$

тогда:

$$I_2' \cos \varphi_2 = \frac{U \left( R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S_f} \right)}{\left( R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S_f} \right) + (X_1 + C_1 X_2')}. \quad (7)$$

Это соотношение представим в виде:

$$I_2' \cos \varphi_2 = \frac{U \left( \beta + \frac{1}{S_i} \right)}{C_1 R_2' \left( \left( \beta + \frac{1}{S_i} \right)^2 + \gamma^2 \right)}, \quad (8)$$

где  $\gamma = \frac{X_i}{\tilde{N}_1 R_2'}$ ;

$$X_i = \tilde{O}_1 + \tilde{N}_1 \tilde{O}_2'.$$

Подставим (8) в (5) и получаем выражение:

$$U \left( \beta + \frac{1}{S_i} \right) = \tilde{N}_1 R_2' (I_{1i}' \cos \varphi_{1i} - I_2' \cos \varphi_2) \cdot \left( \left( \beta + \frac{1}{S_i} \right)^2 + \gamma^2 \right). \quad (9)$$

Из выражений для максимального момента

$$\dot{I}_e = \frac{mU^2}{2\omega_1 C_1 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_i^2})} \quad (10)$$

и критического скольжения

$$S_k = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (\tilde{O}_1 + \tilde{N}_1 \tilde{O}_2')^2}} = \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \quad (11)$$

получаем следующее уравнение

$$\frac{\dot{I}_e 2\omega_1 C_1}{mU^2} = \frac{1}{C_1 R_2' (\beta + 1/S_k)}, \quad (12)$$

где  $\omega_1 = 2\pi f$ ;  $f$  – частота сети.

Уравнение (8) и (12) с учетом (11) объединим в систему, которая при подстановке в (12)  $M_e = \frac{P_{2i} m_e}{(1 - S_i)}$  принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{mU^2(1 - S_i)}{2\omega_1 C_1 m_e D_{2i}} = \tilde{N}_1 R_2' \left( \beta + \frac{1}{S_k} \right); \\ \left( \beta + \frac{1}{S_i} \right) = \tilde{N}_1 R_2' \left( \frac{I_{1i}' \cos \varphi_{1i} - I_2' \cos \varphi_2}{U} \right) \times \left( \frac{2\beta}{S_i} + \frac{1}{S_i^2} + \frac{1}{S_k^2} \right). \end{cases} \quad (13)$$

В результате преобразований системы (13) получим квадратное уравнение относительно  $\beta$  и, решив его относительно  $\beta$ , получим истинное значение жесткости механической характеристики.

$$\beta^2 + B\beta + C = 0, \quad (14)$$

где  $B = \frac{1}{S_H} + \frac{1}{S_k} - \frac{2A_0 A_1}{S_H}$ ;  $C = \frac{1}{S_H^2} - \frac{A_0^2}{S_H^2}$ ;  $A_0 = \frac{m_e D_{2i}}{C_1 R_2'}$ ;  $A_1 = \frac{m_e D_{2i}}{C_1 R_2' U}$ . (15)

$$C = \frac{1}{S_n S_k} - A_0 A_1 \cdot \left( \frac{1}{S_n^2} + \frac{1}{S_k^2} \right); \quad (16)$$

$$A_0 = \frac{(I_{1n} \cos \varphi_{1n} - I_0 \cos \varphi_0)}{U}; \quad (17)$$

$$A_1 = \frac{mU^2(1 - S_n)}{2C_1 m_\kappa P_{2n}}. \quad (18)$$

Угол между током и напряжением  $\varphi_0$  при работе на холостом ходу предварительно принимаем равным  $87^\circ$ .

Решив (11), находим:

$$\beta = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4C}}{2}. \quad (19)$$

Для двигателей серии 4А большой мощности (свыше 45 кВт) истинное значение коэффициента жесткости является величиной постоянной и равной  $\beta = 1,2$ . Для асинхронных двигателей других мощностей рассчитывается по формуле (19).

Определяем активное сопротивление ротора

$$R_2' = \frac{A_1}{\left( \beta + \frac{1}{S_k} \right) C_1}. \quad (20)$$

Тогда активное сопротивление статора

$$R_1 = C_1 R_2' \beta. \quad (21)$$

Из (11) находим значение  $\gamma$ , которое позволяет определить индуктивное сопротивление  $X_i$

$$\gamma = \sqrt{\left( \frac{1}{S_k^2} \right) - \beta^2}; \quad (22)$$

$$X_n = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'. \quad (23)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $X_i$  сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных АД, тогда:

$$X_1 = 0,42 \tilde{O}_i; \quad (24)$$

$$\tilde{O}_2' = 0,58 \frac{\tilde{O}_i}{\tilde{N}_1}. \quad (25)$$

Согласно векторной диаграмме (рис. 2) ЭДС ветви намагничивания  $\dot{A}_1$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\dot{A}_1 = \sqrt{(U \cdot \cos \varphi_{1f} - R_1 I_{1f})^2 + (U \sin \varphi_{1f} + \tilde{O}'_{1f})^2}, \quad (26)$$

тогда 
$$\tilde{O}'_{\mu} = \frac{\dot{A}_1}{2}. \quad (27)$$

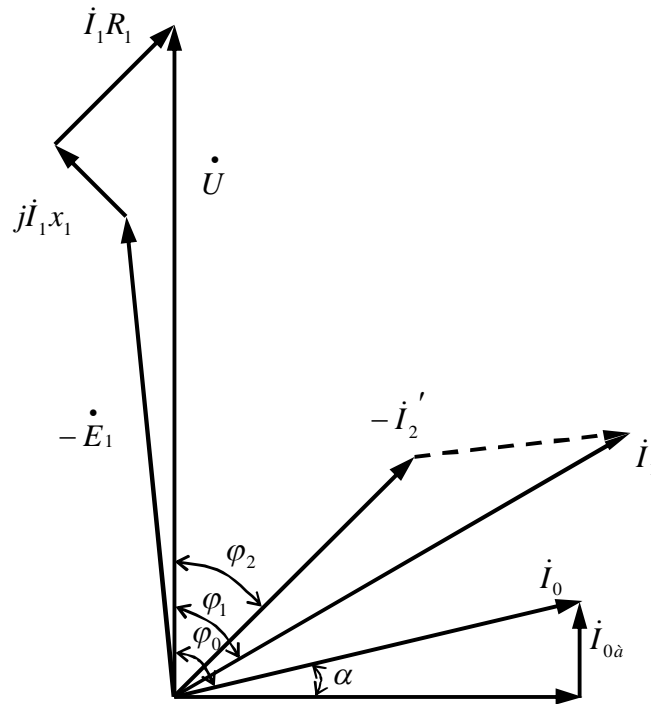


Рис. 2. Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений АД при номинальной нагрузке.

По предложенной методике был проведен расчет некоторых серий асинхронных электродвигателей. В таблице 1 представлены результаты расчета и их сравнение с проектными данными этих двигателей.

Таблица 1 – Результаты расчета

Тип	P, кВт	Параметры схемы замещения, отн. ед.				
		$R_1$	$X_1$	$\tilde{O}'_{\mu}$	$R'_2$	$\tilde{O}'_2$
4A100S4, $U_H = 380$ В	3	0,081	0,101	2,51	0,0518	0,156
		0,078	0,089	2,2	0,053	0,13
A4-400Y-4, $U_H = 6$ кВ	630	0,014	0,107	3,55	0,0114	0,0106
		0,013	0,127	3,88	0,0132	0,0119

Числитель – параметры рассчитанные по каталожным данным. Знаменатель – параметры, заложенные в проектные расчеты этих двигателей.

*Выводы:* таким образом, предложена альтернативная, комбинированная, бизитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.

#### Литература

1. *Мощинский Ю.А.* Определение параметров схемы замещения асинхронных машин по каталожным данным / *Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин.* – Электричество. – 1998. – № 4. – С.38–42.

2. *Фираго Б.И.* Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию по теории электропривода для студентов специальности 1-53 01 05 / *Б.И. Фираго.* – Мн.: БНТУ, 2004. – 88 с.

3. *Усольцев А.А., Лукичев Д. В.* Определение параметров модели асинхронного двигателя по справочным данным / *Усольцев А.А., Лукичев Д. В.* – Известие высших учебных заведений. Приборостроение. – 2005. – № 12. – С.35–41.

### **БЕЗИТЕРАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Островский А.В.

#### *Аннотация*

**Предложена безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя по каталожным данным.**

### **THE UNITERATIVE METHOD IDENTIFICATION PARAMETERS OF EQUIVALENT CIRCUIT OF INDUCTION MOTOR**

A. Ostrovsky

#### *Summary*

**The uniterative method identification parameters of equivalent circuit of induction motor is offered on catalogue data.**



УДК 621.313.333.2

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДА РЕСУРСА 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 расход ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период в условиях соизмеримой мощности.

***Ключевые слова*** – механическая характеристика, пусковой переходный процесс, момент инерции, электромеханическая постоянная времени, время пуска, скорость теплового износа изоляции, расход ресурса.

*Постановка проблемы.* В условиях агропромышленного комплекса из-за совместного электропитания бытовой и производственной нагрузок, большой протяженности линий электропередачи часто возникают случаи, когда асинхронные электродвигатели привода рабочих машин сельскохозяйственного производства оказываются в условиях соизмеримой мощности.

Эти условия, характеризуются, прежде всего, значительным понижением напряжения при пуске, что может привести к затяжным или несостоявшимся пускам. Кроме этого, часто наблюдается асимметрия приложенного напряжения, что еще более усугубляет пусковые режимы. Поэтому исследование расхода ресурса изоляции в послепусковой период при пониженном напряжении представляет как теоретический, так и практический интерес.

*Анализ последних достижений.* В работах в основном исследованы тепловые переходные электромеханические процессы как при номинальном напряжении, так и при пониженном [1]. Однако практически отсутствуют исследования дополнительного расхода ресурса изоляции в послепусковой период.

---

\* Научный руководитель – к.т.н. Овчаров С.В.

© к.т.н. Овчаров С.В., инженер Стребков А.А.

*Формулировка целей статьи.* Целью статьи является исследование расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в полупериод в условиях соизмеримой мощности.

*Основная часть.* Асинхронные двигатели работают в паре с рабочими машинами, которые обладают различными механическими характеристиками, описываемыми эмпирической формулой [1]

$$M_c = M_o + (M_{сн} - M_o) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (1)$$

где  $M_c$  – текущий момент сопротивления на валу рабочей машины, Н·м;

$M_{сн}$  – номинальный момент сопротивления на валу рабочей машины при номинальной угловой скорости, Н·м;

$M_o$  – момент сопротивления трения в движущихся частях рабочей машины, приведенный к ее валу, Н·м;

$\omega_n$  – номинальная угловая скорость вала рабочей машины, рад/с;

$\omega$  – текущая угловая скорость вала рабочей машины, рад/с;

$x$  – коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении угловой скорости вала рабочей машины.

Механическую характеристику электродвигателя представим, линеаризовав ее отдельные участки (рис. 1).

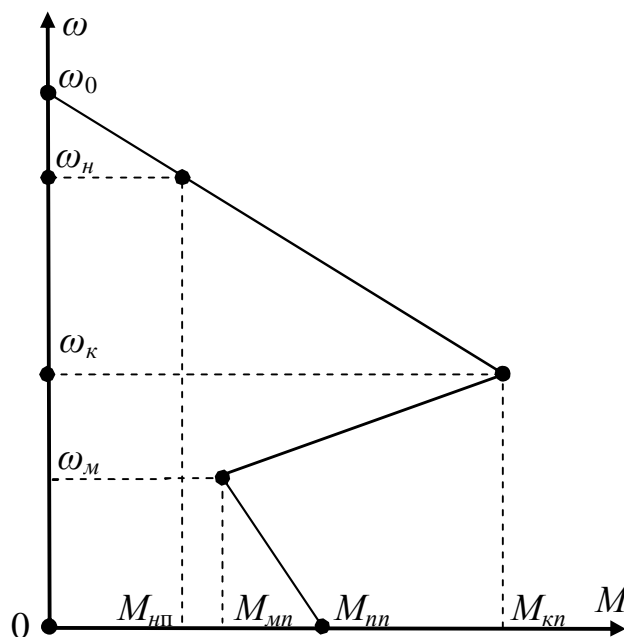


Рис. 1.

Исследовав электромеханический переходный процесс на первом участке разгона электродвигателя (от  $\omega = 0$  до  $\omega = \omega_m$ ), получено выражение времени разгона электродвигателя на этом участке:

$$t_1 = T_1 \ln \frac{\kappa_{U1}^2 \mu_{nn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{no} - \kappa_3}{\kappa_{U1}^2 \mu_{mn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{mo} - \kappa_3}; \quad (2)$$

$$T_1 = \frac{I \omega_m}{M_n (\kappa_{U1}^2 (\mu_{nn} - \mu_{mn}) - \kappa_{U2}^2 (\mu_{no} - \mu_{mo}))}, \quad (3)$$

где  $\kappa_{U1}$ ,  $\kappa_{U2}$  – кратности напряжений прямой и обратной симметричных составляющих;

$\kappa_3$  – коэффициент загрузки рабочей машины;

$\mu_{nn}$  и  $\mu_{no}$  – кратности пускового момента от действия симметричных составляющих напряжения прямой и обратной последовательностей;

$\mu_{mn}$  и  $\mu_{mo}$  – кратности минимального момента от действия симметричных составляющих напряжения прямой и обратной последовательностей;

$I$  – момент инерции системы «электродвигатель – рабочая машина», кг·м<sup>2</sup>;

$M_n$  – номинальный момент электродвигателя, Н·м;

$\omega_m$  – минимальная угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Исследовав электромеханический переходный процесс на втором участке разгона электродвигателя (от  $\omega = \omega_m$  до  $\omega = \omega_k$ ), получено выражение времени разгона электродвигателя на этом участке:

$$t_2 = T_2 \ln \frac{\kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{ko} - \kappa_3}{\kappa_{U1}^2 \mu_{mn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{mo} - \kappa_3}; \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{I (\omega_k - \omega_m)}{M_n (\kappa_{U1}^2 (\mu_{kn} - \mu_{mn}) - \kappa_{U2}^2 (\mu_{ko} - \mu_{mo}))}, \quad (5)$$

где  $\mu_{kn}$  и  $\mu_{ko}$  – кратности критического момента от действия симметричных составляющих напряжения прямой и обратной последовательностей;

$\omega_k$  – критическая угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Исследовав электромеханический переходный процесс на третьем участке разгона электродвигателя (от  $\omega = \omega_k$  до  $\omega = \kappa \omega_n$ ), получено выражение времени разгона электродвигателя на этом участке:

$$t_3 = T_3 \ln \frac{1}{1 - \frac{(\kappa \omega_n - \omega_k) (\kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{ko} - \kappa_{U1}^2 + \kappa_{U2}^2)}{(\omega_n - \omega_k) (\kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{ko} - \kappa_3)}}}; \quad (6)$$

$$T_3 = \frac{I(\omega_n - \omega_k)}{M_n \left( \kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - \kappa_{U2}^2 \mu_{ko} - \kappa_{U1}^2 + \kappa_{U2}^2 \right)}, \quad (7)$$

где  $\kappa$  – кратность угловой скорости, до которой разгоняется электродвигатель на рабочем участке механической характеристики;

$\omega_n$  – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Запишем уравнение теплового баланса для обмотки статора, принимая тепловой процесс при пуске электродвигателя адиабатическим

$$Cd\tau = P_0(1 + \alpha\tau)dt, \quad (8)$$

где  $C$  – теплоемкость обмотки, Дж/°С;

$P_0$  – потери активной мощности в обмотке статора при температуре окружающей среды, Вт;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления материала проводника обмотки, 1/°С;

$\tau$  – превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды, °С;

$t$  – текущее время, с.

Перепишем уравнение в следующем виде:

$$T_n \frac{d\tau}{dt} - \tau - \frac{1}{\alpha} = 0; \quad (9)$$

$$T_n = \frac{C}{3\alpha r_0 P}, \quad (10)$$

где  $P$  – импульс квадрата пускового тока, А<sup>2</sup>·с;

$r_0$  – активное сопротивление обмотки статора при температуре окружающей среды, Ом.

Решив уравнение (9), находим выражение текущего превышения температуры обмотки над температурой окружающей среды и выражение скорости нарастания температуры обмотки

$$\tau = \left( \frac{1}{\alpha} + \tau_{нач} \right) e^{\frac{t}{T_n}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (11)$$

где  $\tau_{нач}$  – начальное превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды, °С.

Запишем выражение текущей угловой скорости электродвигателя на первом участке разгона через скольжение электродвигателя, принимая напряжение пониженным, но симметричным

$$s = 1 - \frac{\kappa_{U1}^2 \mu_{nn} - \kappa_3}{\kappa_{U1}^2 (\mu_{nn} - \mu_{mn})} \cdot \frac{\omega_m}{\omega_o} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right), \quad (12)$$

где  $\omega_o$  – синхронная угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Максимальное превышение температуры обмотки статора в конце первого участка разгона электродвигателя

$$\tau_{m1} = \left( \frac{1}{\alpha} + \tau_{нач} \right) e^{\frac{3\alpha r_0 \Pi_1}{C}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (13)$$

Импульс квадрата действующего значения пускового электрического тока на первом участке:

$$\Pi_1 = \int_0^{t_1} I_{\Pi 1}^2 dt \approx \frac{I_{n0}^2 + I_{n1}^2}{2} t_1, \quad (14)$$

где  $I_{\Pi 1}$  – действующее значение пускового электрического тока в конце первого участка, А.

$$I_{\Pi} = \frac{U}{z}; \quad (15)$$

$$z = \sqrt{(R_1' + R_2''/s)^2 + (X_1' + X_2'')^2}. \quad (16)$$

Запишем выражение текущей угловой скорости электродвигателя на втором участке разгона через скольжение электродвигателя при тех же условиях

$$s = 1 - \frac{\omega_m}{\omega_0} + \frac{\kappa_3 - \kappa_{U1}^2 \mu_{mn}}{\kappa_{U1}^2 (\mu_{kn} - \mu_{mn})} \cdot \frac{\omega_k - \omega_m}{\omega_0} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (17)$$

Максимальное превышение температуры обмотки статора в конце второго участка разгона электродвигателя

$$\tau_{m2} = \left( \frac{1}{\alpha} + \tau_{m1} \right) e^{\frac{3\alpha r_0 \Pi_2}{C}} - \frac{1}{\alpha}. \quad (18)$$

Импульс квадрата действующего значения пускового электрического тока на втором участке

$$\Pi_2 = \int_{t_1}^{t_2} I_{\Pi 2}^2 dt \approx \frac{I_{n1}^2 + I_{n2}^2}{2} t_2, \quad (19)$$

где  $I_{\Pi 2}$  – действующее значение пускового электрического тока в конце второго участка, А.

Запишем выражение текущей угловой скорости электродвигателя на третьем участке разгона через скольжение электродвигателя при тех же условиях

$$s = 1 - \frac{\omega_k}{\omega_0} + \frac{\kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - \kappa_3}{\kappa_{U1}^2 \mu_{kn} - 1} \left( \frac{\omega_n - \omega_k}{\omega_0} \right) \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_3}} \right). \quad (20)$$

Максимальное превышение температуры обмотки статора в конце третьего участка разгона электродвигателя

$$\tau_{m3} = \left( \frac{1}{\alpha} + \tau_{m2} \right) e^{\frac{3\alpha r_0 P_3}{C}} - \frac{1}{\alpha}. \quad (21)$$

Импульс квадрата действующего значения пускового электрического тока на третьем участке

$$P_3 = \int_{t_2}^{t_3} I_{ПЗ}^2 dt \approx \frac{I_{n2}^2 + I_{n3}^2}{2} t_3, \quad (22)$$

где  $I_{ПЗ}$  – действующее значение пускового электрического тока в конце третьего участка, А.

Скорость теплового износа изоляции в послепусковой период опишется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{\left( \frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\tau_n (1 - e^{-t/T}) + \tau_m e^{-t/T} + \vartheta_{cp} + 273} \right)}, \quad (23)$$

где  $\varepsilon$  – текущая скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

$\varepsilon_n$  – номинальная скорость теплового износа изоляции, бч/ч;

$B$  – параметр, характеризующий класс изоляции, К;

$T$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, с;

$\Theta_n$  – абсолютная номинальная температура изоляции, К;

$\vartheta_{cp}$  – температура окружающей среды, °С.

Представим графики остывания обмотки электродвигателя (рис.2) и скорости теплового износа изоляции в послепусковой период (рис.3).

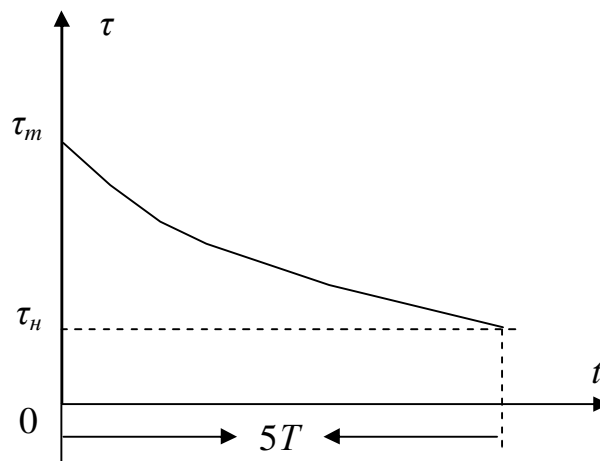


Рис. 2.

Дополнительный тепловой износ изоляции в послепусковой период происходит на интервале времени от нуля до  $5T$  и может быть найден по выражению

$$E_{don} = \int_0^{5T} \varepsilon dt - 5T \varepsilon_n, \quad (24)$$

где  $\varepsilon$  – описывается (23).

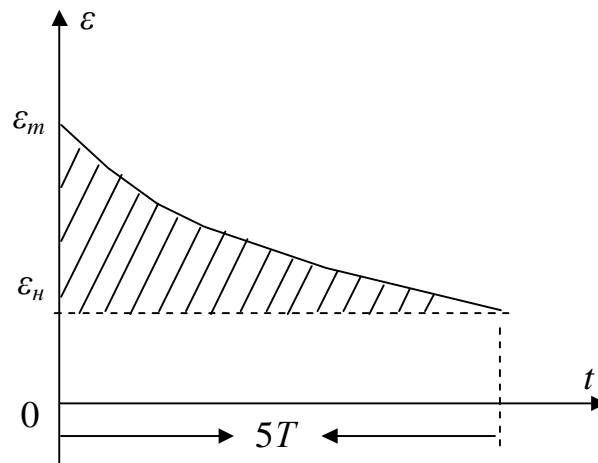


Рис. 3.

Количественный анализ проведем на примере электродвигателя типоразмера 4А100S2У3 со следующими каталожными данными [2]:  $P_{2н} = 4$  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;  $s_n = 0,033$ ;  $s_k = 0,28$ ;  $s_m = 0,8$ ;  $\mu_{mn} = 2,0$ ;  $\mu_{mn} = 1,6$ ;  $\mu_{kn} = 2,5$ ;  $r_{1(20)} = 1,19$  Ом;  $G_m = 3,78$  кг;  $\frac{I}{M_n} = 0,015$ .

Зависимость дополнительного теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период в функции импульса квадрата пускового тока представлена на рис. 4.

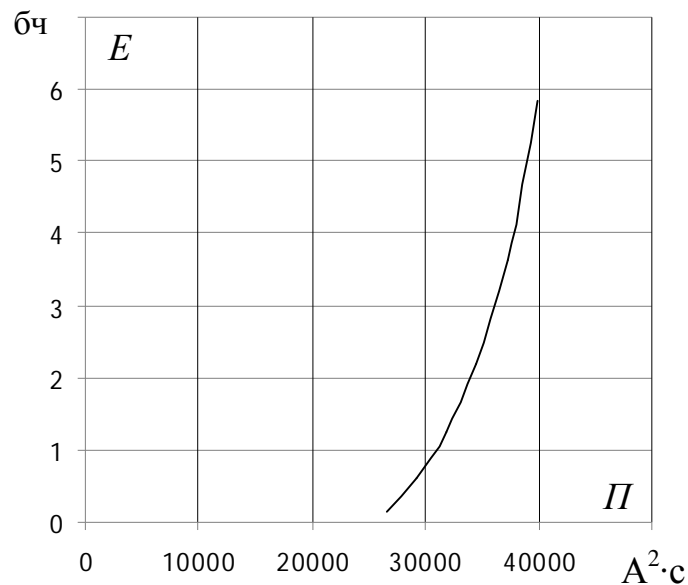


Рис. 4.

*Выводы:*

1. В послепусковой период наблюдается значительный дополнительный тепловой износ изоляции.
2. Полученная зависимость позволяет выбрать уставку импульса квадрата пускового тока предполагаемого устройства, облегчающего пусковой режим электродвигателя.

## Литература

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 168 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А; Справочник / [А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская]. – М.: Агропромиздат, 1982. – 504 с.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДА РЕСУРСА  
ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В  
ПОСЛЕПУСКОВОЙ ПЕРИОД**

Овчаров С.В., Стребков А.А.

*Анотація*

**Досліджені витрати ресурсу ізоляції асинхронного електродвигуна в післяпусковий період в умовах порівнянної потужності.**

**ANALYTICAL INVESTIGATION OF RESOURCE ISOLATION  
EXPENSE OF ASYNCHRONOUS MOTOR IN AFTERSTARTING  
PERIOD**

*S. Ovcharov, A. Strebkov*

*Summary*

**Expense of resource isolation of asynchronous motor in afterstarting period with conditions of commensurate power is investigated.**



УДК 658.011.56

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ЗЕРНА**

Саржан С.В., магістр,\*

Постнікова М.В., к.т.н.,

Карпова О.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-31-59

**Анотація** – визначений вплив енергетичних параметрів на енергоємність процесу помелу зерна.

**Ключові слова** – раціональне використання електроенергії, питомі витрати електроенергії, завантаження електродвигунів, енергоємність, борошномельний агрегат.

*Постановка проблеми.* Реалізації програми енергозбереження у сільськогосподарському виробництві приділяється велика увага. Один із шляхів енергозбереження при помелу зерна на млинах – розробка науково-обґрунтованих питомих норм витрат електроенергії, впровадження яких дозволить економити 8-10% електроенергії.

*Аналіз останніх досліджень.* Як показали дослідження [1 – 3], всі фактори, які впливають на питому витрату електроенергії стосовно млинів можна поділити на наступні: технологічні, механічні, енергетичні. Кожен з них впливає на енергоємність помолу зерна.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є виявлення впливу енергетичних факторів на питому витрату електроенергії при помолу зерна.

*Основна частина.* До енергетичних факторів відносяться: встановлена потужність, ККД силового електрообладнання, ступінь завантаження електродвигунів.

Залежність питомих витрат електроенергії від продуктивності нелінійна [3], тому для отримання рівняння регресії використовують плани другого порядку. Вибір факторів, інтервалів варіювання, рівнів виконаний на основі аналізу апріорної інформації. Межі змінення досліджуваних факторів прийняті з урахуванням технічних характеристик машин та технологічних обмежень, які обумовлені отриманням борошна вищого ґатунку. В якості змінних параметрів обрані:  $x_1$  –

---

\* Науковий керівник – к.т.н. Карпова О.П.

© магістр Саржан С.В., к.т.н. Постнікова М.В., к.т.н. Карпова О.П.

продуктивність машини, т/год.;  $x_2$  – приєднана потужність електродвигуна, кВт;  $x_3$  – коефіцієнт завантаження електродвигуна. В якості відгуку обрані питомі витрати електроенергії. Для математичного опису питомих витрат електроенергії використовується ортогональний центральний композиційний план другого порядку (ОЦКП) Бокса та Уїлсона [4], тому що цей метод має чітку процедуру оптимізації.

За таблицями [4] визначаються точки факторного простору для ОЦКП, розмір зіркових плечей, зіркових точок плану для числа факторів  $n=3$  (таблиця 1) для щіточної машини агрегату ОПМ-0,6.

Таблиця 1 – Рівні факторів та інтервали варіювання для щіточної машини агрегату ОПМ-0,6

Рівні	Нормована величина	Реальний масштаб		
		$x_1$ , т/год.	$x_2$ , кВт	$x_3$ , ум.од.
Базовий рівень	0	8,5	5,5	0,65
Ступінь варіювання $\Delta x_i$	$\pm 1$	1,5	1,5	0,15
Нижній рівень ПФЕ	-1	7	4	0,5
Верхній рівень ПФЕ	+1	10	7	0,8
Нижня зіркова точка ОЦКП	-1,215			
Верхня зіркова точка ОЦКП	+1,215			

Величина зіркового плеча  $x_i(\pm\alpha)$  розраховується за формулою

$$x_i(\pm\alpha) = x_{i,0} \pm \alpha \cdot \Delta x_i$$

Для ОЦКП другого порядку критерієм оптимальності є ортогональність всіх вектор-стовбців матриці плану, включаючи і вектор-стовбці для всіх квадратичних членів  $\tilde{x}_i^2$  ( $i=1,2,\dots$ ) та нульового члена  $x_0$ . Для цього вибирається величина зіркового плеча та перетворюються квадратичні змінні  $x_i^2$  в нові, штучні члени  $\tilde{x}_i^2$  за формулою [4]

$$\tilde{x}_{i,g}^2 = x_{i,g}^2 - \frac{1}{N} \cdot \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2,$$

де  $i$  – номер фактору;

$g$  – номер рядка матриці плану ОЦКП;

$N$  – кількість дослідів експерименту.

Розрахунки дозволяють отримати рівняння регресії для неперетворених квадратичних членів

$$\tilde{y} = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j} b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2,$$

$$\text{де } \tilde{b}_0 = b_0 - \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{g=1}^N x_i$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії ОЦКП визначаються незалежно один від одного

$$b_i = \frac{1}{\sum_{g=1}^N x_{i,g}^2} \cdot \sum_{g=1}^N x_{i,g} \cdot y_g$$

$$S_B^2\{y\} = 0,0036;$$

$$S^2\{b_1\} = S^2\{b_2\} = S^2\{b_3\} = 0,000329;$$

$$S^2\{b_{12}\} = S^2\{b_{13}\} = S^2\{b_{23}\} = S^2\{b_{123}\} = 0,00045;$$

$$S^2\{b_{11}\} = S^2\{b_{22}\} = S^2\{b_{33}\} = 0,0008255;$$

$$S_B^2\{b_0\} = 0,00024; \tilde{b}_0 = 0,5489; S_{ad}^2\{y\} = 0,007543.$$

Оцінка дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії при ОЦКП визначається наступним чином

$$S^2\{b_0\} = \frac{S_B^2\{y\}}{m \cdot \sum_{g=1}^N x_{0,g}^2} = \frac{S_B^2\{y\}}{m \cdot N};$$

$$S^2\{\tilde{b}_0\} = S^2\{b_0\} + \sum_{i=1}^n S^2\{b_{ii}\} \cdot \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2;$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{S_B^2\{y\}}{m \cdot \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2};$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{S_B^2\{y\}}{m \cdot \sum_{g=1}^N (x_{i,g} \cdot x_{j,g})^2};$$

$$S^2\{b_{ii}\} = \frac{S_B^2\{y\}}{m \cdot \sum_{g=1}^N (x_{i,g}^2)^2},$$

де  $S_B^2\{y\}$  – дисперсія відтворюваності дослідів для функції ОЦКП.

Статистична оцінка значимості отриманих коефіцієнтів, а також перевірка адекватності квадратичної моделі проводиться аналогічно ПФЕ. Різниця лише в тому, що для різних груп коефіцієнтів їх дисперсії будуть різні.

Було отримане рівняння регресії для розрахунку питомих витрат електроенергії в залежності від продуктивності, коефіцієнта заванта-

ження та приєднаної потужності електродвигуна в натуральних значеннях факторів

$$W = 0,0943P + 0,7955k_3 - 0,0403Q^2 + 0,62892Q - 2,921.$$

Як показує рівняння на величину питомих витрат електроенергії впливає в значній мірі продуктивність машини, потужність електродвигуна та його коефіцієнт завантаження (рис. 1, 2).

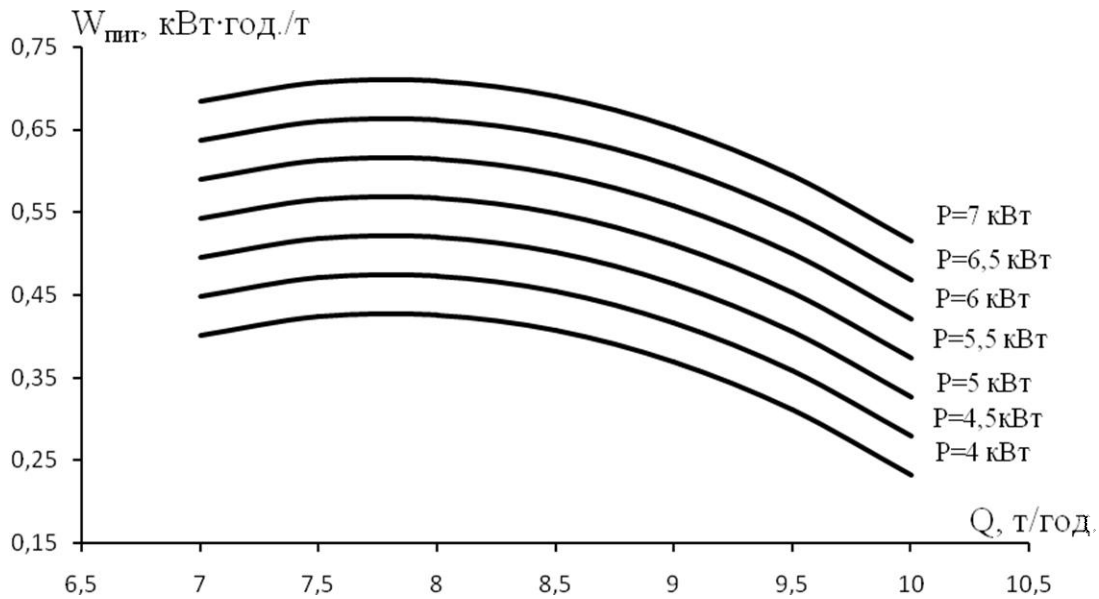


Рис. 1. Залежність  $W_{num} = f(Q)$  при  $P = var$  для щіточної машини.

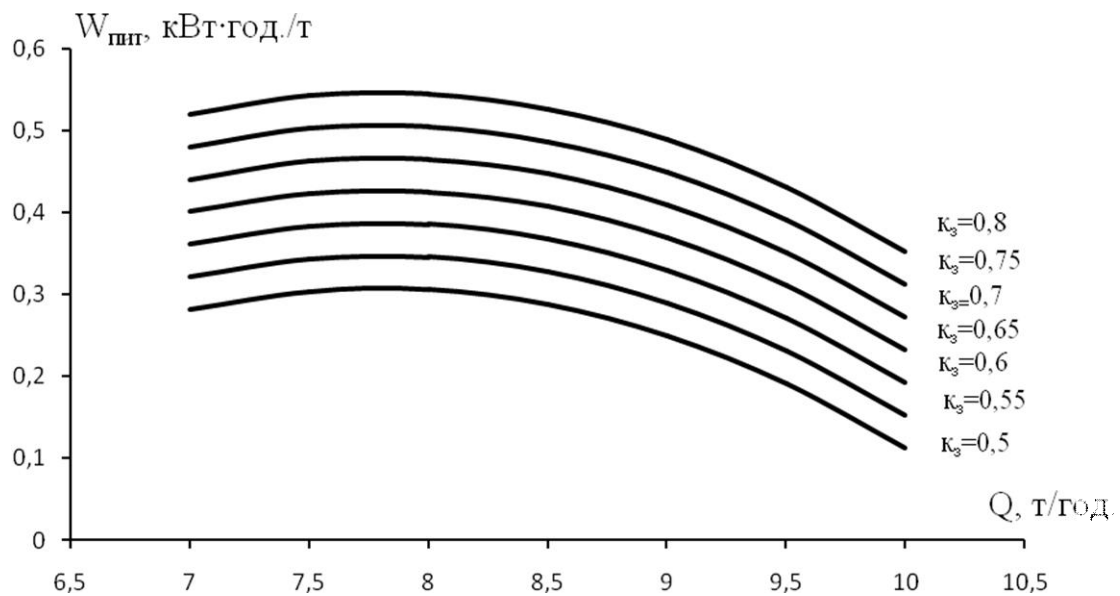


Рис. 2. Залежність  $W_{num} = f(Q)$  при  $k_3 = var$  для щіточної машини.

*Висновки.* На основі проведених теоретичних досліджень та згідно отриманих залежностей, можна зробити висновок, що питомі витрати електроенергії значною мірою залежать від продуктивності машини. Як видно з графіків залежностей, величина питомих витрат зменшується нелінійно та має вид параболи. Це явище обумовлене тим, що на початку роботи щіточної машини зерно дуже забруднене, по мірі очистки зерна та по мірі збільшення його подачі зменшується навантаження на щітчний барабан, тому і питомі витрати зменшуються.

#### Література

1. Кулак В.Г. Технология производства муки / В.Г. Кулак, Б.М. Максимчук. – М.: Агропромиздат, 1991. – 224 с.
2. Галкина Л.С. Техника и технология производства муки на комплектном оборудовании: Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов / Л.С. Галкина, В.А. Бутковский, Г.Е. Птушкина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 191 с.
3. Ястребов П.П. Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / П.П. Ястребов. – М.: Колос, 1973. – 312 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭНЕРГОЁМКОСТЬ ПРОЦЕССА ПОМОЛА ЗЕРНА**

Саржан С.В., Постникова М.В., Карпова А.П.

#### *Аннотация*

**Определено влияние энергетических параметров на энергоёмкость процесса помола зерна.**

### **DETERMINATION OF THE INFLUENCE ENERGY PARAMETER ON ENERGOYOMKOSTI PROCESS OF THE GRIND GRAIN**

S. Sarzhan, M. Postnikova, F. Karpova

#### *Summary*

**The certain influence energy parameter on energy capacity process of the grind grain.**

УДК 631.37

## **ЕЛЕКТРИФІКОВАНИЙ АГРОМОДУЛЬ – ЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МЕХАНІЗАЦІЇ РОСЛИННИЦТВА**

Кувачов В.П., к.т.н.,

Куценко Ю.М., к.т.н.,

Ковальов О.В., інженер,

Ігнат'єв Є.І., інженер.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-31-58

**Анотація** – обґрунтовано необхідність створення електрифікованих агромодулів для обробки ґрунту та визначено його основні техніко-енергетичні показники.

**Ключові слова** – агромодуль, тяговий електродвигун, мостова технологія, агрофон, централізоване електропостачання.

*Постановка проблеми.* Тенденції розвитку сучасного сільгоспвиробництва направлені головним чином на вирішення таких задач як зменшення виробничих витрат, підвищення врожайності і збереження родючості ґрунту. Що стосується останнього, то сьогодні науковцями пропонується велика кількість методик, направлених на призупинення деградації родючого шару ґрунту [1], яке відбувається внаслідок його переущільнення ходовими системами енергетичних засобів і сільськогосподарських машин. Також, неможна сьогодні відкидати проблему перспективи забезпечення паливно-мастильними матеріалами засобів механізації, оскільки вже через 20-30 років споживання нафтопродуктів стане вирішальним фактором енергозабезпеченості АПК. Тому, на думку проф. В.Т. Надикто, сучасні технології виконання польових робіт з допомогою машинно-тракторних агрегатів вичерпали можливість подальшого розвитку [2].

У такій ситуації багатьма науковцями розглядається напрямок революціонування сільського господарства за рахунок переходу від тракторно-комбайнових технологій до мостової. Але ж, ідея мостового землеробства дотепер не впроваджена. Аналіз досліджень цього напрямку показує, що причинами тому є велика матеріалоємність агрономів та недостатні наукові напрацювання [2].

*Аналіз останніх досліджень.* Велика роль в систематизації та розв'язанні фундаментальних проблем мостової технології землеробс-

---

© к.т.н. Кувачов В.П., к.т.н. Куценко Ю.М., інженер Ковальов О.В., інженер Ігнат'єв Є.І.

тва належить науковцю Улексіну В.О. В своїх наукових працях він достатньо висвітлює стан розвитку та розробляє теоретичні основи мостового землеробства. Для зменшення матеріалоемності агромотових конструкцій ним запропоновано кривоково-рейковий рушій. Практична реалізація цієї ідеї вносить певні труднощі, які полягають в необхідності монтажу рейкового шляху та перестановку однієї з балок на новий крок у напрямку руху мостової машини.

Удосконаленню будови агромотів присвячено патенти науковців Росії, де пропонується використовувати готові конструкції ферм від зрошувальних машин.

*Формулювання цілей статті.* Обґрунтування наукових основ створення електрифікованого агромодуля для механізації сільськогосподарського виробництва.

*Основна частина.* Розглянемо модель електрифікованого агромодуля, який можна створити наприклад на базі елементів конструкцій дощувальних машин (рис. 1) та реалізувати в рослинництві. Основними елементами агромодуля є: 1 – остов-рама, 2 – енергетична установка (тяговий електродвигун), 3 – кабель електричного живлення, 4 – механізм приводу рушіїв, 5 – рушії, 6 – навісний механізм, 7 – додатковий баласт.

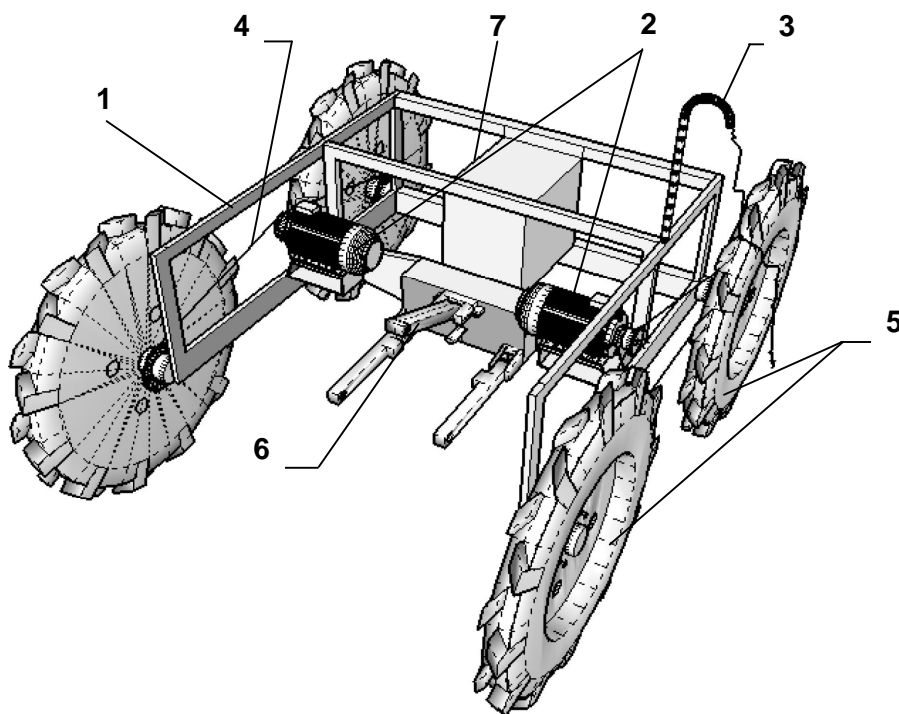


Рис. 1. Модель електрифікованого агромодуля.

*Вага агромодуля  $G_{ам}$*  визначається за умови зчеплення рушіїв з ґрунтом. Зчеплення повинно бути достатнім для того, щоб агромодуль на горизонтальній ділянці змог розвивати задане номінальне тягове зусилля при роботі на агрофоні нормальної вологості з буксуванням

не більше допустимого, яке, наприклад, для колісних тракторів становить  $\delta_n = 14-16\%$

$$G_{ai} = \frac{P_{\text{ед.і}}}{\lambda_e \varphi_e - f_e}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{кр.н}}$  – номінальне тягове зусилля, кН;

$\lambda_k$  – коефіцієнт навантаження ведучих коліс;

$\varphi_k$  – коефіцієнт зчеплення;

$f_k$  – коефіцієнт опору перекочування.

Припустимо, що для покращення зчіпних якостей агро модуля його всі колеса ведучі. В такому випадку значення коефіцієнта навантаження  $\lambda_k = 1$ . Коефіцієнти  $\varphi_k$  та  $f_k$  в першому наближенні попередніх розрахунків приймемо на рівні значень для колісних тракторів при роботі на полі, підготовленому під посів ( $\varphi_k = 0,4-0,6$ ;  $f_k = 0,16-0,18$ ). Залежність величини тягового зусилля агро модуля від ваги (діапазон варіювання 5-10 кН) представлено на рис. 2, аналіз якого свідчить, що реалізація тягових зусиль агро модулем до 4,5 кН потребує необхідну його масу до 1 т.

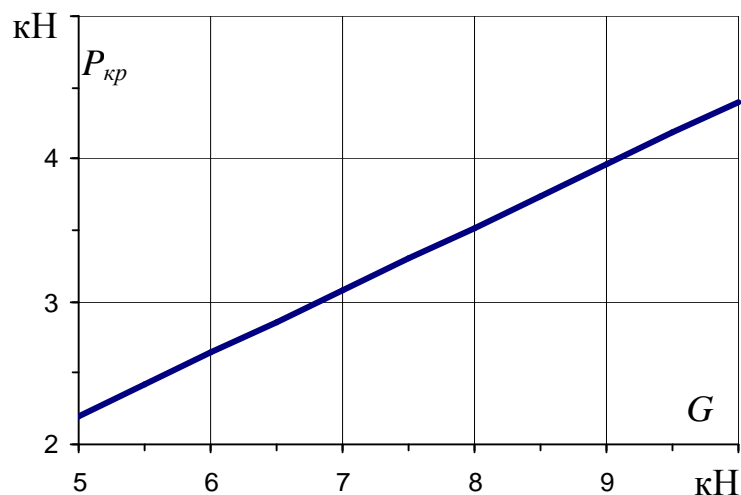


Рис. 2. Тяговий розрахунок агро модуля.

**Вибір потужності** тягового електродвигуна є однією з найбільш складних і відповідальних задач, що виникає в процесі створення тягового електроприводу будь-яких мобільних агрегатів і транспортних систем, у тому числі і агро модуля на початковій стадії їх розробки.

Основною вимогою і критерієм правильного вибору електродвигуна є відповідність його потужності і параметрів умовам технологічного процесу робочої машини.

Номінальну експлуатаційну потужність тягового електродвигуна агро модуля  $N_{ам}$  визначається за умови реалізації на заданому агро фоні номінального тягового зусилля при заданій швидкості руху  $v_{ам}$  по горизонтальній ділянці



$$N_{\dot{a}i}^{\dot{a}} = \frac{(P_{\dot{e}d.i} + P_f) v_{\dot{a}i}}{\eta_{\dot{o}\dot{o}}(1 - \delta_i)}, \quad (2)$$

де  $P_f$  – сила опору перекочування,  $P_f = f_k \cdot G_{ам}$ , кН;

$\eta_{mp}$  – механічний ККД трансмісії.

У попередніх розрахунках механічний ККД трансмісії приймається рівним  $\eta_{mp} = 0,95-0,98$ . Для більш точних розрахунків потужності за рівнянням (2) необхідно тяговий ККД визначати з урахуванням реальної компоновки механічної передачі приводу рушіїв агро модуля: типу редуктора, можливого використання додаткової ланцюгової передачі та ін. Швидкість руху агро модуля  $v_{ам}$  при підстановці в рівняння (2), приймається відповідно до доцільного діапазону швидкостей, що встановлені на основі досліджень та спостережень за роботою мобільних агрегатів [3].

Необхідна експлуатаційна потужність тягового електродвигуна агро модуля в залежності від тягового зусилля по (2) представлена на рис. 3.

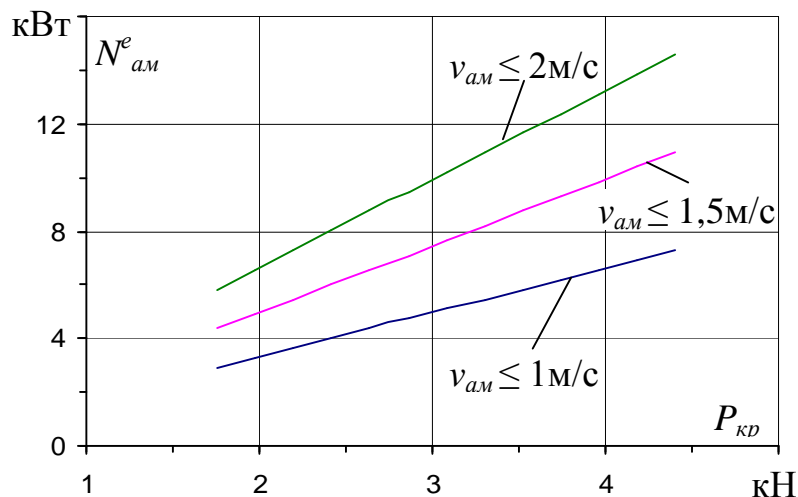


Рис.3. До розрахунку експлуатаційної потужності тягового електродвигуна агро модуля.

Аналіз рис. 3 свідчить, що за умови тягової здатності агро модуля до 4,5 кН потужність тягового електродвигуна повинна становити мінімум 10 кВт. Графіки потужності можуть бути використані на практиці для визначення розрахункової потужності тягових електродвигунів у приводі агро модулів.

**Обґрунтування типу електродвигуна.** Основне призначення тягового електродвигуна сумісно з пристроєм керування агро модуля полягає в забезпеченні заданої тягової характеристики з високими енергетичними показниками і потрібною надійністю. За тяговою характеристикою може бути побудована механічна характеристика двигуна залежності крутного моменту від кутової частоти обертання вала

$M = f(\omega)$ , яка являє собою закон його регулювання [4]. Для практичної реалізації ідеї електрифікованого агро модуля з централізованим електропостачанням можуть бути використані й електродвигуни змінного струму, і двигуни постійного струму з керованими вентильними перетворювачами. Але використання електродвигунів постійного струму, і особливо двигунів послідовного збудження, має низку суттєвих переваг, до яких слід віднести:

– Механічні характеристики двигунів послідовного збудження  $M = f(\omega)$  за будь-якого способу регулювання швидкості наближені до гіперболи. Тобто у цих двигунів у разі зміни моменту опору навантаження, кутова швидкість  $\omega$  змінюється автоматично, забезпечуючи сталість потужності  $N^e = const$  (рис. 4). При цьому, для керування двигуном постійного струму під час живлення від централізованої мережі змінного струму можна застосовувати порівняно простий керований напівпровідниковий випрямляч, який має невеликі габарити та вартість. У випадку застосування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором для реалізації цього ж закону регулювання потрібно використовувати трифазний вентильний перетворювач частоти, який за вартістю в декілька разів перевищує вартість двигуна.

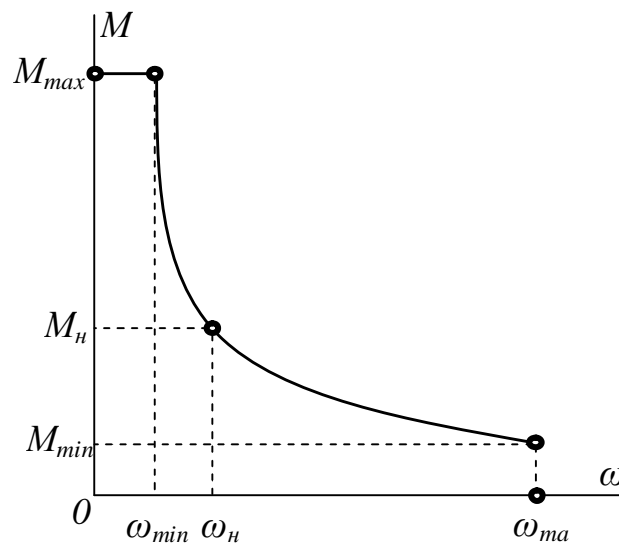


Рис. 4. Механічна характеристика тягового електродвигуна з регулятором.

– Електродвигуни постійного струму, на відміну від асинхронних і синхронних електродвигунів, забезпечують регулювання швидкості в широкому діапазоні, як вниз від номінальної, так і вгору, шляхом ослаблення магнітного поля з використанням простих технічних засобів. При цьому коефіцієнт зміни максимальної швидкості, що характеризує регульовальні властивості двигуна становить на рівні  $K_\omega = \omega_{max}/\omega_n = 2-4$ . Для збільшення швидкості вище номінальної у асинхронних та синхронних двигунів необхідно підвищити напругу живлення в 2-2,5 рази вище но-

мінальної, що обумовлює інтенсивне нагрівання двигуна та перетворювача, істотне збільшення втрат і зниження ККД.

За пусковими властивостями та переважувальній здатності двигуни постійного струму також мають беззаперечну перевагу перед асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Про це свідчать такі порівняльні дані:

		АД	ДПС
- кратність пускового струму	$K_i = I_n / I_n$	5-7	2-3
- кратність пускового моменту	$M_n = M_n / M_n$	1,2-1,5	2-3
- переважувальна здатність	$M_m = M_{max} / M_n$	1,5-2,0	2-3

– У двигунах послідовного збудження електромагнітний момент має квадратичну залежність від струму якоря  $I_a$ , а значить, і від струму навантаження  $I$ . Це дає підставу застосовувати ці двигуни в приводах установок, де необхідні великі моменти при пуску і спостерігаються часті перевантаження.

Отже, у разі зміни навантажувального моменту в широких межах потужність  $N^e$  і струм  $I_a$  у двигуна послідовного збудження змінюється пропорційно  $\sqrt{M}$ . Це означає, що за одного і того ж моменту навантаження на валу двигуни послідовного збудження можуть мати меншу встановлену потужність порівняно з іншими електродвигунами. Ця обставина особливо важлива для розглядаемого агро модуля з централізованим електропостачанням.

Поряд з перевагами тягових електродвигунів постійного струму є також істотні недоліки: порівняно великі габарити і маса, наявність щітково-колекторного вузла, необхідність транспортування електрокабелю живлення, відносно збільшена вартість (мінімум в 2 рази) в порівнянні з ДВЗ. Великою перевагою асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором є надійність в роботі, відносно малі маса та габарити. За приблизно однакової керованості асинхронні електродвигуни легше по масі двигунів постійного струму в 2,5-3 рази та дешевші в 3-4 рази, але перетворювач частоти для їх керування важче та дорожче керованого випрямляча в 4-5 разів [4].

За величиною розрахункової потужності  $N_{ам}^e$ , з каталогу електрообладнання [5] обирають електродвигун з найближчою номінальною потужністю і, по можливості, з більшою номінальною частотою обертання  $n_n$ , що має більш високий ККД та менші габарити, але з обов'язковим виконанням вимог за кратністю максимальної швидкості  $K_\omega = \omega_{max} / \omega_i = n_{max} / n_i = 2,0-2,5$ , де  $n_{max}$  також наведено в каталогах.

**Висновки.** В альтернативу тракторам з двигунами внутрішнього згоряння використання енергетичних засобів на основі електрифікованих агро модулів – є рішення низки проблем в механізації рослинництва. З аналізу тягових розрахунків випливає, що реалізація тягових зусиль агро модулем до 4,5 кН потребує необхідну його масу до 1 т. А для забезпечення робочих швидкостей його руху до 1,5 м/с потуж-

ність тягового електродвигуна повинна становити мінімум 10 кВт. Результат порівняльної оцінки енергетичних показників, регулювальних і пускових властивостей двигунів постійного та змінного струму дозволив рекомендувати для приводу рушіїв агро модуля з централізованим електропостачанням двигуни постійного струму в комплекті з керуванням випрямлячем.

Недоліками практичної реалізації електрифікованих агро модулів з електродвигунами постійного струму є залежність таких машин від електромережі, кабельний спосіб електропостачання, великі габарити, маса і вартість електродвигунів.

#### Література

1. *Русанов В.А.* Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / *Русанов В.А.* – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
2. *Надикто В.Т.* Колійна та мостова системи землеробства. Монографія / *В.Т. Надикто, В.О. Улексін.* – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. – 270 с.
3. *Кусов Т.Т.* Создание энергетических средств с электромеханическим приводом/ *Т.Т. Кусов* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988, № 10. – С. 12–17.
4. *Ковальов О.В.* Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока/ *О.В. Ковальов* // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету – Вип. 2, Дніпропетровськ: ДДАУ, 2010. – С. 80-84.
5. Каталог електрооборудования 01.60.05-91 – Машины постоянного тока типа 4ПБМ, 4ПНМ и 4ПНМС. – М.: Изана, 1991. – 32 с.

### **ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЙ АГРОМОДУЛЬ – ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ МЕХАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

Кувачев В.П., Куценко Ю.Н., Ковалев А.В., Игнатьев Е.И.

#### *Аннотация*

Обоснована необходимость создания электрифицированных агро модулей для обработки почвы и определены его основные технико-энергетические показатели.

### **ELECTRIFIED THE MODULE IS AN EFFECTIVE PROBLEMS DECISION OF MECHANIZATION OF PLANT-GROWER**

V. Kuvachov, Y. Kutcenko, A. Kovalyov, E. Ignatiev

#### *Summary*

The necessity of creation is grounded electrified modules for treatment of soil and his basic technical indexes are certain.

УДК 621.311:664.72

**МЕТОДОЛОГИЯ ПЕРЕСТРОЙКИ  
СЛОЖНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА  
И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕКТА**

Назарьян Г.Н., к.т.н.,

Карпова А.П., к.т.н.,

Постникова М.В., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-31-59

***Аннотация*** – в работе рассматриваются особенности и методология перестройки математической модели объекта исследования методом планирования математического эксперимента с целью анализа и решения задачи оптимизации по стандартным программам на ЭВМ.

***Ключевые слова*** – методология, перестройка модели, математический эксперимент, факторы, параметр оптимизации, нормирование факторов, матрица планирования, двумерное сечение, поверхность отклика, контурные кривые.

***Постановка проблемы.*** Математическая модель сложного объекта, составленная на основе предварительных исследований или анализа состояния вопроса, как правило, представляет собой некоторую систему формул, эмпирических соотношений и коэффициентов, графических зависимостей и т.п. Решение задачи оптимизации объекта на такой модели практически невозможно. Поэтому возникает необходимость перестройки исходной математической модели, которую можно представить как интерполяционную задачу получения, с достаточной точностью, алгебраической аппроксимации многомерных зависимостей, представленных в исходной модели в неявном виде. При этом, обычные методы интерполяции, с помощью интерполяционных формул, рекомендуемые в вычислительной математике, не годятся для многомерных функций. В этом случае успешно может быть использован, так называемый, метод планирования математического эксперимента (ПМЭ), особенности и методология которого рассматриваются в данной работе.

***Анализ последних исследований.*** К числу первых публикаций по применению методов планирования эксперимента для перестройки

математических моделей можно отнести работы [1, 2], посвящённые вопросам оптимального проектирования серий шаговых и асинхронных двигателей с помощью ЦВМ. Более фундаментально применение теории планирования эксперимента в электромеханике рассмотрены в книге [4], содержащей обширную библиографию. Впервые методологии перестройки модели электрической машины методом ПМЭ уделяется внимание в [3]. В последнее время опубликованы работы [5] и [6] о применении метода ПМЭ для перестройки модели и решения задачи оптимизации технологического процесса и эксплуатационных показателей электромотора, что свидетельствует об универсальности и эффективности метода планирования математического эксперимента, более подробное рассмотрение методологии которого, по нашему мнению, представляет интерес особенно для решения задачи оптимизации различных объектов сельскохозяйственного производства.

*Основная часть. Особенности метода ПМЭ.* Название метода объясняется тем, что методология перестройки математической модели объекта исследования полностью основана на использовании математического аппарата классической теории планирования эксперимента [7, 8]. При этом в методе ПМЭ под “экспериментом” подразумевается *совокупность расчётов* с помощью математической модели объекта в соответствии с условиями, определяемыми матрицей принятого плана эксперимента. Поскольку результаты расчётов функции цели по исходной математической модели объекта представляют собой однозначную величину, поэтому будет отсутствовать дисперсия воспроизводимости “опытов”  $S_B^2\{y\}$ , как входных, так и выходных величин, в отличие от того, как это имеет место при проведении натуральных экспериментов. В этом и состоит важная отличительная особенность метода ПМЭ. Отпадает также необходимость дублирования расчётов в точках факторного пространства и рандомизация их по времени. Отсутствие дисперсии воспроизводимости функции цели не позволяет получить математическое описание объекта в виде уравнения регрессии с ограниченным числом членов. Поэтому возникает необходимость искусственно задаться точностью желаемой интерполяции и формально связать допустимую ошибку расчётов с некоторой оценкой дисперсии значений функции цели. В этом случае все предпосылки регрессионного анализа соблюдаются. Принимаем, что дисперсия воспроизводимости функции цели или параметра оптимизации равна

$$S_B^2\{y\} = y^2 = (3\sigma)^2, \quad (1)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия ошибки;

$\sigma$  – стандарт или средняя квадратическая ошибка.

Обычно задаются дисперсией ошибки, равной двум-трём стандартам  $\sigma$ .

Для нормального закона распределения средняя квадратическая ошибка или стандарт  $y = \sqrt{y^2}$ . В дальнейших расчётах принимаем, что  $\sigma = 0,02$ , т.е. ошибка составляет 2% и, следовательно,

$$S_B^2\{y\} = (3y)^2 = 0,0036. \quad (2)$$

*Методологию перестройки математической модели* рассмотрим на примере решения оптимизации удельного расхода электроэнергии технологического процесса поточной линии обработки зерна агрегата ЗАВ-20 [5]. В соответствии с поставленной задачей, в качестве параметра оптимизации, принимается удельный расход электроэнергии на единицу продукции  $W_{уд.}$ , кВт·ч/т.

При этом математическая модель объекта исследования может быть представлена в виде соотношения

$$W_{уд.} = \frac{\sum_1^n P_{ni} \cdot K_3}{Q \cdot \eta_{н.ср.} \cdot K_{заг.} \cdot K_{увл.}}, \quad (3)$$

где  $\sum_1^n P_{ni}$  – суммарная номинальная мощность электродвигателей в приводе рабочих машин поточной линии, кВт;

$\eta_{н.ср.}$  – среднее значение номинальных КПД электродвигателей, о.е.;

$K_3$  – коэффициент загрузки оборудования линии;

$Q$  – производительность поточной технологической линии, т/ч;

$K_{заг.}$ ;  $K_{увл.}$  – коэффициенты, учитывающие степень загрязнения и увлажнения обрабатываемого зерна.

Если в формуле (3) перейти к суммарной присоединённой мощности двигателей, то получим

$$W_{уд.} = \frac{\sum_1^n P_{li} \cdot K_3}{Q \cdot K_{заг.} \cdot K_{увл.}}. \quad (4)$$

При этом

$$\sum_1^n P_{li} = \frac{P_{n1}}{z_{n1}} + \frac{P_{n2}}{z_{n2}} + \dots + \frac{P_{nn}}{z_{nn}}; \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

*Выбор факторов и интервалов их варьирования* производится на основе анализа априорной информации об объекте исследования, математической модели функции цели или параметра оптимизации (4) и общих требований к факторам при использовании методов планирования экспериментов [7, 8].

В качестве переменных факторов параметра оптимизации принимаются:

$Q$  – производительность поточной технологической линии зерноочистительного агрегата ЗАВ-20, т/ч;

$\sum_1^n P_{1i}$  – суммарная присоединённая мощность электродвигателей поточной линии, кВт;

$K_3$  – коэффициент загрузки оборудования, о.е.

Интервалы варьирования факторов выбираются в соответствии с реальными возможностями настройки рабочих машин технологической линии подработки зерна и приведены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов	Факторы в нормированных единицах	Факторы в физических единицах		
		$Q$ , т/ч	$P_1$ , кВт	$K_3$ , о.е.
		$X_1$ , т/ч	$X_2$ , кВт	$X_3$
Верхний $X_{i,\epsilon}$	$x_{i,\epsilon} = +1$	20,0	26,0	0,8
Нижний $X_{i,\eta}$	$x_{i,\eta} = -1$	6,0	16,0	0,5
Базовый $X_{i,0}$	$x_{i,0} = 0$	13,0	21,0	0,65
Интервалы варьирования $\Delta X_i$	$\Delta x_i = \pm 1$	7,0	5,0	0,15
Размеры звёздного плеча				
+ $\alpha$	+1,215	21,505	27,075	0,832
- $\alpha$	-1,215	4,495	14,925	0,468

Нормализация факторов производится по формуле

$$x_i = \frac{X_i - X_{i,0}}{\Delta X_i}. \quad (5)$$

В соответствии с (5) нормированные значения факторов на разных уровнях будут равны

$$\begin{cases} x_{i,0} = \frac{X_{i,0} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = 0; \\ x_{i,\epsilon} = \frac{X_{i,\epsilon} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = +1; \\ x_{i,\eta} = \frac{X_{i,\eta} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = -1. \end{cases} \quad (6)$$

*Выбор типа плана и матрицы планирования математического эксперимента.*

При решении задачи оптимизации сложных объектов исследования для адекватного описания области оптимума, как правило, используются полиномы или уравнения регрессии второго порядка вида



$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i<j}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i<j<l}^n b_{ijl} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_l + \sum b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots, \quad (7)$$

где  $y$  – функция цели или параметр оптимизации;

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijl}, b_{ii}$  – коэффициенты уравнения регрессии;

$x_i, x_j, x_l$  – нормированные значения факторов.

Такая математическая модель может быть получена на основе планов второго порядка, например, ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) или ротатабельного центрального композиционного плана (РЦКП).

В [7, 8] рекомендуется для решения задач оптимизации планы ОЦКП второго порядка.

ОЦКП – это планирование эксперимента на пяти уровнях, которые в нормализованных единицах можно представить в виде:

$$1) -\alpha; \quad 2) -1; \quad 3) 0; \quad 4) +1; \quad 5) +\alpha, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – размер плеча звёздных точек.

Число точек факторного пространства и величины плеча звёздных точек при ОЦКП для различного числа факторов  $n$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 [8].

Число факторов	2	3	4	5	6
Точек ПФЭ (ДФЭ)	$2^2$	$2^3$	$2^4$	$2^{5-1}$	$2^{6-1}$
Звёздных точек	4	6	8	10	12
Центральных точек	1	1	1	1	1
Общее число точек	9	15	25	27	45
Размер плеча, $\alpha$	1,0	1,215	1,414	1,547	1,727

Матрица ОЦКП для трёх факторов представлена в таблице 3.

Для ОЦКП второго порядка критерием оптимальности является ортогональность всех векторов-столбцов матрицы плана, что обеспечивается двумя путям:

1. Преобразованием квадратичных членов  $x_i^2$  в новые, искусственные члены  $\tilde{x}_i^2$  (столбцы 9, 10 и 11) по формуле

$$\tilde{x}_{i,g}^2 = x_{i,g}^2 - \frac{1}{N} \cdot \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2, \quad (9)$$

где  $i$  – номер фактора (1, 2, ...,  $n$ );

$g$  – номер строки матрицы плана (1, 2, ...,  $N$ );

$N$  – общее число строк матрицы плана, равное числу опытов.

$$N = N_\phi + N_a + N_0. \quad (10)$$



2. Выбором определённой величины звёздного плеча для различного числа факторов и количества необходимых точек в центре плана  $N_0$  (таблица 2).

Далее производится расчёт значений функции цели  $y$  по исходной математической модели объекта (4) для каждой строки матрицы плана с учётом уровней факторов, указанных в столбцах матрицы и значений факторов, соответствующих этим уровням, приведенных в таблице 1. Результаты расчётов записываются в столбец №12 матрицы плана ОЦКП.

Для получения математической модели объекта исследования в виде уравнения регрессии вида (7) в соответствии с методикой проведения ОЦКП, подробно описанной в [7, 8], выполняются следующие расчёты:

1. Определяются значения коэффициентов уравнения регрессии (7) и производится оценка их значимости по критерию Стьюдента с учётом ошибки опыта, определяемой по принятой дисперсии воспроизводимости  $S_B^2\{y\}$  и равной  $\sqrt{S_B^2\{y\}}$ , т.е.  $S_B\{y\}$ .

2. Производится расчёт построчных значений расчётной функции цели  $\hat{y} = f(x_i; x_j; x_l)$ , полученной после исключения из уравнения (7) незначимых коэффициентов, по данным матрицы планирования по аналогии с расчётом построчных значений функции  $y = f(x_i; x_j; x_l)$ . Результаты расчётов  $\hat{y}$  заносятся в столбец №13 матрицы плана.

3. Проводится проверка адекватности расчётного уравнения функции цели  $\hat{y}$  по критерию Фишера. При этом для определения дисперсии адекватности  $S_{ad}^2\{\hat{y}\}$  используются данные о значениях функций  $y$  и  $\hat{y}$  приведенные в столбцах №12 и 13 матрицы планирования в таблице 3.

Для рассматриваемого примера было получено адекватное уравнение регрессии  $\hat{y}$  для расчёта удельного расхода электроэнергии  $W_{уд.}$  в зависимости от производительности  $Q$ , присоединённой мощности  $P_1$  и коэффициента загрузки  $K_3$  через нормированные значения факторов в следующем виде

$$\hat{y} = 1,3403 - 0,876x_1 + 0,391x_2 + 0,379x_3 - 0,237x_1x_2 - 0,229x_1x_3 + \\ + 0,102x_2x_3 - 0,055x_1x_2x_3 + 0,147x_1^2 + 0,197x_2^2 + 0,197x_3^2. \quad (11)$$

Расчётные значения функции цели, определённые по (11), приведены в столбце №13 в матрице плана эксперимента. С помощью формулы (6) также получено уравнение удельного расхода электро-

энергии технологической линии через факторы в физических единицах

$$\begin{aligned}
 W_{yd} = & 7,3923 - 0,0621 Q - 0,3417 P_1 - 11,7363 K_3 + \\
 & + 0,00004 Q P_1 + 0,002 Q K_3 + 0,2722 P_1 K_3 - 0,0105 Q P_1 K_3 + \quad (12) \\
 & + 0,003 Q^2 + 0,0079 P_1^2 + 8,7556 K_3^2.
 \end{aligned}$$

Для исследования области оптимума параметра оптимизации  $\hat{y}$  необходимо уравнение (11) представить в типичной канонической форме, переход к которой осуществляется переносом начала координат факторного пространства в точку  $S_z$  центра поверхности отклика и поворотом осей на некоторый угол до совмещения с главными осями геометрической поверхности. При этом параллельный перенос начала координат в центр устраняет линейные члены в уравнении регрессии (11) и изменяет величину свободного члена  $b_0$ , а поворот осей исключает взаимодействие факторов в исходном уравнении. Перенос начала координат и поворот осей обеспечивается по известным правилам аналитической геометрии.

Для определения координат нового центра поверхности отклика  $S_z$  уравнение (11) следует продифференцировать по каждой переменной  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  и частные производные приравнять к нулю.

$$\begin{cases}
 \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_1} = -0,876 - 0,237x_2 - 0,229x_3 + 0,294x_1 - 0,055x_2x_3 = 0; \\
 \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_2} = 0,391 - 0,237x_1 + 0,102x_3 + 0,394x_2 - 0,055x_1x_3 = 0; \\
 \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_3} = 0,379 - 0,229x_1 + 0,102x_2 + 0,394x_3 - 0,055x_1x_2 = 0.
 \end{cases} \quad (13)$$

Решая систему уравнений (13), получим координаты центра поверхности отклика

$$\tilde{\sigma}_{1s} = 1; \quad \tilde{\sigma}_{2s} = -0,357; \quad \tilde{\sigma}_{3s} = -0,333; \quad Y_s = 0,559,$$

что соответствует следующим значениям факторов и параметра оптимизации:

$$Q = 20 \text{ т/ч}; \quad P_1 = 19,215 \text{ кВт}; \quad K_3 = 0,6; \quad W_{yd} = 0,568 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}. \quad (14)$$

Для получения аналитической и графической интерпретации области оптимума параметра оптимизации, описываемого уравнением (11), а также определения значений факторов  $Q$ ,  $P_1$  и  $K_3$ , близких к оптимальным, воспользуемся методом двумерных сечений поверхности отклика. Построение двумерных сечений поверхности отклика пара-

метра оптимізації виконується в наступній послідовності. В рівняння регресії виду (11), незалежно від кількості факторів, підставляють близькі до оптимального значення або рівних 0, нульовому або базовому рівню всіх факторів, крім двох. В результаті рівняння (11) приводиться до рівняння регресії, виражає залежність параметра оптимізації від двох факторів. Після диференціювання такого рівняння по двом змінним і прирівнявши частині похідні нулю, визначаються координати центра і величина параметра оптимізації  $Y_s$ . Залежність параметра оптимізації від двох факторів можна представити на площині кривою ліній, названою ліній рівного відклику або контурною кривою. Ставляючи різні значення параметра оптимізації, можна побудувати сімейство таких кривих, даючи наглядне представлення про вплив двох факторів на параметр оптимізації. Аналогічно можна побудувати двовимірні сечення для кожної пари з числа досліджуваних факторів.

Розглянемо, застосовуючи до отриманого рівняння регресії (11), три варіанти двовимірних сечень поверхні відклику, з побудовою і аналізом сімейства контурних кривих.

1. Приймаємо в (11)  $x_1 = 0$ , що відповідає значенню фактора  $Q = 13,0$  т/ч (табл. 1). В цьому випадку двовимірне сечення буде характеризувати вплив факторів  $P_1$  і  $K_3$  на параметр оптимізації  $W_{y0}$ . Рівняння (11) примет вид

$$\hat{y} = 1,3403 + 0,391x_2 + 0,379x_3 + 0,102x_2x_3 + 0,197x_2^2 + 0,197x_3^2.$$

Рівняння в частинних похідних

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_2} = 0,391 + 0,102x_3 + 0,394x_2 = 0;$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_3} = 0,379 + 0,102x_2 + 0,394x_3 = 0;$$

$$\tilde{o}_{2s} = -0,793; \quad \tilde{o}_{3s} = -0,752; \quad Y_s = 1,041,$$

що відповідає значенням факторів  $P_1 = 17,06$  кВт;  $K_3 = 0,537$  і  $W_{y0} = 1,04$  кВт·ч/т.

Для канонічного перетворення розв'язується система:

$$f(B) = \begin{vmatrix} 0,394 - B & 0,5 \cdot 0,102 \\ 0,5 \cdot 0,102 & 0,394 - B \end{vmatrix} = (0,394 - B)(0,394 - B) - 0,0026 = 0.$$

Собственными числами даного характеристического уравнения будут

$$B_{22} = 0,343; \quad B_{33} = 0,445.$$

Каноническое уравнение будет иметь вид

$$Y - 1,041 = 0,343X_2^2 + 0,445X_3^2.$$

Контурные кривые являются эллипсами. Центр эллипса будет минимумом. Поверхность отклика функции цели и её двумерные сечения для ЗАВ-20 при  $x_1 = 0$  приведены на рис. 1 (а, б).

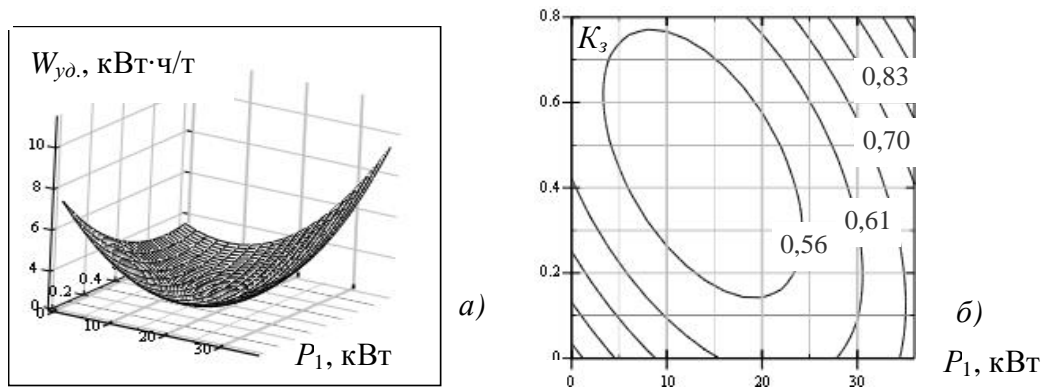


Рис. 1. Поверхность отклика функции цели (а) и её двумерные сечения (б) для ЗАВ-20 при  $x_1 = 0$ .

Аналогично выполняются двумерные сечения при  $x_2 = 0$  и  $x_3 = 0$  и определяются координаты центра  $S_z$  и параметр оптимизации  $Y_s$ .

2. При  $x_2 = 0$ , т.е. принимается  $P_1 = 21$  кВт. Координаты центра  $x_{1S} = -4,016$ ;  $x_{3S} = 1,406$ ;  $Y_S = -1,178$ , что соответствует  $Q = 15,11$  т/ч;  $K_3 = 0,5$  и  $W_{yd.} = 1,178$  кВт·ч/т.

Каноническое уравнение будет иметь вид

$$Y + 0,178 = 0,22X_1^2 + 0,468X_3^2.$$

Контурные кривые являются окружностью, круглая впадина. Центр окружности будет минимумом. Поверхность отклика функции цели и её двумерные сечения для ЗАВ-20 при  $x_2 = 0$  приведены на рис. 2 (а, б).

3. При  $x_3 = 0$ , т.е. принимается  $K_3 = 0,65$ . Координаты центра  $x_{1S} = -4,2$ ;  $x_{2S} = 1,55$ ;  $Y_S = -0,209$ , что соответствует  $Q = 16,4$  т/ч;  $P_1 = 28,5$  кВт и  $W_{yd.} = 0,209$  кВт·ч/т.

Каноническое уравнение будет иметь вид:

$$Y + 0,209 = 0,217X_1^2 + 0,472X_2^2.$$

Контурные кривые являются окружностью. Центр окружности будет минимумом. Поверхность отклика функции цели и её двумерные сечения для ЗАВ-20 при  $x_3 = 0$  приведены на рис. 3 (а, б).

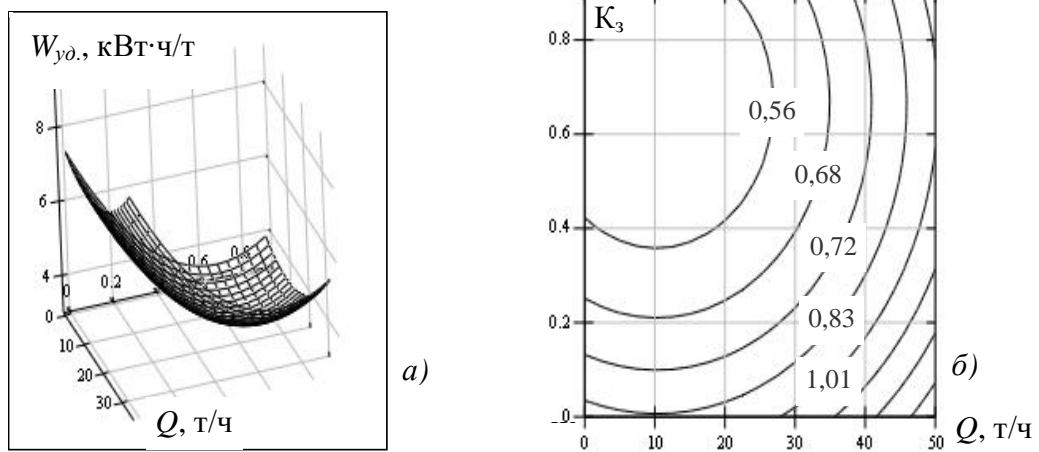


Рис. 2. Поверхность отклика функции цели (а) и её двумерные сечения (б) для ЗАВ-20 при  $x_2 = 0$ .

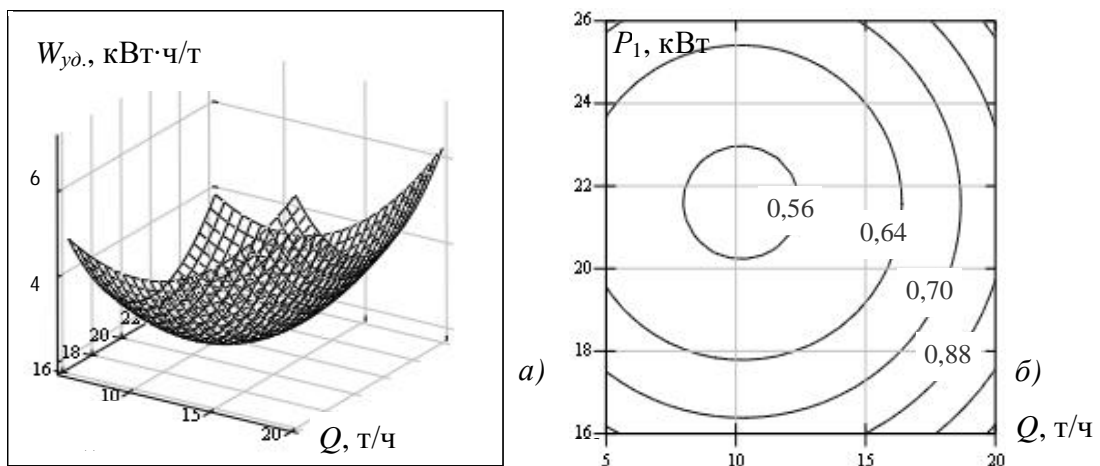


Рис. 3. Поверхность отклика функции цели (а) и её двумерные сечения (б) для ЗАВ-20 при  $x_3 = 0$ .

Выполнение всех возможных двумерных сечений поверхностей отклика даёт наглядное представление о значениях параметра оптимизации при варьировании уровней каждой пары факторов.

Полученные в результате расчётов данные обрабатывались на ПЭВМ с использованием прикладных программ Microsoft Excel 2000, Matchad-2000. В результате расчетов было установлено, что минимум удельного расхода электроэнергии  $W_{уд.} = 0,568$  кВт·ч/т обеспечивается у ЗАВ-20 и ЗАР-5 при  $Q = 20$  т/ч,  $P_1 = 19,215$  кВт,  $K_3 = 0,6$ .

**Выводы.** В работе впервые приводится систематическое изложение методологии перестройки математической модели объекта ис-

следования методом планирования математического эксперимента (ПМЭ) с целью анализа и решения задачи оптимизации объекта с помощью ЭВМ.

Для наглядности методология перестройки излагается на примере оптимизации технологического процесса очистки зерна на поточной линии агрегата ЗАВ-20 зернопункта сельскохозяйственного предприятия. В результате расчётов на ЭВМ, с использованием стандартных прикладных программ, установлено, что минимум удельного расхода электроэнергии  $W_{уд.} = 0,568$  кВт·ч/т обеспечивается на агрегате ЗАВ-20 при следующих значениях основных факторов, влияющих на удельный расход электроэнергии: производительности  $Q = 20$  т/ч, присоединённой мощности электрооборудования  $P_1 = 19,215$  кВт и коэффициента загрузки оборудования  $K_3 = 0,6$  при максимальном качестве очищенного зерна.

#### Литература

1. Адаменко А.И. Применение методов планирования эксперимента для построения математической модели серии оптимальных вариантов асинхронных двигателей / А.И. Адаменко, В.И. Кисленко, Г.В. Лукина, Л.Б. Ракитский // Проблемы технической электродинамики. Республиканский межведомственный сборник. – К.: Наук. думка, 1973. – С.3–14.
2. Новаковская З.Д. Применение методов планирования эксперимента для решения задач синтеза при проектировании шаговых двигателей / З. Д. Новаковская // Труды МЭИ. – М.: МЭИ, 1972, Вып. 138. – С.165–169.
3. Новаковская З.Д. Методология перестройки модели проектирования электрической машины в модель, приспособленную к решению задач синтеза по стандартным программам на ЦВМ / З.Д. Новаковская, Е.Ф. Кулевская // Электромеханика: Изв. высш. учеб. завед., 1976, №12. – С.1395–1399.
4. Ивоботенко Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б.А. Ивоботенко, Н.Ф. Ильинский, И.П. Копылов. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
5. Дидур В.А. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента / В.А. Дидур, Е.П. Масюткин, М.В. Постникова, В.А. Масловский // Праці інституту електродинаміки НАН України. – Київ, 2008. – Вип. 19. – С.94–98.



6. Ковальов О.В. Оптимізація експлуатаційних показників електромоблоку методом планування експерименту / О.В. Ковальов, Ю.М. Куценко, М.А. Рубцов, Г.Н. Назар'ян // Праці ТДАТУ. – Вип. 11, Т. 4. – Мелітополь, ТДАТУ, 2011. – С.187–200.

7. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

8. Назар'ян Г.Н. Практический курс планирования эксперимента / Г.Н. Назар'ян. – Мелітополь: ТГАТА, 1999. – 66 с.

## **МЕТОДОЛОГІЯ ПЕРЕБУДОВИ СКЛАДНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ ПЛАНУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТУ**

Назар'ян Г.Н., Карпова О.П., Постнікова М.В.

### *Анотація*

**В роботі розглядаються особливості і методологія перебудови математичної моделі об'єкту дослідження методом планування математичного експерименту з ціллю аналізу і вирішення задачі оптимізації за стандартними програмами на ЕОМ.**

## **METHODOLOGY OF THE REALIGNMENT TO COMPLEX MATHEMATICAL MODEL OF THE OBJECT OF THE STUDY BY METHOD OF THE PLANNING THE MATHEMATICAL EXPERIMENT FOR ANALYSIS AND DECISIONS OF THE PROBLEM TO OPTIMIZATION THE OBJECT**

G. Nazaryan, A. Karpova, M. Postnikova

### *Summary*

**In functioning are considered particularities and methodology of the realignment to mathematical model of the object of the study by method of the planning the mathematical experiment for the reason analysis and decisions of the task to optimization on standard program on ECM.**

УДК 621-519:621.395

## СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Курашкин С.Ф., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Аннотация** – работа посвящена разработке системы дистанционного диагностирования режимов работы удаленных электрифицированных объектов на примере электродвигателей погружных насосов.

**Ключевые слова** – диагностирование режимов работы, асинхронный электродвигатель, погружной насос, GSM-модуль.

*Постановка проблемы.* Артезианские скважины предназначены для водоснабжения промышленных и бытовых объектов и, как правило, территориально разбросаны на широкой площади, что усложняет не только их обслуживание, но и контроль режимов работы электродвигателей погружных насосов в режиме реального времени. Удаленное диагностирование состояния электрифицированных объектов, например, электродвигателей погружных насосов, позволит своевременно восстановить их работу и обеспечить непрерывность технологического процесса, если причины, повлекшие отключение электрооборудования не нарушили его работоспособность.

С этой целью наряду с аппаратами защиты и диагностирования эксплуатационных режимов работы погружных электродвигателей предполагается дистанционный контроль работы артезианских скважин – мониторинг параметров диагностирования силового электрооборудования, его дистанционное управление с помощью операторов мобильной GSM связи, которой охвачено большинство территории юга Украины.

*Анализ последних достижений.* В сельскохозяйственном производстве дистанционное диагностирование режимов работы и управления применяется достаточно нечасто в отличие от промышленного производства. На примере артезианских скважин это связано, прежде всего, с разбросанностью маломощных электрифицированных объектов на широкой площади. Таким образом, применение сложных и до-

рогих систем дистанционного диагностирования представляется экономически нецелесообразным. Также следует учитывать отсутствие централизованной диспетчерской службы, позволяющей обслуживать электронасосные агрегаты, находящиеся на балансе разных собственников.

Для повышения эксплуатационной надежности погружных электродвигателей в настоящее время применяются станции управления ШЭП, ШЭТ, «Каскад», «Родник», «Роса» и прочие [1]. Отключение электродвигателей от сети питания может происходить по любой причине – исчезновение напряжения питания с высокой стороны, перегрузки электродвигателя из-за отклонения напряжения питания или несимметричного режима работы – что наблюдается достаточно часто в сельских электросетях, неполадки механической системы электронасосного агрегата и др.

*Формулировка цели статьи.* Во многих случаях срабатывания аппаратов защиты спустя некоторое время пуск электродвигателя насосного агрегата целиком возможен после исчезновения причины, которая привела к его отключению.

Таким образом, целью статьи является разработка устройства, способного дистанционно диагностировать причину отключения электродвигателя и обеспечить оперативное включение электродвигателя, если это возможно без физического присутствия человека на удаленном объекте управления с помощью GSM связи. Предполагаемое устройство может, как дополнять существующие станции управления электронасосными агрегатами, образуя общую систему дистанционного диагностирования и управления режимов работы электродвигателей погружных насосов, так и являться обособленным.

*Основная часть.* Структурная схема устройства (рис. 1) обусловлена требованиями, предъявляемыми к нему для обеспечения поставленной задачи – диагностирование силы электрического тока электродвигателя каждой фазы, что позволяет контролировать симметричную перегрузку по среднеквадратичному значению тока, неполнофазный режим работы в случае отсутствия тока одной из фаз, а также наличие напряжения питания.

Преобразователь фазных токов U1 выполнен на датчиках тока, действие которых основано на эффекте Холла (ACS754 от Allegro Microsystems), которые в данном случае имеют ряд преимуществ по сравнению с трансформаторными датчиками [2]:

- возможность измерения переменного тока;
- малые потери энергии и, как следствие, малое выделение тепла, уменьшенные габариты и возможность контролировать большие токи;
- работа в расширенном температурном диапазоне  $-40...+150$  °С;
- высокая линейность выходного напряжения (98%);

– встроєнна гальванічна розв'язка.

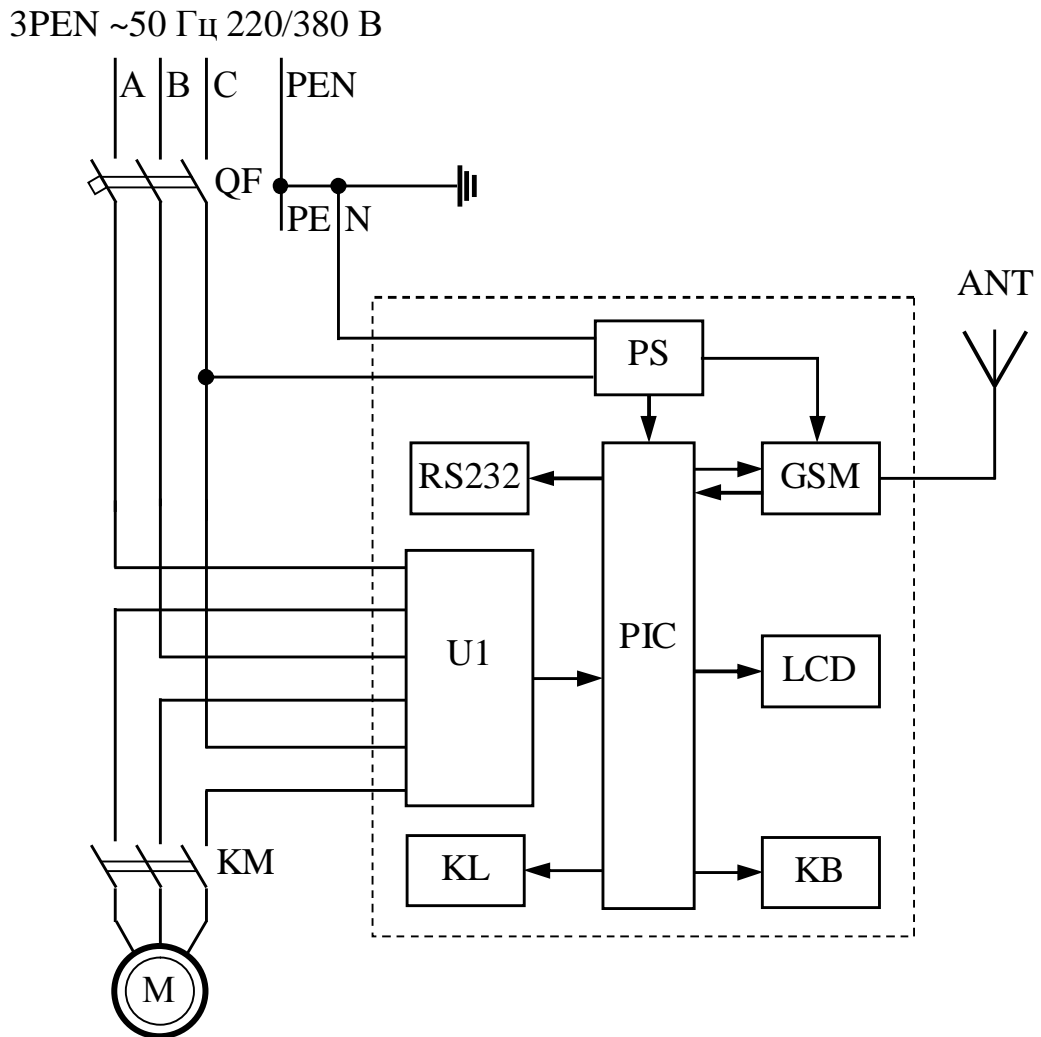


Рис. 1. Структурная схема устройства дистанционного диагностирования и управления:

QF – автоматический выключатель; KM – магнитный пускатель; М – электродвигатель; U1 – преобразователь фазных токов; RS232 – модуль сопряжения; KL – исполнительное реле; PS – модуль питания; PIC – микроконтроллер; GSM – модуль связи; LCD – монитор; KB – клавиатура; ANT – антенна.

Питание устройства дистанционного диагностирования осуществляется как от сети, так и от встроеного элемента питания (аккумулятора). Эта задача возложена на комбинированный модуль питания PS.

Управление работой электродвигателя осуществляется посредством GSM-модуля, в качестве которого могут служить модули для

передачи данных в системе GSM 900/1800/1900: SIM300DZ-B14 (снимаются с производства), SIM900(B, D). Модули управляются АТ-командами [3] через мобильный телефон, имеют компактное исполнение, высокую надежность и небольшую стоимость (около 25\$). В некоторых случаях в качестве GSM-модуля возможно применение недорогих мобильных телефонов вторичного рынка.

Для обеспечения уверенной связи с диспетчерской службой используется выносная антенна ANT диапазона 900/1800/1900 МГц, подключаемая к GSM-модулю с помощью коаксиального кабеля, имеющего волновое сопротивление 50 Ом (LMR-400, RG58A/U).

При отключении электродвигателя вследствие причин, рассмотренных выше, микроконтроллер PIC подаст команду и код неисправности на GSM-модуль, инициируя передачу информации оператору. На основании полученной информации оператор принимает решение о дальнейших действиях.

На микроконтроллер возложена функция диагностирования режима работы электродвигателя, сравнения параметра диагностирования с расчетной уставкой [4], управление работой GSM-модуля, управление работой электродвигателя в соответствии с программой.

В любой момент времени оператор с мобильного телефона может послать соответствующую АТ-команду на GSM-модуль, по которой будет передана информация о текущих значениях фазных токов (режиме работы) удаленного электродвигателя или дистанционно включить/отключить электродвигатель с помощью исполнительного реле KL.

Мониторинг работы удаленных объектов возможно осуществлять с помощью WEB-интерфейса, поскольку поступающая информация через оператора мобильной связи может передаваться непосредственно в базу данных, находящуюся на внешнем сервере сети internet.

GSM-модуль можно использовать для подключения к COM порту компьютера для его работы через терминальные программы и непосредственно к микроконтроллеру через интерфейс RS232. Для работы с более совершенным USB интерфейсом достаточно применить переходник RS232-USB.

Периферийные модули – монитор LCD и клавиатура KB используются в режиме наладки устройства.

*Выводы.* Разработанное устройство дистанционного диагностирования удаленных электрифицированных объектов позволяет диагностировать изменение входного параметра с помощью измерительного преобразователя, на выходе которого присутствует пропорциональное изменение напряжения. Устройство универсальное – в зави-

симости от программы, по которой рассчитывается уставка срабатывания, может найти широкое применение.

Дистанционное диагностирование и управление работой электрооборудования позволит значительно сократить ресурсы на обслуживание удаленных электрифицированных объектов сельскохозяйственного назначения.

#### Литература

1. Станции управления насосными агрегатами: [каталог]. – [Николаев: ДК-Электро, 2005]. – 28 с.
2. Козенков Д. Интегральные датчики тока / Д. Козенков // Электронные компоненты. – 2005. – № 9. – С. 59-63.
3. SIM300 AT Commands Set. – Shanghai: SIMCOM Limited, 2007. – 212 p.
4. 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.

## СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗАГЛИБНИХ НАСОСІВ

Курашкін С.Ф.

#### *Анотація*

Робота присвячена розробці системи дистанційного діагностування режимів роботи віддалених електрифікованих об'єктів на прикладі електродвигунів заглибних насосів.

## REMOTE REGIMES DIAGNOSIS OF ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMPS

S. Kurashkin

#### *Summary*

The work is dedicated to the development of remote diagnostics regimes of electrified remote objects by the example of electric submersible pumps.

УДК 658.011.56

## ШЛЯХИ РАЦІОНАЛЬНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА

Постнікова М.В., к.т.н.,

Назар'ян Г.Н., к.т.н.,

Никифорова Л.Є., д.т.н.,

Михайлов Є.В., к.т.н.,

Карпова О.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-23-41

**Анотація** – запропоновано науково-обґрунтовані норми витрати електроенергії поточкових ліній очищення зерна на зернопунктах.

**Ключові слова** – раціональне використання електроенергії, питомі витрати електроенергії, норми електроенергії, методика нормування електроенергії.

*Постановка проблеми.* В зв'язку з дефіцитом енергоресурсів виникає необхідність економії електроенергії. Кінцевою мірою ефективності роботи поточкових ліній зернопунктів сільськогосподарських підприємств є питома витрата електроенергії. Тому питання нормування витрати електроенергії на поточкових лініях зернопунктів є актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Вивченням питань нормування електроенергії в системі хлібоприймальних підприємств займався колектив вчених під керівництвом Ястребова П.П. [1]. В 1985 р. Українським науково-дослідним інститутом механізації і електрифікації сільського господарства (Глеваха) були розроблені норми споживання електроенергії в сільськогосподарському виробництві, що призначені для цілей планування і нормування витрати електроенергії [2]. Але норми споживання електроенергії в зв'язку з ростом технічного прогресу необхідно періодично уточнювати.

*Формулювання цілей статті.* В роботі поставлена задача розробки рекомендацій по науково-обґрунтованим нормам витрати електроенергії поточкових ліній очищення зерна.

*Основна частина.* Розробка науково-обґрунтованих норм питомої витрати електроенергії проводилася з використанням методу ма-

тематичного планування експерименту. Була отримана математична модель у вигляді системи адекватних рівнянь регресії другого порядку, у якій як функцію мети була прийнята питома витрата електроенергії і основними факторами були прийняті: продуктивність агрегатів  $Q$ , приєднана потужність  $P$  і коефіцієнт завантаження електроустаткування  $K_3$  потокових ліній агрегатів ЗАВ-20, ЗАР-5, ЗАВ-40, ЗАВ-25 з урахуванням різних технологічних схем обробки зерна. В результаті аналізу і рішення отриманих рівнянь на мінімакс із використанням спеціальних програм були отримані мінімально можливі значення питомої витрати електроенергії потокових ліній на зернопунктах з агрегатами ЗАВ-20, ЗАР-5, ЗАВ-40, ЗАВ-25 з урахуванням зміни продуктивності  $Q$ , приєднаної потужності  $P$ , коефіцієнта завантаження електроустаткування  $K_3$  [3].

З урахуванням похибки у виготовленні технологічного устаткування (ТУ), наявності різних фізико-механічних властивостей зерна, що оброблюється, різного ступеня зносу ТУ, різного рівня кваліфікації і досвіду роботи операторів і інших об'єктивних обставин, по рекомендації наукових консультантів НДР було прийнято рішення про збільшення отриманих в результаті математичної обробки мінімальних значень питомих витрат електроенергії на обробку одиниці продукції в середньому на 5% в остаточному варіанті [3]. Реально досяжні науково-обґрунтовані норми витрати електроенергії при обробці зерна пшениці вологістю 14%, що рекомендуються, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Науково-обґрунтовані норми витрати електроенергії при обробці зерна пшениці на потокових лініях зернопунктів, що рекомендуються

Тип агрегату	Технологічні схеми	Продуктивність, т/год	Норми, що рекомендуються, кВт·год/т
ЗАВ-20	1 Одна лінія з трієром	7,5	2,475
	2 Одна лінія без трієра	10	1,726
	3 Дві лінії з трієрами	15	1,562
	4 Дві лінії без трієрів	20	1,069
ЗАВ-40	1 Одна лінія з трієром	15	1,347
	2 Одна лінія без трієра	20	0,902
	3 Дві лінії з трієрами	30	1,342
	4 Дві лінії без трієрів	40	0,901



## Продовження таблиці 1

Тип агрегату	Технологічні схеми	Продуктивність, т/год	Норми, що рекомендуються, кВт·год/т
ЗАР-5	1 Первинна - вторинна - трієр	20	1,432
	2 Первинна – вторинна (без БТ)	20	1,183
	3 Первинна – вторинна (без СВУ)	20	0,913
	4 Первинна очистка	20	0,658
ЗАВ-25	1 Робота агрегату з трієрами	20	1,513
	2 Робота з трієрами з бункерів тимчасового зберігання	20	0,981
	3 Робота агрегату на продовольчому режимі	20	1,55
	4 Робота агрегату на продовольчому режимі з бункерів тимчасового зберігання	20	0,777
	5 Завантаження бункерів тимчасового зберігання	50	0,498
	6 Розвантаження бункерів тимчасового зберігання	50	0,313
	7 Налагоджувальний режим роботи	20	0,264

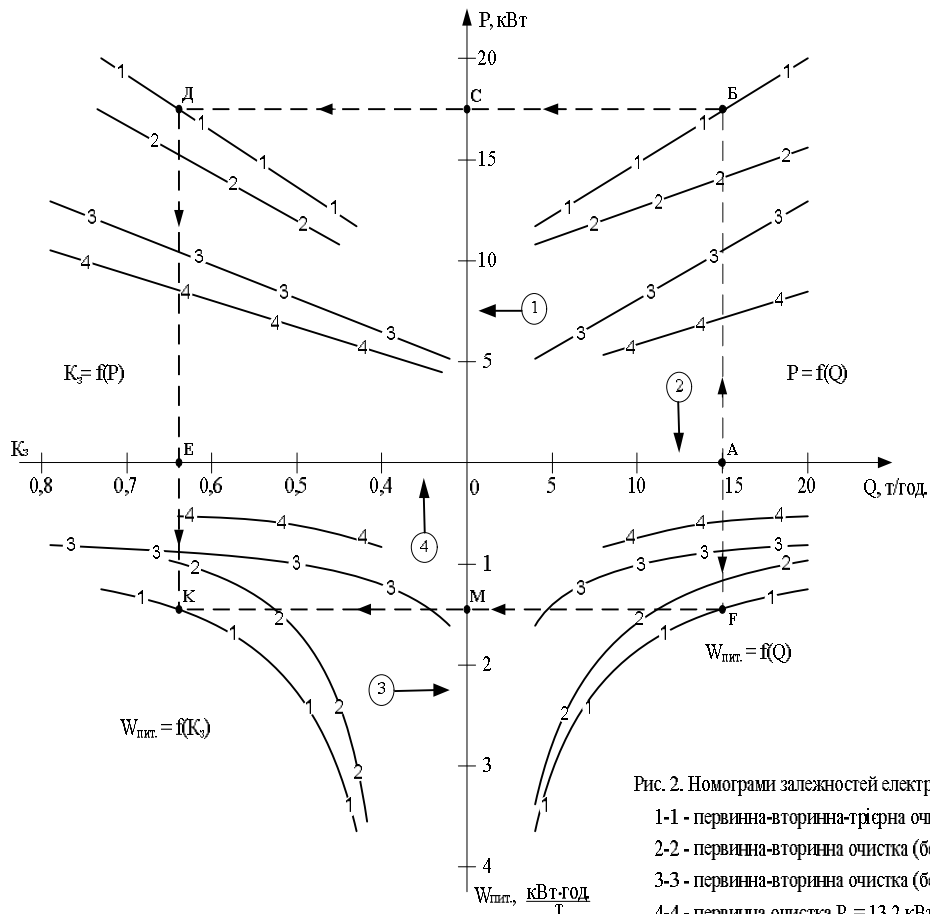
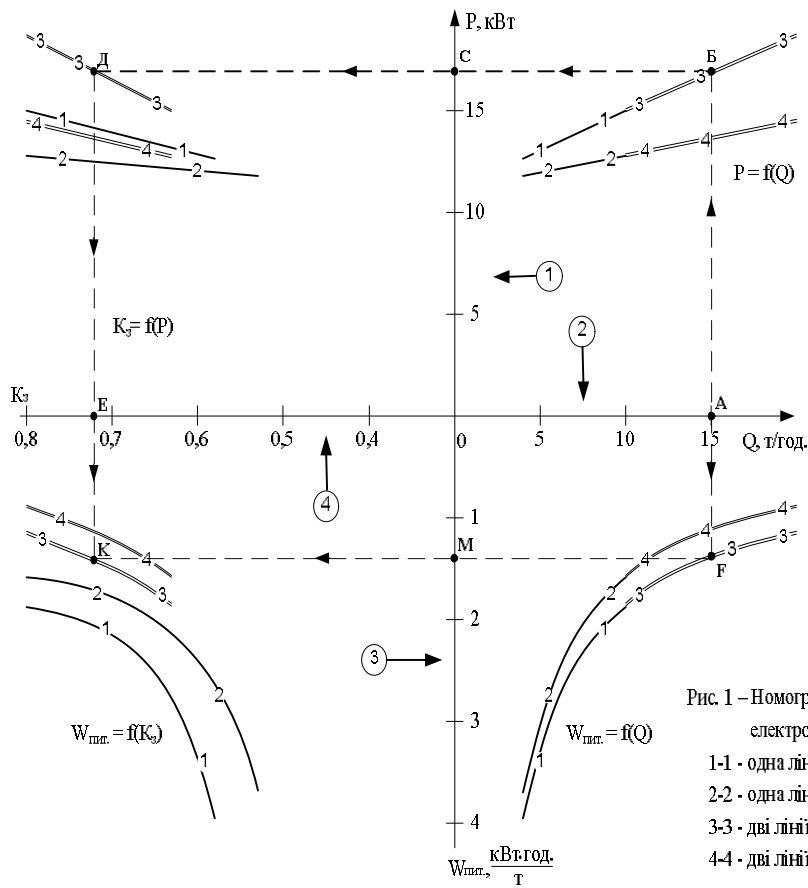
З метою практичного керівництва в умовах експлуатації при реалізації науково-обґрунтованих норм питомих витрат електроенергії пропонуються номограми, представлені на рис. 1 – рис. 4, що відрізняються наочністю й зручністю для прийняття обґрунтованих рішень при виборі технологічних схем, продуктивності  $Q$ , приєднаної потужності  $P$  і коефіцієнта завантаження електроустаткування  $K_z$ . Приклади використання номограм для зазначених цілей показані для різних агрегатів на рис. 1 – рис. 4.

*Висновки.*

1. Розроблені науково-обґрунтовані норми електроспоживання призначені для планово-економічних відділів обласних управлінь сільського господарства, а також для Міністерства аграрної політики та продовольства України для планування і контролю витрати електроенергії на технологічні процеси обробки зерна на потокових лініях зернопунктів півдня України.

2. Нормування витрати електроенергії стає ефективним фактором енергозбереження лише за умови системного підходу при впровадженні норм:

- затвердження норм на відповідному рівні як офіційного нормативного документа;
- своєчасне сезонне або річне планування норм для зернопунктів і інших структур АПК;



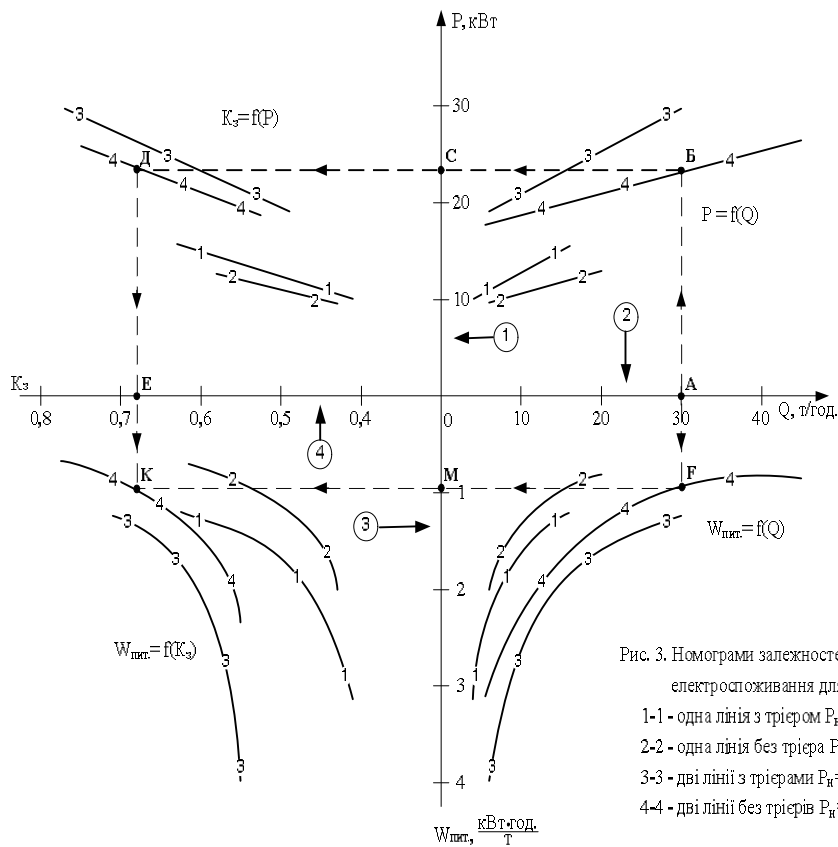


Рис. 3. Номограми залежностей електроспоживання для ЗАВ-40  
 1-1 - одна лінія з трієром  $P_n=24,5$  кВт;  
 2-2 - одна лінія без трієра  $P_n=22,3$  кВт;  
 3-3 - дві лінії з трієрами  $P_n=38,8$  кВт;  
 4-4 - дві лінії без трієрів  $P_n=34,4$  кВт.

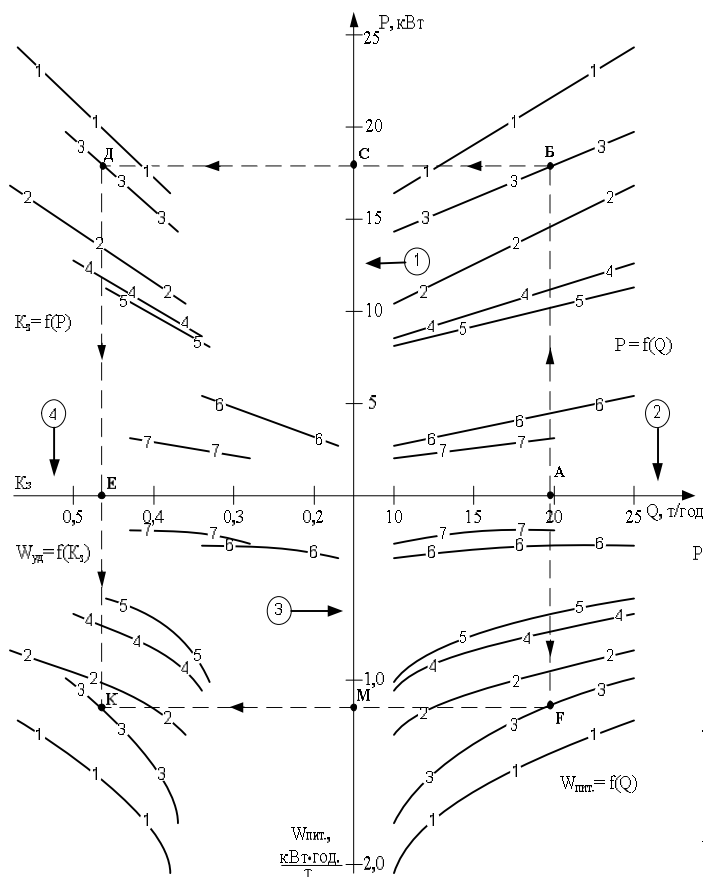


Рис. 4. Номограми залежностей електроспоживання для ЗАВ-25  
 1-1 - робота з трієрами,  $P_n=43$  кВт;  
 2-2 - робота з трієрами з бункерів,  $P_n=28,8$  кВт;  
 3-3 - робота на продовольчому режимі,  $P_n=38,6$  кВт;  
 4-4 - робота на продовольчому режимі з бункерів,  $P_n=24,4$  кВт;  
 5-5 - завантаження бункерів,  $P_n=24,7$  кВт;  
 6-6 - перелопачення зерна,  $P_n=16$  кВт;  
 7-7 - розвантаження бункерів,  $P_n=7,2$  кВт.

- впровадження сучасних приладів обліку витрати електроенергії з класом точності 1,0, наприклад, електронних тритарифних лічильників Альфа, Енергія та ін.;
- енергії з класом точності 1,0, наприклад, електронних тритарифних лічильників Альфа, Енергія та ін.;
- введення системи економічного стимулювання при виконанні встановлених норм аж до введення пільгових податків;
- введення адміністративного впливу, матеріальних санкцій за невиконання норм і перевитрати електроенергії аж до збільшення податкових ставок.

#### Література

1. *Ястребов П.П.* Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / *П.П. Ястребов.* – М.: Колос, 1973. – 331 с.
2. Нормы потребления электроэнергии в сельскохозяйственном производстве / *Н.А. Корчемный, В.П. Машевский, В.М. Головкин, В.Е. Богачёва.* – Глеваха: 1985. – 52 с.
3. *Дидур В.А.* Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента / [*В.А. Дидур, Е.П. Масюткин, М.В. Постникова, В.А. Масловский*] // Праці інституту електродинаміки НАН України. – Київ, 2008. – Вип. 19. – С. 94–98.

### ПУТИ РАЦИОНАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

Постникова М.В., Назарьян Г.Н., Никифорова Л.Е., Михайлов Е.В.,  
Карпова А.П.

#### *Аннотация*

**Предложены научно-обоснованные нормы расхода электроэнергии поточных линий очистки зерна на зернопунктах.**

### WAYS OF THE RATIONAL EXPENSES TO ELECTRIC ENERGY PRODUCTION LINE PEELINGS GRAIN

M. Postnikova, G. Nazaryan, L. Nikiforova, E. Mihajlov, A. Karpova

#### *Summary*

**There are offered scientifically-motivated rates of the consumption to electric energy of the production lines peelings grain on corn points.**

УДК 621.313.333

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА – НАГРІВАЧА РІДИНИ**

Овчаров В.В., д.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. 8 (0619) 42-32-63

**Анотація** – робота присвячена дослідженню асинхронного електродвигуна, що працює в режимі динамічного гальмування, який призначено для нагрівання рідини.

**Ключові слова** – вітротеплогенератор, асинхронний електродвигун, динамічне гальмування, втрати потужності, нагрівання рідини.

*Постановка проблеми.* Опалення та гаряче водопостачання індивідуальних будинків в Україні були та залишаються об'єктом постійного вдосконалення, головна мета якого полягає у зменшенні металоемності та габаритів систем опалення та гарячого водопостачання, а також у підвищенні їх надійності та енергоефективності [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Одним з джерел енергії для системи гарячого водопостачання індивідуального будинку є вітер. Головним елементом системи гарячого водопостачання індивідуального будинку із використанням енергії вітру є вітротеплогенератор, який на відміну від вітроелектрогенератора енергію вітру перетворює в теплоту. Вітротеплогенератори, що існують на сьогодні, дозволяють перетворювати енергію вітру в теплову енергію гідравлічним шляхом, використовуючи явище тертя. Такий вітротеплогенератор додатково обладнується мультиплікатором, акумулятором теплоти та деякими іншими приладами, що призводить до збільшення габаритів такої установки [1].

Тому в роботі запропоновано перетворювати енергію вітру в теплову енергію електромагнітним шляхом, використовуючи явище теплової дії струму, а у якості вітротеплогенератора використовувати асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи була розробка методики оцінки енергетичної ефективності

вітротеплогенератора на базі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

У відповідності до цього було поставлено наступні задачі:

- проаналізувати схеми з'єднань обмоток статора в режимі динамічного гальмування;
- розробити методику визначення потужності, яка виділяється в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування;
- проаналізувати значення потужності, яка виділяється в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування в залежності від частоти обертання валу та кількості пар полюсів при незмінному струму намагнічування.

*Основна частина.* В режимі динамічного гальмування обмотки статора приєднують до мережі постійного струму. В наслідок чого в обмотках статора асинхронного електродвигуна з'являється постійний магнітний потік збудження. Через те, що вал електродвигуна обертається, вказаний магнітний потік індукуює в обмотках ротора змінну е.р.с. Вся енергія, що виділяється в асинхронному електродвигуні перетворюється в теплоту. Подальший аналіз динамічного гальмування виконано на підставі [2 – 5].

В якості джерела постійного струму можуть використовуватись: машинні генератори, акумулятори, випрямлячі (діодні, транзисторні, тиристорні, інші). У роботі для дослідження було обрано акумулятор як джерело постійного струму.

Дві або три фази статора з'єднують за певними схемами: несиметричними та симетричними, які розглядаються в [2 – 3]. Ці схеми за принципом дії відрізняються тим, що в несиметричних схемах гальмівне поле створюється головним чином першою гармонікою сумарної намагнічуючої сили, а треті гармоніки спричиняють лише незначне гальмівне моменту (10 – 15 %). В симетричних схемах головним гальмівним полем є сумарне поле третіх гармонік, а перші гармоніки взаємно знищуються. Схема, що дозволяє отримати найбільшу кількість теплоти від дії першої гармоніки сумарної намагнічуючої сили, є симетричною і має вигляд, приведений на рисунку 1.

Для аналізу роботи асинхронного двигуна у досліджуваному режимі постійний струм, що проходить по обмоткам статора, замінюють еквівалентним змінним струмом, який створює таку ж саму магніторухливу силу. Взаємозв'язок між цими струмами наступний

$$I_E = k_E \cdot k_{OB} \cdot I, \quad (1)$$

де  $I_E$  – еквівалентний змінний струм, А;

$I$  – постійний струм, А;

$k_E$  – коефіцієнт приведення постійного струму до змінного;

$k_{OB}$  – обмотковий коефіцієнт обмоток статора.

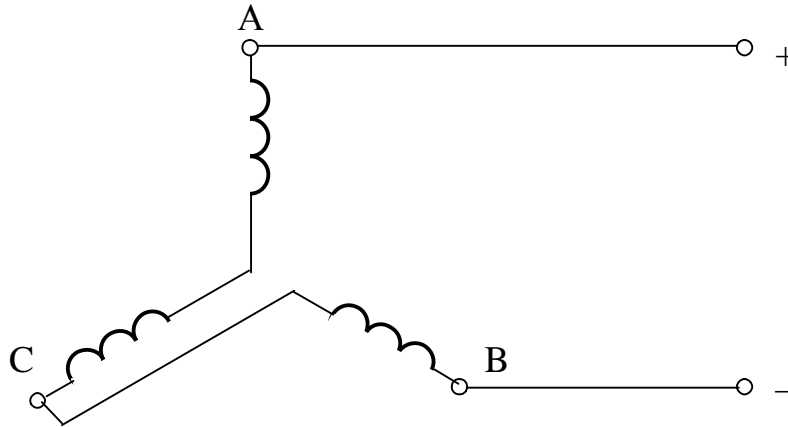


Рис.1. Схема з'єднання обмоток статора при динамічному гальмуванні.

Втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні дорівнюють

$$\Delta P = \Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MX} + \Delta P_D, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  – втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{E1}$  – втрати активної потужності в обмотках статора при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{E2}$  – втрати активної потужності в обмотках ротора при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_{MX}$  – втрати активної потужності в механічній системі при динамічному гальмуванні, *Вт*;

$\Delta P_D$  – додаткові втрати активної потужності при динамічному гальмуванні, *Вт*.

Втрати активної потужності в обмотках статора:

$$\Delta P_{E1} = 3,37 \cdot I_E^2 \cdot r_1, \quad (3)$$

де  $r_1$  – активний опір фази обмотки статора, *Ом*.

Втрати активної потужності в обмотках ротора

$$\Delta P_{E2} = M \cdot \omega, \quad (4)$$

де  $M$  – поточний гальмівний момент асинхронного двигуна, *Н·м*;

$\omega$  – поточна кутова швидкість асинхронного двигуна, *рад/с*.

Поточний гальмівний момент асинхронного двигуна визначається за формулою

$$M = \frac{2 \cdot M_{KP}}{s_{KP} / s + s / s_{KP}}, \quad (5)$$

де  $M_{KP}$  – критичний гальмівний момент асинхронного двигуна, *Н·м*;

$s_{KP}$  – критичне ковзання асинхронного електродвигуна;

$s$  – поточне ковзання асинхронного електродвигуна.

Критичний гальмівний момент асинхронного електродвигуна

$$M_{KP} = \frac{3 \cdot I_E^2 \cdot x_m^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (x_m + x'_2)}, \quad (6)$$

де  $x_m$  – індуктивний опір взаємної індукції, Ом;

$x'_2$  – індуктивний опір обмоток ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Критичне ковзання асинхронного електродвигуна дорівнює

$$s_{KP} = \frac{r'_2}{x_m + x'_2}, \quad (7)$$

де  $r'_2$  – активний опір обмоток ротора, приведений до обмотки статора, Ом.

Поточне ковзання асинхронного електродвигуна при динамічному гальмуванні дорівнює

$$s = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{n}{n_0}, \quad (8)$$

де  $n$  – поточна швидкість обертання асинхронного двигуна, об/хв;

$n_0$  – синхронна швидкість обертання асинхронного двигуна, об/хв.

Втрати активної потужності в механічній системі при динамічному гальмуванні згідно [4] дорівнюють

$$\Delta P_{MX} = (0,1 - 0,01p) \cdot \left( \frac{P_H}{\eta_H} - P_H \right) \cdot s^2, \quad (9)$$

де  $p$  – кількість пар полюсів асинхронного двигуна;

$P_H$  – номінальна потужність асинхронного двигуна, Вт;

$\eta_H$  – номінальний коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна.

Додаткові втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при динамічному гальмуванні дорівнюють:

$$\Delta P_D = 0,005 \cdot (\Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MX}). \quad (10)$$

Таким чином, математичну модель процесу виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування можна представити в наступному вигляді (рис. 2).

Використовуючи математичну модель (рис.2), дослідимо, як змінюється кількість виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування, при зміні швидкості обертання валу та при різній кількості пар полюсів за умови, що по обмоткам статора протікає номінальний струм електродвигуна. Для цього оберемо наступні електродвигуни: 4A100S4Y3, 4A112MA6Y3 та 4A112MB8Y3, які згідно [5] мають характеристики, наведені в таблиці 1.



Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А100S4У3 приведено в таблиці 2.

Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А112МА6У3 приведено в таблиці 3.

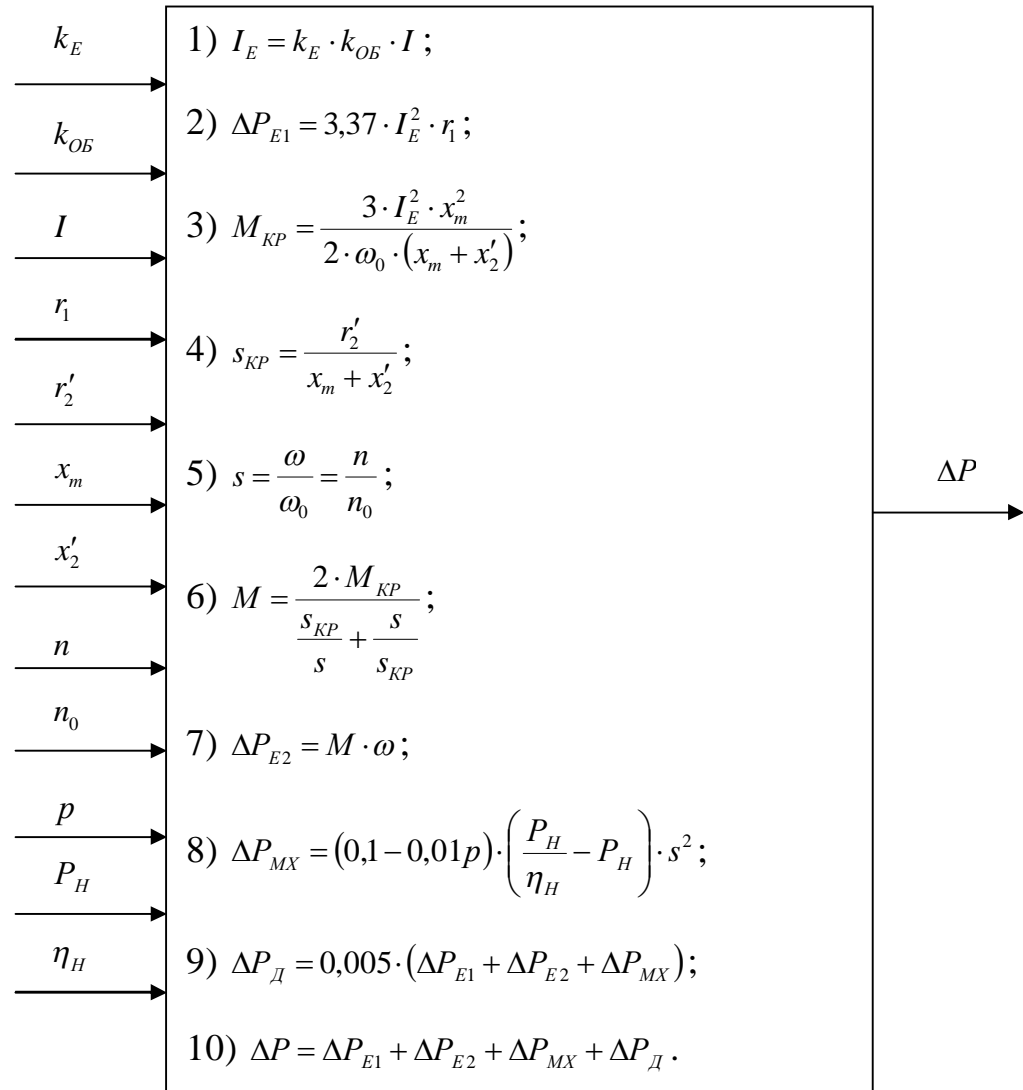


Рис.2. Математична модель процесу виділення потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування.

Таблиця 1

Типорозмір	$P_H$ , кВт	$\eta_H$	$I_H$ , А	$p$	$n_0$ , об/хв	$r_1$ , Ом	$r_2'$ , Ом	$x_2'$ , Ом	$x_m$ , Ом	$k_{OB}$	$k_E$
4А100S4У3	3,0	0,82	6,7	2	1500	1,9	1,75	4,28	42,47	0,958	0,94
4А112МА6У3	3,0	0,81	7,4	3	1000	2,07	1,88	2,98	56,61	0,958	0,94
4А112МВ8У3	3,0	0,80	7,7	4	750	1,87	2,36	4,84	45,56	0,958	0,94

Результати зазначеного дослідження для електродвигуна 4А112МВ8У3 приведено в таблиці 4.

Таблиця 2

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	231	353	380	387	391	394	398	401	405	409	414	419	424	430	436	443	451

Таблиця 3

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	308	516	532	538	542	547	553	559	567	575	585	595	607	619	633	647	662

Таблиця 4

<i>n</i> , <i>об/хв</i>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
$\Delta P$ , <i>Вт</i>	305	559	584	592	600	608	618	629	641	655	671	689	708	729	751	775	801

*Висновок.* Результати дослідження показують: 1) кількість активної потужності, яка виділяється у вигляді втрат в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором, що працює в режимі динамічного гальмування, збільшується при збільшенні кількості пар полюсів електродвигуна та збільшенні швидкості обертання валу електродвигуна; 2) номінальна потужність електродвигуна в режимі динамічного гальмування використовується приблизно на 10 – 20 %.

#### Література

1. *Корчемний М.* Енергозбереження в агропромисловому комплексі / *Корчемний М., Федорейко В., Щербань В.* – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. *Петров И.И.* Специальные режимы работы асинхронного электропривода / *Петров И.И., Мейстель А.М.* – М.: Энергия, 1968. – 264 с.

3. *Мейстель А.М.* Динамическое торможение приводов с асинхронными двигателями / Под ред. *М.Г. Чиликина.* – М.-Л.: Энергия, 1967. – 136 с.

4. *Назарьян Г.Н.* Метод расчётного определения потерь и КПД асинхронных двигателей по паспортным данным // *Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет.* – Вип. 45. – Мелітополь: ТДАТУ, 2006. – С. 76-82.

5. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / *А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е. А. Соболенская.* – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ – НАГРЕВАТЕЛЯ ЖИДКОСТИ**

Овчаров В.В., Вовк А.Ю.

### *Аннотация*

**Работа посвящена исследованию асинхронного электродвигателя, который работает в режиме динамического торможения, предназначенного для нагревания жидкости.**

## **ELECTRIC MOTOR RESEARCH – THE LIQUID HEATER**

V. Ovcharov, O. Vovk

### *Summary*

**Work is devoted research of the asynchronous electric motor which works in a mode of the dynamic braking intended for heating of a liquid.**

УДК 658.011.56

## **ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ МАШИН БОРОШНОМЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ НА ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

Саржан С.В., магістр\*,

Постнікова М.В., к.т.н.,

Карпова О.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-31-59

**Анотація** – визначений вплив конструктивних параметрів щіточної машини борошномельних агрегатів на потужність електродвигунів.

**Ключові слова** – раціональне використання електроенергії, раціональні параметри електродвигунів, багатофакторний експеримент, борошномельний агрегат.

*Постановка проблеми.* Для аналізу шляхів раціонального використання електроенергії при помелу зерна необхідно враховувати вплив конструктивних параметрів робочих машин борошномельних агрегатів на потужність електродвигунів. В зв'язку з цим виникає необхідність проведення досліджень по визначенню раціональних конструктивних параметрів робочих машин і вибору потужності привідних електродвигунів.

*Аналіз останніх досліджень.* На потужність електродвигунів робочих машин борошномельних агрегатів впливають різні фактори, більшість з яких мають тісний зв'язок між собою. Оглядом факторів, які впливають на потужність електродвигунів займалися вчені [1, 2]. Однак, це питання вимагає додаткових досліджень.

*Формулювання цілей статті.* Провести теоретичне дослідження впливу конструктивних параметрів щіточної машини борошномельних агрегатів на потужність електродвигунів.

*Основна частина.* На робочі органи та процеси машин борошномельних агрегатів мають вплив одночасно декілька факторів. Коливання одного фактору служать безпосередньою причиною зміни впливу інших факторів на досліджувані параметри. Для цього необхідно провести багатофакторний експеримент. Застосування для цих

---

\*науковий керівник Карпова О.П.

© магістр Саржан С.В., к.т.н. Постнікова М.В., к.т.н. Карпова А.П.

цілей «класичного способу» – зміна факторів по одному при стабілізації решти вимагає проведення великої кількості дослідів. Такий спосіб дослідження довготривалий та малоефективний. В деяких випадках він не лише ускладнює визначення оптимальних умов, але і не дозволяє вирішити поставлену задачу. Для зменшення кількості дослідів та їх більшій достовірності використовують метод активного планування експерименту. За допомогою цього методу можливо отримати математичну модель для вказаних факторів. В цьому випадку успішно може бути використаний математичний апарат теорії планування експерименту. При цьому математична модель об'єкту перетворюється в просту модель, яка складається з поліномів – відрізків ряду Тейлора виду

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i \cdot x_i + \sum_{i < j}^N b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i < j < k}^N b_{ijk} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_k + \dots,$$

де  $y$  – оцінка будь-якої функції цілі;

$b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти поліномів;

$x_i, x_j, \dots, x_n$  – незалежні змінні.

Однак, методи планування експерименту розроблені стосовно до складних об'єктів з невідомими функціональними зв'язками вхідних та вихідних параметрів, в яких окрім основних фізичних факторів діють ряд випадкових величин.

У випадку застосування методів теорії планування експерименту до математичної моделі об'єкту під «експериментом» розуміють сукупність розрахунків, яка дає однозначне рішення для функції цілі  $y$ . При цьому відсутні дисперсії вхідних та вихідних величин. Урахування цієї обставини складає основну особливість застосування методів планування експерименту до математичної моделі об'єкту. Відпадає необхідність дублювання розрахунків у точках факторного простору та рандомізації їх у часі. Але відсутність дисперсії функції цілі не дозволяє отримати опис функції поліномом з обмеженим числом членів.

Тому в прийнятому методі штучно введена дисперсія відтворюваності  $S_B^2\{y\}$  такої величини, яка забезпечила точність розрахунків, що вимагається. Було прийнято, що  $S_B^2\{y\} = (3\sigma)^2$ , де  $\sigma$  – середня квадратична помилка або стандарт, рівний  $\sigma = 0,02$ , тобто 2%. В цьому випадку всі передумови регресійного аналізу дотримані.

Наприклад, для щіточної машини агрегату ОПМ-0,6, потужність, яку споживає електродвигун

$$P_{ос} = \frac{k \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot q \cdot k_s \cdot n}{\eta_{пер}},$$

де  $k$  – коефіцієнт, який враховує довжину дуги деки;

$R$  – внутрішній діаметр деки, м;

$L$  – довжина деки, м;

$q$  – питома навантаження на деку, кг/(м<sup>2</sup>·год.);

$k_3$  – коефіцієнт завантаження;

$n$  – питома потужність, (кВт·год.)/т;

$\eta_{пер}$  – коефіцієнт пасової передачі.

В математичній моделі (рис. 1) прийнято:

$x_1$  – питома потужність, (кВт·год.)/т;

$x_2$  – довжина деки, м;

$x_3$  – питома навантаження на деку, кг/(м<sup>2</sup>·год.);

$x_4$  – коефіцієнт пасової передачі;

$x_5$  – коефіцієнт, який враховує довжину дуги деки;

$x_6$  – внутрішній діаметр деки, м;

$x_7$  – коефіцієнт завантаження;

$y$  – потужність, яку споживає електродвигун, кВт.



Рис. 1. Структурна схема математичного моделювання.

Математичний опис потужності електродвигуна визначається шляхом варіювання кожного з факторів на двох рівнях, які відрізняються від основного на величину ступеня  $\pm\Delta x_i$ . Вибір факторів, інтервалів варіювання (таблиця 1) визначався на основі аналізу апріорної інформації. Матриця плану приведена в таблиці 2.

Таблиця 1 – Рівні факторів і інтервалів варіювання

Рівні факторів	Нормовані величини	$x_1$ , (кВт·год.)/т	$x_2$ , мм	$x_3$ , кг/(м <sup>2</sup> ·год.)	$x_4$
Верхній рівень	+1	0,9	1575	10000	0,98
Основний рівень	0	0,8	1325	8200	0,97
Нижній рівень	-1	0,7	1075	6400	0,96
Ступінь варіювання		$\pm 0,1$	$\pm 250$	$\pm 1800$	$\pm 0,01$

Таблиця 2 – Матриця плану ДФЕ типу  $2^{4-1}$ 

№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4=x_1x_2x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$y$	$\hat{y}$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	3,564	3,548
2	+	+	-	-	+	-	-	+	4,489	4,522
3	+	-	+	-	+	-	+	-	5,115	5,158
4	+	+	+	-	-	+	-	-	6,714	6,692
5	+	-	-	+	+	+	-	-	5,455	5,492
6	+	+	-	+	-	-	+	-	7,160	7,118
7	+	-	+	+	-	-	-	+	8,159	8,122
8	+	+	+	+	+	+	+	+	10,276	10,308
$b_i$	6,37	0,79	1,2	1,39	-0,03	0,14	0,163	0,255		

$$S_B^2\{y\} = 0,0036, S^2\{b_i\} = 0,00045, S_{ao}^2\{\hat{y}\} = 0,009204.$$

План (таблиця 2) дозволяє оцінити лінійні ефекти та парні взаємодії. Потрійними та більшими взаємодіями нехтуємо.

Коефіцієнти регресії, які характеризують лінійні ефекти, визначаються за формулою [3]

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{i,g} \cdot y_g,$$

де  $i = 1, 2, \dots, N-1$ ;

$g = 1, 2, \dots, N$ ;

$N$  – кількість дослідів.

Коефіцієнти регресії, які характеризують ефекти взаємодій факторів, визначають за формулами:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_i \cdot x_j \cdot y_g;$$

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{0,g} \cdot y_g.$$

Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії розраховується оцінка дисперсії коефіцієнтів регресії за рівнянням

$$S^2\{b_i\} = \frac{S_B^2\{y\}}{N \cdot m},$$

де  $m$  – число експериментів в кожному рядку плану.

Середньоквадратичне відхилення дисперсії або помилки коефіцієнта регресії  $b_i$  визначаємо за формулою

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}}.$$

Для кожного коефіцієнта розраховується розрахункові значення [3]

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}},$$

де  $t_{ip}$  – розрахункова величина  $t$ -критерію для  $i$ -го коефіцієнта;  
 $|b_i|$  – абсолютна величина  $i$ -го коефіцієнта;  
 $S\{b_i\}$  – середньоквадратичне відхилення дисперсії коефіцієнта регресії.

Порівнюються теоретичні та табличні значення за критерієм Стьюдента.

В результаті розрахунків отримано рівняння регресії для розрахунку потужності щіточної машини в залежності від конструктивних факторів

$$\hat{y} = 6,37 + 0,79x_1 + 1,2x_2 + 1,39x_3 + 0,14x_{12} + 0,163x_{13} + 0,255x_{23}.$$

Виконується перевірка моделі на адекватність (критерій Фішера). Порівнюємо розрахункові значення рівняння регресії

$$F_p = \frac{S_{ad}^2\{y\}}{S_B^2\{y\}},$$

де  $S_B^2\{y\}$  – дисперсія відтворюваності;

$S_{ad}^2\{y\}$  – дисперсія адекватності моделі визначається за формулою

$$S_{ad}^2\{y\} = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (y_g - \tilde{y}_g)^2,$$

де  $y_g$  – значення функції відгуку в  $g$ -ому ряді матриці плану;

$\tilde{y}_g$  – розрахункові значення функції відгуку, визначені за розрахунковим рівнянням для умов  $g$ -того дослідження плану експерименту;

$d$  – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

У випадку адекватності моделі

$$F_p < F_k = F_T$$

Перевірка показала адекватність рівняння регресії. Переходимо до натуральних значень факторів

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{n - n_{cp}}{\Delta n}, & x_2 &= \frac{L - L_{cp}}{\Delta L}, & x_3 &= \frac{q - q_{cp}}{\Delta q}, \\ x_{12} &= \frac{nL - n_{cp} L_{cp}}{\Delta n \Delta L}, & x_{13} &= \frac{nq - n_{cp} q_{cp}}{\Delta n \Delta q}, & x_{23} &= \frac{Lq - L_{cp} q_{cp}}{\Delta L \Delta q}. \end{aligned}$$

Тоді рівняння приймає вигляд

$$P_{\partial s} = 7,9n + 4,8L + 0,772q + 0,421nL + 0,072nq + 0,057Q - 14,236.$$



Як показує рівняння та рисунки 2, 3 на величину потужності електродвигуна щіточної машини впливає довжина деки, питоме навантаження на деку та продуктивність машини.

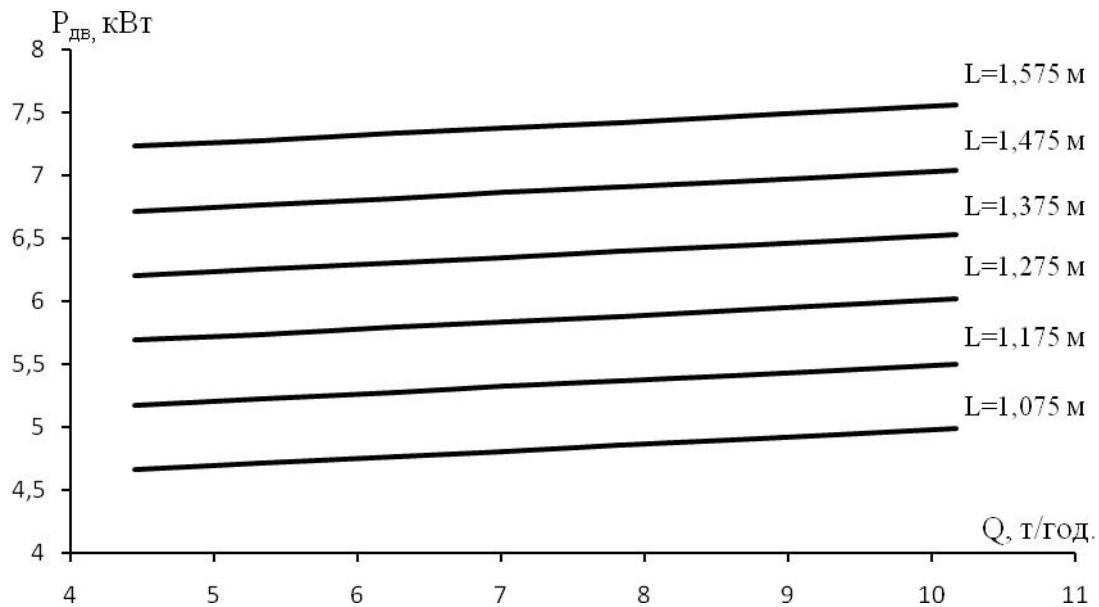


Рис. 2. Залежність  $P_{дв} = f(Q)$  при  $L = var$  для щіточної машини.

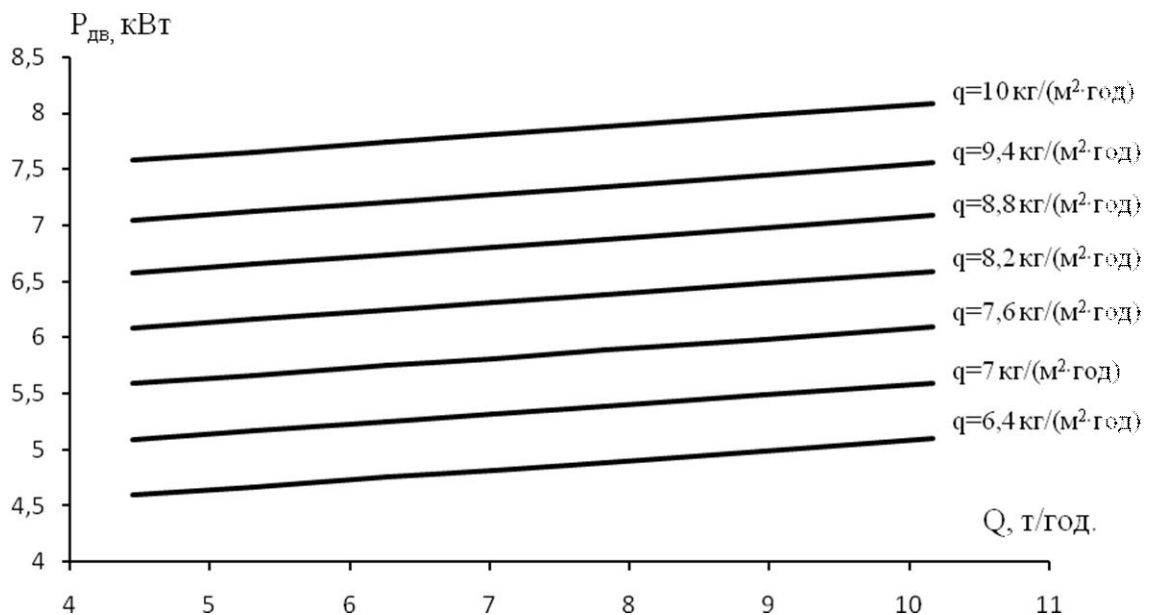


Рис. 3. Залежність  $P_{дв} = f(Q)$  при  $q = var$  для щіточної машини.

**Висновки.** На основі проведених теоретичних досліджень та згідно отриманих залежностей, можна зробити висновок, що потуж-

ність електродвигуна приводу щіточної машини при зміні продуктивності значно залежить від конструктивного параметру – довжини деки та експлуатаційного параметру – питомому навантаженні на деку. Як видно з отриманих графіків, потужність електродвигуна зі збільшенням цих параметрів при різній продуктивності зростає лінійно.

#### Література

1. *Птушкин А.Т.* Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / *А.Т. Птушкин, О.А. Новицкий.* – М.: Колос, 1979. – 335 с.
2. *Ястребов П.П.* Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / *П.П. Ястребов.* – М.: Колос, 1973. – 312 с.
3. *Адлер Ю.П.* Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий / *Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.* – М.: Наука, 1976. – 279 с.

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ МАШИН МУКОМОЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НА МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Саржан С.В., Постникова М.В., Карпова А.П.

#### *Аннотация*

**Определено влияние конструктивных параметров щеточной машины мукомольных агрегатов на мощность электродвигателей.**

### **INFLUENCE CONSTRUCTIVE PARAMETER WORKER OF THE MACHINES FLOUR-MILLING UNIT ON EARTH REMAINSNOSTI ELECTRIC MOTORS**

S. Sarzhan, M. Postnikova, F. Karpova

#### *Summary*

**The certain influence constructive parameter brush machine flour-milling unit on power of the electric motors.**

УДК 339.564:631.145(476)

## ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ В АПК БЕЛАРУСИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Петрович Э.А. к.с.х.н.,

Фрейдин М.З. к.э.н.

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия*

Тел. 0-0375 (002233) 5-87-42

**Аннотация** – в статье рассматриваются вопросы экспортно-импортных отношений в агропромышленном комплексе Беларуси: оценка состояния экономической эффективности и основные направления совершенствования и перспективы наращивания экспорта продовольствия.

**Ключевые слова** – экспорт, продукция, страна, проблема, сельское хозяйство.

*Постановка проблемы.* Наращивание экспорта сельскохозяйственной продукции является приоритетом аграрной политики Республики Беларусь на ближайшую перспективу. Программа деятельности правительства на 2011–2015 годы предусматривает рост экспорта с 3,35 млрд. долларов США в 2010 г. до 7,2 млрд. концу 2015 года при положительном сальдо 4 млрд. долларов США. Достижение поставленной цели рассматривается не только с позиций роста валютной выручки, но и укрепления международных позиций нашей страны. Важным является исследование имеющихся возможностей расширения объемов экспорта и повышение экономической эффективности экспортных операций.

*Анализ достижений и публикаций.* Проблеме формирования эффективной системы внешнеэкономической деятельности АПК в условиях глобализации экономики и расширения международной экономической интеграции посвящены исследования белорусских ученых В.Г. Гусакова, Л.В. Кукреша, Л.Н. Байгот, В.И. Бельского, А.Е. Дайнеко и др. Ими изучаются вопросы освоения зарубежных рынков на основе концепций глобального и международного маркетинга, факторы и условия эффективного функционирования сбытовых каналов продукции сельского хозяйства, продвижение отечественной продукции на внешние рынки.

*Цель статьи.* Исследовать динамику развития экспорта продовольствия и сельскохозяйственной продукции, оценить и выявить тенденции и наметить основные направления дальнейшего совершенствования экспортно-импортных отношений в АПК.

*Изложение основного материала.* Экспортом сельскохозяйственной продукции в Беларуси занимается порядка 320 организаций, из них более 40 – крупные экспортеры, объем поставок за рубеж которых превышает 20 млн. долларов США. Для реализации сельскохозяйственных и продовольственных товаров на экспорт отечественные предприятия развивают собственную товаропроводящую сеть. В настоящее время таких структур уже около 130 и через них поставляется за рубеж более 20% объема экспорта. Около 4% продовольственных товаров реализуется через биржи.

В целом Беларусь осуществляет внешнеторговые операции с продукцией сельского хозяйства и продовольствия более чем с 80 странами.

Основными торговыми партнерами Республики Беларусь среди стран СНГ являются Россия, Украина и Казахстан, среди других стран Польша, Германия, Литва, которые в последние годы несколько увеличили объемы внешней торговли с республикой. Однако увеличение товарооборота в торговле со странами ЕС, США, Канадой и др. обусловлено в большей степени ростом импорта, который в последние годы составлял около 40-45% от общего объема.

Свыше 95% экспортных поставок – это продукция животноводства. Наша страна продает за рубеж масло животное, сыры и творог, СОМ, СЦМ, свинину, говядину, колбасные изделия и мясные консервы. Из продукции растениеводства Беларусь экспортирует семена и масло рапса, льноволокно, овощи и картофель.

На протяжении последних десяти лет география экспорта продукции животноводства практически не изменилась. Основным ее потребителем является Россия, куда вывозится 90-95% товаров. На ее долю в 2010 г. приходилось 90% всех зарубежных поставок продовольствия. Оставшиеся 10% поделили между собой страны СНГ и дальнего зарубежья.

Беларусь является крупнейшим поставщиком масла животного на внешний рынок. В структуре экспорта молочных продуктов масло занимает 18%. Экспорт его увеличился с 17 тыс. т в 2000 г. до 86 тыс. т в 2009 г. или 505,9%. Среди стран экспортеров масла это самый высокий темп роста. В мире этот показатель составил 121,1%. Удельный вес Беларуси в мировых поставках масла на внешний рынок составляет 9%. В 2009 г. наша страна вошла по этому показателю в тройку лидеров.

Основным рынком для белорусского масла является Россия – 75% общего количества поставок. Отметим, что в стратегических планах развития экспорта масла, как и других молочных продуктов, следует учитывать, что в соответствии с принятой в России программой «Развития маслоделия и сыроделия России на 2011-2013 гг.» предусматривается увеличение объема собственного производства масла до 264 тыс.т к 2013 г. и снижение доли импорта на 3,1% ли до 27,5% в общем объеме потребления страны.

Основными тенденциями развития международной торговли являются постоянный рост объемов торговли, увеличение удельного веса мировой торговли в мировом внутреннем валовом продукте, опережающий рост мировых экспортных цен над объемами реализации.

Начиная с 1995 г. в Беларуси сложились устойчивые темпы роста экспорта, отчетливое наращивание экспортных поставок сельскохозяйственного сырья и продовольствия (таблица 1). Если в 1990 г. отношение объемов экспорта к размерам реализации составляло 3,9%, то в 1995 – 19,4%, в 2000 – 37,1%, в 2005–2010 гг. – 56–60%. Это говорит о том, что сельскохозяйственное производство стало приобретать ярко выраженный экспортоориентированный характер.

Таблица 1 – Баланс внешней торговли продукцией АПК, млн. долл. США

Показатель	1990	1995	2000	2005	2007	2008	2010	2010 г. в % к 1995 г.
Экспорт	683,5	317,5	551,3	1464,1	1973,2	2386,4	3379,4	106 раз
Импорт	999,8	641,6	1165,9	1853,0	2342,9	3202,1	2940,9	4,6 раз
Сальдо (+,-)	-316,3	-324,1	-614	-388,9	-369,7	-815,7	+439,3	*

Следует при этом учитывать, что в доперестроечный период реализация в рамках Союза не считалась экспортом, хотя, к примеру, в эти годы республика вывозила за пределы до 1 млн. т картофеля, более 2 млн. т молока и молочных продуктов и 300 тыс. т мясопродуктов.

Наибольший удельный вес в экспорте занимают молочные продукты, мясо и мясопродукты, сахар, хлебопродукты, картофель (таблица 2).

Особенно быстрыми темпами наращивался экспорт молочных продуктов и сахара. Так, объемы экспорта молока и молокопродуктов в 2010 г. превысили показатели 1990 г. в 4,8 раза, мяса и мясопродук-

тов в 3,2 раза, хлебопродуктов в 3,9 раза. Если в 2000 г. удельный вес экспорта к объему производства молока составлял 15%, то в настоящее время около 47%. С 2000 по 2010 год стоимость молочных продуктов, реализованных за пределами республики, увеличилось со 112 млн. до 1,5 млрд. долларов США или более чем в 10 раз.

Таблица 2 – Динамика экспорта продукции АПК по видам, млн. долл. США

Продукция АПК	1990	1995	2000	2005	2007	2008	2010
Мясопродукты	215,3	48,2	74,3	289,4	306,9	479,5	680,7
Молокопродукты	315,2	73,6	111,8	484,6	962,1	1106,0	1527,2
Хлебопродукты	22,7	20,2	43,4	27,5	31,0	44,5	89,5
Картофель	72,3	15,8	10,7	2,1	5,4	9,9	21,2
Сахар	-	3,3	79,8	216,3	127,0	163,8	373,9*

\* – сахар и кондитерские изделия из него

Особенно резко увеличился экспорт сахара. Что касается экспорта традиционного белорусского картофеля, то положительный сдвиг произошел только в последние годы. Поэтому требуется восстановление и коренное улучшение экспортных позиций этой отрасли, а также льноводства (таблица 3).

К негативным тенденциям внешней торговли продукцией сельского хозяйства относится то, что в структуре экспорта продукция растениеводства занимает незначительный удельный вес – около 20%. В структуре импорта, наоборот, продукция растениеводства составляет около 65%.

Рост объемов экспорта сопровождался почти аналогичным ростом импорта, в результате чего сохранялось устойчивое отрицательное сальдо внешнеторгового баланса. Отрицательная величина формируется в основном за счет импорта пищевых и кормовых добавок, алкоголя, а также готовой продукции и овощей и плодов. Удельный вес стран СНГ в импорте Беларуси составил в 2008 г. 48,8%, а стран вне СНГ – 51,2%. В основном это страны ЕС, США, Канада и др. С ростом импорта по ряду продовольственных товаров происходит рост доли импорта в потреблении. Так, около 90% в последние годы составил импорт рыбы и продуктов ее переработки, масла растительного. Возросла до 45% доля импорта в потреблении плодов и ягод.

В республике происходит постоянный рост импорта, значительную часть которого нельзя признать остро необходимой и экономически обоснованной. В таблице 4 представлены данные по импорту некоторых видов сельскохозяйственной продукции. По данным Белорусского института системных исследований в 2010 г. в страну ввезе-

но примерно 43,6% от всей продукции на сумму 1264,8 млн. долл. США, которая не производится или является труднопроизводимой в республике по разным причинам. Среди этих объемов импортируется достаточно широкий ассортимент сельскохозяйственной продукции на сумму более 1 млрд. долл. острой необходимости в закупке которых не существует. Эта продукция составляет 38% в структуре всей сельскохозяйственной продукции, ввозимой по импорту. Многие из этих продуктов реально производить в республике. Например, в республику завозится соевого и подсолнечного жмыха, шротов и других белковых добавок на корм скоту на сумму свыше 390 млн. долл. Преобладающая часть этого сырья должна быть замещена отечественным белковым сырьем – зернобобовыми культурами, рапсовой продукцией, подсолнечником.

Таблица 3 – Объемы экспорта основных видов сельскохозяйственного сырья и продовольствия, тыс. т.

Продукция АПК	1995	2000	2005	2007	2008	2009	2010
Мясо и мясо-продукты	35,6	37,6	157,3	133,5	154,9	184,4	211,0
в т.ч. говядина		6,8	51,7	57,0	60,9	106,5	121,9
свинина		14,3	23,4	14,9	31,3	17,1	38,8
птица		6,8	10,5	8,0	6,2	20,9	33,3
Молоко и молочные продукты	438,2	785,7	2366,1	2724,9	2984,9	3757,5	
в пересчете на молоко		719,7	2048,7	2487,6	2614,4	3017	3444,2
Масло животное		22,6	51,3	55,5	61,5	85,5	62,7
Сыр сычужный		16,9	65,1	99	102	121,4	128,7
Яйца, млн. шт.	270,6	1280,1	444,6	440,1	454,0	5228	551,1
Казеин		4,83	9,5	9,0	11,4	15,3	7,4
Картофель	121,8	174,7	96,2	97,5	144,4	121,9	51,1
Овощи	11,3	50,4	24,0	35,1	55,6	73,7	59,1
Мука, крупа	12,7	38,5	14,7	48,3	64,4		182,5
Масло растительное	0,5	2,1	21,4	27,9	21,7	81,4	74,6*
Сахар	6,5	256,7	481,6	272,1	323,5	439,9	516,2
Льноволокно	25,5	2,5	17,9	16,9	9,4	6,2	25,7

Оценка эффективности внешней торговли Беларуси позволила установить, что торговля с большинством основных стран-партнеров еще не сбалансирована (кроме России, Латвии и Литвы). Наиболее

эффективными видами экспортируемой сельскохозяйственной продукции и продовольствия в последние годы являются овощи, плоды, яйца, мясная продукция, макаронные изделия. Наиболее эффективным был экспорт в Германию, Россию, Польшу и Литву.

Таблица 4 – Динамика импорта основных сельскохозяйственных продуктов

Продукция АПК	2000	2005	2008	2009	2010
Мясо и мясопродукты	43,8	87,3	75,9	41,8	93,3
Молоко и молочные продукты	54,4	49,8	60,6	40	65,8
Яйца, млн. шт.	3,6	2,0	6,4	13,6	18,3
Рыба	86,5	138,6	155,7	144,4	128,7
Масло растительное	88,3	126,9	107,6	115,2	122,0
Картофель	79,5	135,2	67,2	65,9	21,6
Овощи	99,9	183,3	195,3	178,3	84,8
Зерно, комбикорма, премиксы, шроты	243,6	242,7	244,8	238,6	847,8

Итоговые данные за 2010 год показали, что все экспортные поставки продовольствия были рентабельны. Наиболее рентабельными оказались: СОМ – 59,4%, молочные консервы – 22,5%, СЦМ 25-21,7%, сыр твердый – 14-15%, натуральные свиные полуфабрикаты – 20%, казеин – 16,6%, говядина – 4,5%, свинина – 4,6%, колбасы копченые – 9,2%.

Следует учитывать, что эффективность внешнеэкономической деятельности в значительной степени зависит от конкурентоспособности продукции, в частности ее себестоимости. Так, в 1996-2000 гг. себестоимость сельскохозяйственной продукции в долларовом исчислении постоянно увеличивалась и в 2000 г. уже превысила экспортные цены по различным видам продукции на 15-35%. Из данных таблицы 5 видно, что цены экспорта за период с 2000 по 2010 г. значительно повысились, особенно на молочные продукты, картофель, говядину. Анализ показывает, что наиболее перспективными и экспортоспособными видам агропромышленной продукции является картофель, плоды и овощи, продукты их переработки, продукты мукомольной промышленности а также рожь, ячмень, масло животное, молочные продукты и мясопродукты, кондитерские изделия и др.

По суммарному стоимостному балансу внешней торговли Беларуси сельскохозяйственным сырьем и готовым продовольствием, страна смогла выйти на положительное сальдо только в 2009 г., а в 2010 году получить 438,5 млн. долларов.



Для увеличения объемов экспорта в течение 2011-2015 гг. в 2,0-2,5 раза и доведения сальдо внешнеторгового баланса до 3,5-4,0 млрд. долл. намеченными основными направлениями социально-экономического развития и Государственной программой устойчивого развития села, требуется оптимизация как экспорта в направлении максимально выгодной его структуры, так особенно оптимизации импорта. Оптимизация импорта является одним из существенных направлений поддержания сбалансированности внутреннего рынка по количеству, качеству и доступности сельскохозяйственной продукции и готового продовольствия с помощью которого и наряду с собственным производством можно поддерживать равновесие агропромышленного рынка по спросу и предложению.

Таблица 5 – Динамика цен экспорта основных видов сельскохозяйственного сырья и продовольствия, тыс. долл. США/т

Продукция АПК	2000	2005	2007	2008	2010	Прибыль за 1 т, долл. США
Мясо и мясопродукты	1336,8	2257,8	2703,5	3540,4	3252,4	243
в т.ч. говядина	1352,9	2377,7	2936,0	3820,5	3711,6	274
свинина	1300,7	2324,8	2459,5	3350,4	3073,6	236
мясо птицы	1426,5	1657,1	2003,5	2135,1	2015,0	141
Молокопродукты (в пересчете на молоко)	116,7	236,5	386,8	423,1	443,4	380
Масло животное	1411,5	1824,5	2834,0	3342,5	4443,8	315
Сыр сычужный	1834,3	2376,3	3411,9	4107,8	4416,2	241
Яйца, за 1 тыс. шт.	39,4	41,5	59,3	76,4	60,0	152
Картофель	109	124,3	176,7	235,3	414,5	380
Овощи	612,4	1150,1	1347,4	1139,7	1001,6	164
Масло растительное	761,9	588,8	680,8	364,5		
Сахар	310,9	449,1	466,8	506,4	725,9	233
Льноволокно	1080	514	566	616	496,1	46
Казеин	3327,6	5462,2	8081,0	7829,7	7363	221

Основной путь решения этой проблемы – обеспечение производства импортозамещаемой продукции в самой стране. Вместе с тем требуется разумная оптимизация объемов ввоза, что осуществляется в

рамках реализации программы импортозамещения (с 2001 г.). Продовольственная зависимость страны от импорта должна стать на уровне не более 10% стоимости внутреннего потребления.

Развитие рынка сельскохозяйственного сырья и продовольствия зависит не только от внутреннего состояния экономики страны и ее природного потенциала, но и в значительной степени от участия Беларуси в региональных и международных торгово-экономических процессах, обусловленных нарастающей глобализацией мировой экономики, которая по экспертным оценкам охватывает до 60% мирового валового продукта и более 70% международной торговли. Поэтому устойчивое развитие всей экономики Беларуси и сельского хозяйства необходимо рассматривать в контексте мировых интеграционных процессов.

Современные рынки предъявляют высокие требования к качеству продовольственной продукции. Это подвигает экспортеров к созданию и сертификации систем управления, обеспечивающих высокий уровень контроля качества. К настоящему времени 249 организаций системы Минсельхозпрода имеют сертификаты управления качеством, соответствующие международным стандартам ИСО 9001, 122 – сертификаты на соответствие международным принципам НАССР. Еще 46 предприятий получили сертификаты управления окружающей средой по международному стандарту ИСО 14001, 56 – охраной и безопасностью труда в соответствии с требованиями СТБ 18001. На 7 предприятиях созданы и сертифицированы системы управления безопасностью пищевых продуктов в соответствии с международными стандартами ИСО 22000 «Требования к организациям, участвующим в пищевой цепи». Доля предприятий, сертифицировавших свою продукцию должна составлять 14,5% от общего количества организаций, а доля сертифицированной продукции – 70%.

Политика таможенного регулирования внешней торговли определяется нормативными правовыми документами, принимаемыми в соответствии с Договором о создании единой таможенной территории и формировании Таможенного Союза, в соответствии с которыми внешняя торговля должна осуществляться без взимания таможенных пошлин, налогов, сборов или иных ограничений торговли товарами на территории этих стран (России, Беларуси, Казахстан) и установлении единого Таможенного тарифа при торговле с третьими странами.

В рамках таможенного союза Россия и Беларусь согласовали небольшое увеличение поставок из Беларуси в Россию молочных продуктов (в переоценке на молоко), которое составляет 3,7 млн. тонн. Беларусь обязуется снижать объем поставок молочной продукции в период сезонного роста производства молока в Россию.

*Выводы.* За последние годы произошли заметные положительные тенденции в развитии экспортного потенциала Беларуси. В то же время еще не достигнута оптимальная структура и объема экспортно-импортных отношений. Для выхода на параметры внешне-торгового баланса, намеченные программными документами на 2011-2015 годы необходимо совершенствование стратегии в следующих направлениях:

- диверсификации экспорта;
- подготовка квалифицированных специалистов в области внешнеторговой политики, укрепление внешнеэкономических и маркетинговых служб, создание инфраструктуры внешней торговли;
- перевод внешней торговли на принципы и правила ВТО, для чего унифицировать отечественные требования с международными, сертифицировать системы управления в соответствии с международными стандартами;
- оптимизация импорта сельскохозяйственной продукции и готового продовольствия с учетом соблюдения продовольственной безопасности страны и сбалансированности внутреннего рынка;
- проведение активной политики импортозамещения по группам продовольствия, успешно легкопроизводимым в республике и в закупке которых острой необходимости не существует. Развитие импортозамещающих производств;
- сочетание протекционизма и либерализации внешней торговли с учетом мировых тенденций регулирования рынков сельскохозяйственной продукции и продовольствия;
- государственный протекционизм при осуществлении внешней торговли в целях защиты отечественного производства от неблагоприятного воздействия иностранной конкуренции, поддержание равновесия внешнеторгового баланса путем гибкого регулирования экспорта и импорта, активизация экспорта и продвижение отечественной продукции на зарубежные рынки.

#### Литература

1. *Байгот, Л.* Интеграция аграрных рынков Беларуси и России // *Л. Байгот* // Аграрная экономика. – 2009. – №2. – С.46–51.
2. *Бельский, В.И.* Развитие сельского хозяйства Беларуси в условиях мирового экономического кризиса: состояние, проблемы, решения // *В.И. Бельский* // Актуальные проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса Беларуси: материалы междунар. науч.-практ. конф. г. Горки, 11-12 сентября 2008 г. – Минск: Ин-т системных исслед. в АПК НАН Беларуси, 2009.
3. *Гусаков, В.Г.* Концепция формирования эффективной системы внешнеэкономической деятельности АПК в условиях глобализации

экономики, расширения международной экономической интеграции / *В.Г. Гусаков, Л. Байгот* // *Агроэкономика*. – 2005. – №1. – С.5–9.

4. *Гусаков, В.Г.* Оценка состояния и основные направления совершенствования экспортно-импортных отношений в АПК / *В.Г. Гусаков* // *Аграрная экономика*. – 2011. – №8. – С.3–13.

5. *Дайнеко А.Е.* Экономика Беларуси в интеграционных процессах сотрудничества независимых государств: монография / *А.Е. Дайнеко*. – Горки: БГСХА, 2010. – 420 с.

## **ЕКСПОРТНИЙ ПОТЕНЦІАЛ В АПК БІЛОРУСІ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Петровиц Е.А., Фрейдін М.З.

### *Анотація*

**В статті розглядаються питання експортно-імпортних відносин в агропромисловому комплексі Білорусі: оцінка стану економічної ефективності й основні напрями удосконалення й перспективи нарощування експорту продовольства.**

## **EXPORT POTENTIAL IN AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX OF BELARUS: CONDITION AND PROSPECTS**

E. Petrovich, M. Frejdin

### *Summary*

**In article questions of export-import relations in agriculture of Belarus are considered: an estimation of a condition of economic efficiency and the basic directions of perfection and prospect of escalating of export of the foodstuffs.**

УДК 616.4

## ВЛИЯНИЕ ТИРЕОСТАТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ГИСТОСТРУКТУРУ ПЕЧЕНИ У КРЫС В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Ибрагимов В.Р., д.м.н.,

Козлов В.Н., д.б.н.,

Касьянова Ю.В., инженер,

Тимербулатова Г.Р., м.н.с.\*

*Филиал ФГБОУ ВПО Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского в г. Мелеузе (Республика Башкортостан)*

Тел./факс: (34764) 3-17-52

**Аннотация** – в статье представлены результаты микроморфологических исследований печени лабораторных крыс при экспериментальном гипотиреозе. Установлено, что в условиях снижения уровней  $oT_3$  и  $cT_4$  на фоне повышения ТТГ развивается гистологическая трансформация в тканях печени.

**Ключевые слова** – гистология, печень, экспериментальный гипотиреоз, тиреоидные гормоны ( $oT_3$  и  $cT_4$ ).

*Постановка проблемы.* Патология щитовидной железы продолжает привлекать внимание исследователей сложностью и недостаточной изученностью патогенеза, высокой частотой, многообразием и тяжестью нарушений функций многих органов и систем организма. Современные проблемы тиреологии включают в себя кроме этиологии, патогенеза, гиперплазии щитовидной железы еще и вопросы медикаментозной коррекции функциональных нарушений тех органов, где протекают так называемые тиреоидзависимые звенья метаболизма.

*Анализ исследований.* Анализ многочисленных данных, полученных в ходе изучения гипо- и гиперфункции щитовидной железы, позволяет определить ту часть функций гепатоцитов, которая направлена на регуляцию обмена тиреоидных гормонов. Процессы дейодирования тиреоидных гормонов – тироксина ( $T_4$ ) и трийодтиронина ( $T_3$ ) – с образованием их активных форм, в частности тетраiodтироуксусной и трийодтироуксусной кислот, происходят главным образом в печени, почках и мышцах. Примерно 60-90%  $T_3$  образуется путем периферического монодейодирования  $T_4$  [4]. Ежедневно с желчью выво-

---

\* Научный руководитель – д.б.н. Козлов В.Н.

© д.м.н. Ибрагимов В.Р., д.б.н. Козлов В.Н., инженер Касьянова Ю.В., м.н.с. Тимербулатова Г.Р.

дится до 15% тироксина, где  $T_4$  представлен как в свободном виде, так и в виде конъюгатов. При этом поражение печени можно наблюдать как при токсическом, так и эндемическом зобе. При токсическом зобе печень поражается сравнительно часто, что объясняется в основном интенсивной инактивацией тиреоидных гормонов, связыванием их с глюкуроновой и серной кислотами. В результате интоксикации тиреоидными гормонами нарушается проницаемость капилляров с последующим развитием гепатита. Таким образом развивается тиреотоксический гепатит с функциональной недостаточностью печени. Гипотиреоз, как правило, сопровождается также морфофункциональными изменениями в печеночной ткани – может иметь место жировая инфильтрация печени, сопровождающаяся гиперхолестеринемией, повышенным содержанием  $\alpha$ -,  $\beta$ -липопротеидов в крови. Кроме того, в печени осуществляются процессы глубокой деградации тиреоидных гормонов с разрушением тиронинового ядра и превращением промежуточных продуктов распада по пути, общему для аминокислот [1].

В экспериментальной тиреологии используется так называемая «классическая» модель гипотиреоза, предусматривающая введение мерказолила в суточной дозе 20 мг на 100 г массы тела крыс в течение 21-го дня [3]. Следует полагать, что высокие дозы анти тиреоидных препаратов искажают модели йододефицитных состояний индуцируя дистрофические процессы в органах и тканях.

*Формулирование целей.* Цель настоящего исследования – исследование гепатотоксического действия анти тиреоидного препарата мерказолила. Для реализации сформированной цели поставлены следующие задачи:

- оценить функциональное состояние гипофизарно-тиреоидной системы у крыс при введении мерказолила в суточной дозе 20 мг на 100 г массы тела.

- методами гистологического анализа изучить микроморфологический статус печени у крыс в состоянии экспериментального гипотиреоза.

*Основная часть.* Работа выполнялась в соответствии со всеми требованиями гуманного отношения к лабораторным животным. Моделирование гипотиреоза осуществляли на 24 половозрелых крысах-самцах массой 180-220 г путем внутрижелудочного введения через специальный зонд фармакопейного тиреостатика мерказолила. Животные были разделены на 2 группы по 12 в каждой: 1-я – контрольная, у крыс 2 группы вызывали мерказолиловый гипотиреоз введением 20 мг препарата на 100 г массы тела. Забой осуществляли декапитацией под эфирным наркозом. Кусочки печени размером 0,5×0,5 см фиксировали в 10% растворе формалина. Срезы толщиной 7 мкм окрашивали гематоксилином и эозином [2]. В сыворотке крови подопытных крыс определяли уровень содержания гормонов щитовидной

железы – свободного тироксина ( $cT_4$ ) общего 3,5,3-трийодтиронина ( $oT_3$ ), а также тиреотропного гормона (ТТГ) методом иммуноферментного анализа с использованием стандартных наборов тест-систем ОАО «Алкор-Био» (Санкт-Петербург). Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов по программе «Statistica-6.0». Оценку значимости различий среднеарифметических проводили с использованием t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

Введение антитиреоидного препарата было прекращено на 14-е сутки от начала эксперимента. Концентрация  $oT_3$  в сыворотке крови животных 2-й группы составляла  $1,44 \pm 0,10$  нмоль/л против  $1,88 \pm 0,13$  нмоль/л у контрольных крыс ( $p < 0,05$ ), а содержание  $cT_4$  –  $6,0 \pm 0,23$  пмоль/л и  $16,68 \pm 0,50$  пмоль/л ( $p < 0,05$ ) соответственно. При этом уровень содержания ТТГ у крыс экспериментальной группы составил  $0,196 \pm 0,02$  мкМЕ/мл, а у контрольных –  $0,124 \pm 0,01$  мкМЕ/мл ( $p < 0,05$ ).

У контрольной группы животных печень покрыта соединительнотканной капсулой (рис. 1). Дольки печени разделены слабо развитой междольковой соединительной тканью. В центре дольки находится центральная вена, от которой начинаются печеночные пластинки, образованные двумя рядами гепатоцитов, имеющих кубическую или полигональную форму. В центре гепатоцитов располагается округлой формы ядро. Хроматин ядра располагается равномерно. Как видно из рис. 1, цитоплазма создает четкую границу клеток печени и имеет базофильный оттенок. Внутريدольковые синусоидные гемокapилляры умеренного кровенаполнения. Лимфоидная ткань представлена в виде мелких очагов, диффузно расположенных по ходу синусоидных гемокapилляров.

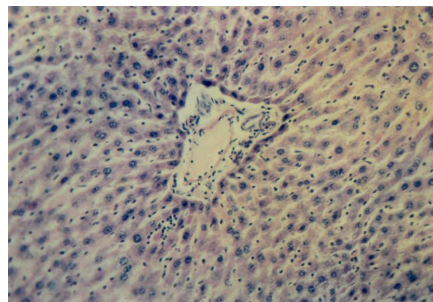


Рис. 1. Центральная вена дольки печени контрольной группы животных. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 20.

У второй группы животных, получавших тиреостатик в течение 14 дней, отмечали выраженные деструктивные процессы в печеночной ткани (рис. 2). Характерной особенностью гистоструктуры печени является наличие очагов деструкции – исчезают границы между гепатоцитами. Нарушение целостности печеночных пластин сопровождается

ется разрушением синусоидных гемокапилляров без выраженных признаков кровоизлияния.

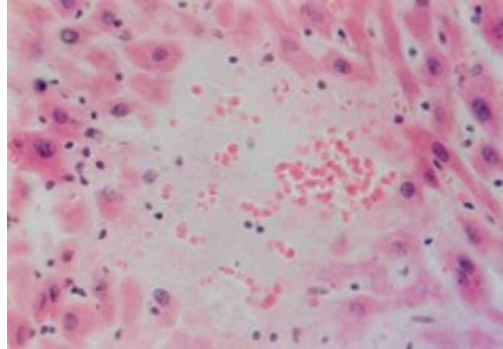


Рис. 2. Зона деструкции дольки печени при применении мерказолила в дозе 20 мг/100 г. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 40.

В кровеносных сосудах долек печени наблюдаются явления застоя, что связано, видимо, с расширением венозной системы печени (рис. 3). Введение белым крысам такого ксенобиотика, как мерказолил, вызывает реакцию со стороны иммунокомпетентных клеток. Так, гистоструктура печеночной ткани в данной группе животных характеризуется скоплением лимфоидной ткани вокруг триады печени (рис. 4, 5). Иммунокомпетентные клетки чаще всего плотно прилегают к кровеносным сосудам (рис. 6).

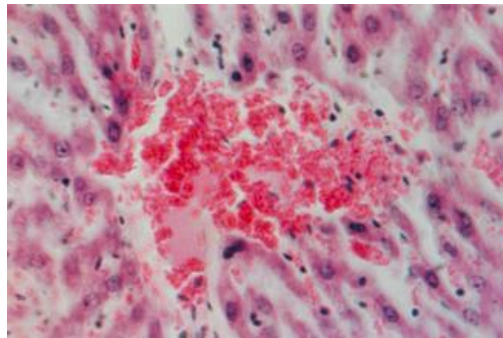


Рис. 3. Полнокровие центральной вены печени при дозе мерказолила 20 мг/100 г. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 40.

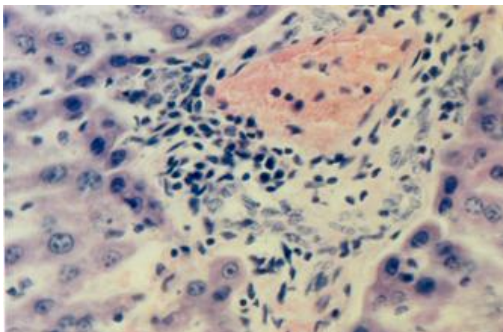


Рис. 4. Повышение базофилии в гериферических гепатоцитах печени у крыс при гипотиреозе. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 40.



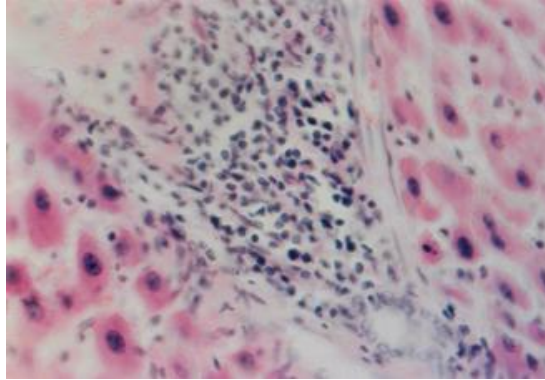


Рис. 5. Лимфоидная ткань в междольковой соединительной ткани печени животных как реакция на введение тиреостатика. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 40.

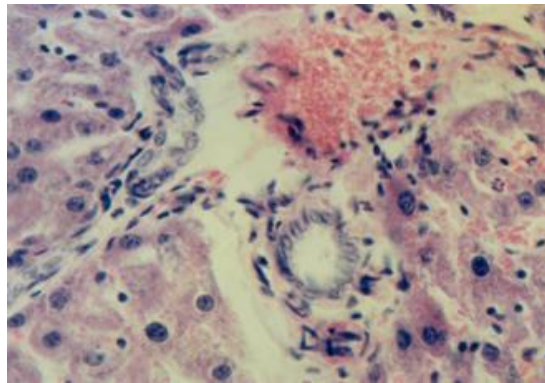


Рис. 6. Макрофаги гепатоцитов при экспериментальном гипотиреозе. Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 10, об. 40.

*Выводы.* Антитиреоидный препарат мерказолил в суточной дозе 20 мг/100 г массы тела при применении в течение 14 дней вызывает выраженные деструктивно-дегенеративные изменения в органах, где протекают тиреоидзависимые звенья метаболизма. При этом в определенной степени затрагивается как система кровоснабжения печени, так и реакция иммунной системы организма животного.

- При оценке эффективности применения йодосодержащих биологически активных добавок (БАД) на экспериментальных моделях гипотиреоза необходимо учитывать и динамику гистоструктуры печеночной ткани. О положительном влиянии исследуемых препаратов будут свидетельствовать уменьшение явлений лимфоплазмоцитарной инфильтрации, восстановление структуры долек и гемодинамики в печени экспериментальных животных.

- Необходимы исследования, направленные на определение оптимальной дозы тиреостатика, которая с одной стороны, минимизирует побочные эффекты препарата, с другой – обеспечивает воспроизведе-

дение морфофункциональных нарушений, свойственных тиреоидной дисфункции по типу эндемического эффекта.

#### Литература

1. *Капустина Ю.А.* Оценка функционального состояния щитовидной железы в эксперименте / *Ю.А. Капустина, С.Д. Жамсаранова.* – М.: Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2009. – № 2(66). – С.106-108.
2. *Козлов В.Н.* Тиреоидная трансформация при моделировании эндемического эффекта у белых крыс в эксперименте / *В.Н. Козлов.* – М.: Сибирский медицинский журнал. – 2006. – № 5. – С.27-30.
3. *Кузьмак Н.И.* Влияние тиреостатических препаратов и тиреоидэктомии на содержание сиаловых кислот в сыворотке крови и печени у крыс / *Н.И. Кузьмак.* – М.: Вопросы медицинской химии. – 1978. – Т.24., в.1. – С.52-56.
4. *Макарова Н.Г.* Структура печени при экспериментальном гипотиреозе / *Н.Г. Макарова, Л.С. Васильева, Д.В. Гармаева.* – М.: Сибирский медицинский журнал, 2010. – № 3. – С.70-73.

### **ВПЛИВ ТИРЕОСТАТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ГІСТОСТРУКТУРУ ПЕЧІНКИ У ПАЦІОКІВ У ЕКСПЕРИМЕНТІ**

Ібрагімов В.Р., Козлов В.Н., Кас'янова Ю.В., Тимербулатова Г.Р.

#### *Анотація*

В статті представлені результати мікоморфологічних досліджень печінки лабораторних пацюків при експериментальному гіпотиреозі. Встановлено, що в умовах зниження рівнів  $\text{oT}_3$  і  $\text{sT}_4$  на фоні підвищення ТТГ розвивається гістологічна трансформація в тканинах печінки.

### **THE INFLUENCE OF THE THYREOSTATIC MEDICATIONS ON THE HISTOSTRUCTURE OF LIVER**

V. Ibragimov, V. Kozlov, Y. Kasyanova, G. Timerbulatova

#### *Summary*

This article presents the results of micromorphological studies of the liver of laboratory rats with experimental hypothyroidism. It is found that in conditions of declining levels of  $\text{oT}_3$  and  $\text{sT}_4$  accompanied by increased TSH the histological transformation in the liver develops.

УДК 633.88

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ

Муллагулов Р.Т., к.б.н.,

Мамцев А.Н., д.б.н.

*Филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского» в г. Мелеуз*

Бускунова Г.Г., к.б.н.

*ФГБОУ ВПО Сибайский институт «Башкирский государственный университет»*

Тел. 8(34764) 3-17-52

**Аннотация** – в работе представлены результаты исследований по определению количественного содержания в лекарственных растениях (душица обыкновенная, пиретрум щитковидный, кипрей узколистный, котовник венгерский, тимьян Маршалла, тысячелистник благородный, клевер луговой, цикорий обыкновенный) фенолкарбонových кислот.

**Ключевые слова** – лекарственные растения, фенолкарбонové кислоты, галловая кислота.

*Постановка проблемы.* В настоящее время общество все большее значение придает растительному сырью как лекарственному средству. Это связано как с определенной токсичностью привычных для нас синтетических препаратов, так и увеличением частоты побочных явлений и медикаментозных болезней, что не наблюдается при использовании лекарственных растений. В связи с этим актуальным остается вопрос об изучении и внедрении в медицинскую практику растений, используемых в народной медицине [6].

*Анализ исследований.* В качестве антиоксидантных, противовоспалительных и антимикробных средств используются фенольные соединения [1, 3, 5], широко распространенные в растительном мире и обладающие биологической активностью. Отличительной особенностью фенольных соединений является наличие свободного или связанного фенольного гидроксила.

*Формулирование целей статьи.* Цель настоящей работы – изучение количественного содержания фенолкарбонových кислот в лекарственном растительном сырье.

*Основная часть.* Объектами исследования явились наиболее распространенные в лесостепной зоне южной части Республики Башкортостан лекарственные растения (душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.), пиретрум щитковидный (*Pyrethrum corumbosum* (L.) Scop.), кипрей узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Rafin), котовник венгерский (*Nepeta pannonica* L.), тимьян Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), тысячелистник благородный (*Achillea nobilis* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и цикорий обыкновенный (*Cichorium inthybus* L.)), собранные в июле 2011 г. Территория, где собиралось сырье, была подвержена антропогенной нагрузке (вытаптывание).

Растения сушили воздушно-теневым способом в хорошо проветриваемом помещении. Определение суммы фенолкарбоновых кислот (ФКК) в пересчете на галловую кислоту проводили прямым спектрофотометрическим методом [4]. В качестве аналитической пробы изучаемых лекарственных растений использовали смесь листьев, цветков и стеблей (душица обыкновенная и тимьян Маршалла), соцветия (пиретрум щитковидный, клевер луговой, тысячелистник благородный), листья (кипрей узколистный, котовник венгерский), корни (цикорий обыкновенный). Сырье измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 2 мм. Измельченное сырье весом 1 г помещали в колбу вместимостью 100 мл, добавляли 50 мл 50%-ного этилового спирта, присоединяли к обратному холодильнику и кипятили в водяной бане в течение 1 ч. Полученное извлечение после охлаждения фильтровали в мерную колбу вместимостью 100 мл через складчатый бумажный фильтр, объем раствора доводили 50%-ным этиловым спиртом до метки (раствор А).

5 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл и объем раствора доводили 50%-ным этиловым спиртом до метки, перемешивали (раствор Б). Оптическую плотность раствора Б измеряли на спектрофотометре 6405 UV/Vis при длине волны 276 нм в кювете с толщиной поглощающего слоя 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали 50%-ный этиловый спирт. Параллельно измеряли оптическую плотность раствора СО галловой кислоты.

Приготовление раствора СО кислоты галловой. Около 0,05 г (точная навеска) галловой кислоты помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, прибавляли 50 мл 50%-ного этилового спирта и перемешивали до растворения, затем объем доводили тем же растворителем до метки. 2 мл полученного раствора помещают в мерную колбу вместимостью 100 мл и объем доводили тем же растворителем до метки.

Содержание суммы фенолкарбоновых кислот в пересчете на галловую кислоту и абсолютно сухое сырье в процентах ( $X$ ) вычисляли по формуле

$$X = \frac{D \cdot m_0 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 100}{D_0 \cdot m \cdot 5 \cdot (100 - W)},$$

где  $D$  – оптическая плотность испытуемого раствора;

$D_0$  – оптическая плотность раствора СО галловой кислоты;

$m$  – масса навески сырья в граммах;

$m_0$  – масса навески СО галловой кислоты в граммах;

$W$  – потеря в массе при высушивании сырья в процентах.

Результаты вычислений приведены в таблице 1. Надо указать на некоторые возможные незначительные неточности и погрешности в сторону завышения в результатах, связанных с характером поглощения при данной длине волны и других групп соединений, в частности, флавоноидов [2].

Таблица 1 – Содержание фенолкарбоновых кислот в сырье лекарственных растений

Форма лекарственного сырья	Виды растений	Содержание ФКК в пересчете на галловую кислоту, %
Листья	кипрей узколистный	1,06±0,021
	котовник венгерский	0,25±0,015
Смесь листьев, цветков и стеблей	душица обыкновенная	0,49±0,058
	тимьян Маршалла	0,24±0,003
Соцветия	пиретрум щитковидный	0,40±0,009
	клевер луговой	0,38±0,010
	тысячелистник благородный	0,26±0,004
Корни	цикорий обыкновенный	0,14±0,005

Из таблицы видно, что наибольшее количество ФКК содержится в листьях кипрея узколистного (1,06±0,021 %) и в траве душицы обыкновенной (0,49±0,058%).

При рассмотрении содержания изучаемых веществ по отдельным органам, то определенной закономерности не наблюдается. Стоит лишь отметить, что в корнях цикория содержания ФКК достоверно меньше (0,14±0,005 %).

При проведении повторных исследований через 7 суток того же испытуемого раствора, данные оказались практически сходными, что показывает достоверность результатов и срока годности раствора. Хранение растворов осуществлялось при температуре +3-5С<sup>0</sup>. На 14-е сутки раствор утратил свои свойства.

*Выводы.* В результате исследований установлены наиболее пер-

спективные в качестве источников фенольных соединений виды лекарственных растений и формы лекарственного растительного сырья.

#### Литература

1. Алексеева Л.И. Фенольные соединения *Thymus talijevii* Клок. et Schost. / Л.И. Алексеева, Л.В. Тетерюк // Химия растительного сырья. – 2008. – №4. – С.65–68.

2. Гаврилин М.В.. Фенольные соединения надземной части шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.), культивируемого в Ставропольском крае / М.В. Гаврилин, О.И. Попова, Е.А. Губанова // Химия растительного сырья. – 2010. – №4. – С.99–104.

3. Антиоксидантные свойства продуктов растительного происхождения / [А.А. Лапин, М.Ф. Борисенков, А.П. Карманов и др.] // Химия растительного сырья. – 2007. – №2. – С.79–83.

4. Томашевская О.Ю. Изучение качественного состава и определение содержания фенольных соединений в корневищах иглицы шиповатой (*Ruscus aculeatus* L.) / О.Ю. Томашевская, Т.Д. Даргаева, Т.А. Сокольская // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2009. – №2. – С.42–44.

5. Хасанов В.В.. Методы исследования антиоксидантов / В.В. Хасанов, Г.Л. Рыжова, Е.В. Мальцева // Химия растительного сырья. – 2004. – №3. – С.63–75.

6. Барнаулов О.Д. Введение в фитотерапию [Серия «Мир медицины»] / О.Д. Барнаулов. – СПб.: Издательство «Лань», 1999. – 160 с.

### СКЛАД ФЕНОЛКАРБОНОВИХ КИСЛОТ В ДЕЯКИХ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИНАХ

Муллагулов Р.Т., Мамцев А.Н., Бускунова Г.Г.

#### Анотація

В роботі представлені результати досліджень з визначення кількісного складу в лікарських рослинах (душиця звичайна, піретрум щитовидний, кіпрей вузьколистий, котовник угорський, тим'ян Маршалла, деревій благородний, конюшина лугова, цикорій звичайний) фенолкарбонічних кислот.

### CONTENTS SOME PHENOL CARBONIC ACIDS MEDICINAL PLANTS

R. Mullagulov, A. Mamtsev, G. Buskunova

#### Summary

The results of studies to determine the quantitative content of some medicinal plants (*Origanum vulgare* L., *Pyrethrum corumbosum* (L.) Scop., *Chamerion angustifolium* (L.) Rafin, *Nepeta pannonica* L., *Thymus marschallianus* Willd., *Achillea nobilis* L., *Trifolium pratense* L., *Cichorium inthibus* L.) of phenol carbonic acids.

УДК 637.133.3

## ПАСТЕРИЗАЦІЯ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Єрмоєнко Д.О., к.т.н.,

Лебедєв І.М., к.т.н.,

Кіріченко В.О., к.т.н.

*Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського*

Тел. (062) 304-50-46

**Анотація** – запропоновано конструкцію пастеризатора молока з використанням повітряного теплового насосу продуктивністю 100 кг/год, яка дозволить відмовитися від дорогого обладнання для отримання водяної пари та холодної води, а також суттєво знизити витрати на енергопостачання процесу пастеризації.

**Ключові слова** – пастеризація, молоко, повітряний тепловий насос, спіральний пастеризатор, енергозбереження, фермерські господарства.

*Постановка проблеми.* В умовах планової економіки відносно низький рівень внутрішніх цін на енергетичну сировину й продукти її переробки сприяв незацікавленості населення й підприємств у забезпеченні раціонального використання й ощадливої витрати палива й енергії. У результаті підвищення цін на енергоносії змінилося відношення до енергозбереження.

На рішення таких ключових проблем енергетики, як раціональне й стабільне забезпечення країни паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) і на зменшення впливу цієї галузі на навколишнє середовище, було спрямоване розпорядження Президента України від 27.02.2001 р. «Про розробку Енергетичної стратегії України на період до 2030 року й подальшу перспективу». У числі головних пріоритетів цієї політики (підвищення ефективності використання ПЕР і створення необхідних умов для переведення економіки країни на енергозберігаючий шлях розвитку. За рахунок активного енерго- і ресурсозбереження можна вирішити економічні, екологічні, науково-технічні й соціальні проблеми нашої країни.

Використання енерго- і ресурсозберігаючих технологій теплової пастеризації найбільш значимо для фермерських господарств, коли

необхідно знизити обсемінність молока мікроорганізмами і тим самим збільшити термін збереження без втрати товарних характеристик. У цей же час сучасні пастеризаційно-охолоджувальні установки, у яких високотемпературними теплоносіями є гаряча вода і пара, характеризуються значними енерговитратами на одиницю продукції, великою металоємністю, що обумовлює непридатність таких установок для застосування в фермерських господарствах України. Тому, актуальною задачею стає створення достатньо дешевих і простих в експлуатації малогабаритних установок для пастеризації молока з малою продуктивністю.

Підвищення ефективності технології пастеризації пов'язано зі зниженням тривалості обробки продукту, зменшенням часу протікання фізико-хімічних і біохімічних процесів, що приводять до небажаних необоротних змін поживних речовин продуктів і їхніх органолептичних властивостей.

Використання повітря як теплоносія для пастеризації молока і застосування повітряного теплового насоса дає можливість знизити енерговитрати за рахунок відмовлення від таких дорогих теплоносіїв як вода і пара, і роблять цю установку природною для використання в фермерських господарствах України.

*Аналіз останніх досліджень.* Пастеризація дозволяє знищити хвороботворні мікроорганізми, у число яких входять і такі особливо небезпечні, як: туберкульоз, тиф і інші, котрі приводять до важких захворювань людей. Температура і тривалість пастеризації залежать від багатьох факторів: хімічних і фізичних властивостей продукту, роду середовища, що гріє, швидкості руху продукту і теплоносія, площі теплообміну. При цьому температура пастеризації не повинна бути нижче 50 °С (це пов'язано з загибеллю туберкульозної палички) [1].

Максимальна температура пастеризації знаходиться нижче температури зміни властивостей продукту, що дозволяє розробляти режими пастеризації, що не впливають на якість продукту. Таким чином, крива, що відображає оптимальний режим пастеризації повинна знаходитися нижче кривої руйнування продукту і вище кривої патогенного середовища, що відображає загибель особливо хвороботворних мікроорганізмів.

З цього випливає, що при збільшенні часу пастеризації можна понизити температуру, і навпаки. Це дозволяє розробити режими пастеризації в широкому діапазоні.

У залежності від ступеня і тривалості нагрівання сировини пастеризації в харчовій промисловості підрозділяється на наступні режими:

- тривала пастеризація при температурі 63...65 °С, з витримкою сировини протягом 30 секунд;



- короткочасна пастеризація сировини при температурі  $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  з витримкою 20 секунд;

- моментальна пастеризація сировини при температурі  $80\text{...}87\text{ }^{\circ}\text{C}$  або  $90\text{...}95\text{ }^{\circ}\text{C}$  без витримки.

У переважній більшості випадків пастеризацію варто проводити по короткочасному або миттєвому режимі, тому що в сировині, обробленому при високотемпературних режимах пастеризації, зменшується можливість розвитку кліток термофільних рас.

При пастеризації необхідно застосовувати регенератори, що дозволяють використовувати до  $85\text{...}90\%$  тепла, витраченого на пастеризацію, для нагрівання сировини. Після теплової обробки продукт необхідно остудити до температури не менш  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  – це необхідно для запобігання розвитку бактерій, що попадають у продукт з навколишнього середовища. Причому, потрібно прагнути до зменшення часу охолодження, тому що при тривалому охолодженні в зоні температур  $35\text{...}15\text{ }^{\circ}\text{C}$  спостерігається швидке розмноження мікроорганізмів.

Пастеризацію можна проводити також нетепловими засобами: ультрафіолетовим опроміненням, ультразвуковим, механічним засобом. У промисловості ці засоби не знайшли застосування в силу їхньої складності і малої результативності.

Найбільш широке поширення в теперішній час одержали пластинчасті пастеризатори і пастеризаційно-охолоджувальні установки, у яких поверхні, які передають тепло, виконані у виді рифлених пластин для збільшення поверхні теплообміну й інтенсифікації процесу. Кожна пластина має чотири отвори: два для входу і виходу теплоносія. Продукт рухається по одній стороні пластини, а теплоносій по іншій. Робоча частина пластини окантована гумовими прокладками, що при зборі пластин у пакети дозволяють утворити герметично ізольовані плоскі простори, по яких рухається продукт або теплоносій [2].

Недоліком даної конструкції є те, що для санітарно-гігієнічної обробки пластин їх необхідно цілком розбирати і збирати з точною установкою прокладок, а це довгий і трудомісткий процес.

Теплові насоси – це єдині установки, що роблять у 3-7 разів більше теплової енергії, чим споживають електричної енергії на привод компресора, і тому є найбільш ефективними джерелами високопотенційного тепла [3].

Перевагами використання повітряних теплових насосів є: екологічно чиста технологія; відсутність викидів в атмосферу шкідливих речовин і вуглекислоти; невикористання озонобезпечних видів фреону; надійна автоматична робота установки, не потребуючої постійної присутності людини; мінімальні експлуатаційні витрати; тривалий термін служби без капітального ремонту (10-20 років: 45 тис. годин для

теплових насосів із поршневим компресором; 60 тис. годин для теплових насосів із гвинтовим компресором); малі габарити і вага.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Цілю та завданням дослідження є спроба створення достатньо дешевої і простої в експлуатації малогабаритної установки для пастеризації молока із застосуванням повітряного теплового насосу.

*Основна частина.* Пропонована установка відповідно до рисунка 1, продуктивністю 100 кг/год. складається з повітряного насоса подачі сирого молока 1, охолоджувача 2, пастеризатора 3, рекуператора 4, теплового насоса 5, і монтується на звареній рамі 6, виготовленої зі швелерів і куточків.

На підставу рами болтовими з'єднаннями кріпиться повітряний тепловий насос. Приводом для насоса служить електродвигун 4A132S8У3 потужністю 2,8 кВт. На раму встановлюється охолоджувач, що являє собою спіральний теплообмінник.

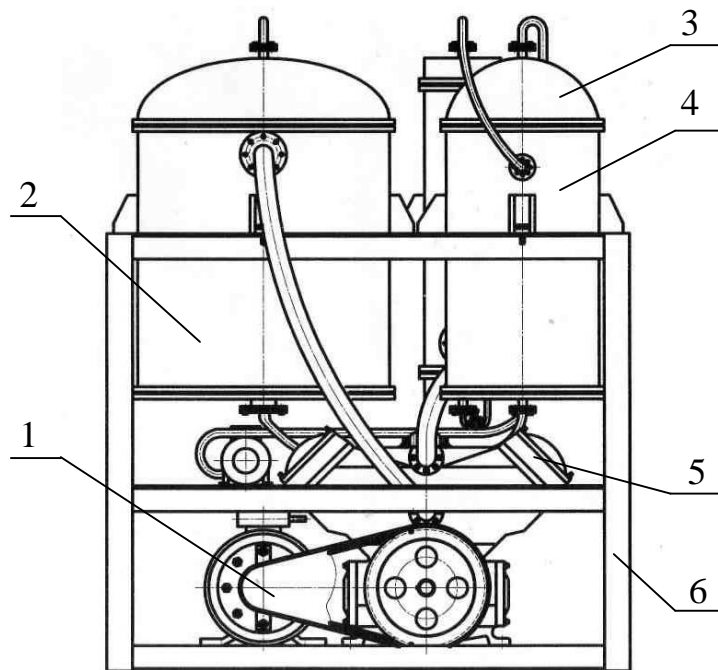


Рис. 1. Пастеризатор молока із застосуванням повітряного теплового насосу: 1 – насос подачі сирого молока; 2 – охолоджувач; 3 – пастеризатор; 4 – рекуператор; 5 – повітряний тепловий насос; 6 – рама зварена.

Пастеризація молока проводиться в кожухотрубному теплообміннику, де в якості гарячого теплоносія використовується повітря. Рекуперація проводиться в спіральному теплообміннику, що являє собою металевий тонкий лист, закручений по спіралі й поміщений у ко-

рпус. З однієї сторони листа по спіралі рухається пастеризоване молоко, а з іншої сторони назустріч рухається сире молоко за рахунок чого відбувається теплообмін. Охолодження молока відбувається також у спіральному теплообміннику, де як у охолоджувачі використовується повітря. Даний тип теплообмінників характеризується високим коефіцієнтом теплопередачі, відносно малими габаритними розмірами й малою металоемністю, що робить його придатним для роботи в малих пастеризаційних установках.

Пастеризатор молока працює таким чином. За допомогою насоса молоко надходить у секцію рекуперації, у якій обмінюється теплою з пастеризованим молоком до температури 45 °С. Після рекуперації, сире молоко надходить у секцію пастеризації, де нагрівається за допомогою гарячого повітря до температури 85 °С. Із секції пастеризації молоко надходить у секцію рекуперації, де воно обмінюється теплою із зустрічним потоком сирого молока, і температуру пастеризованого молока вдається знизити до температури 35 °С. Після рекуперації пастеризоване молоко надходить у секцію охолодження, у якій за рахунок холодного повітря проохолоджується до температури 4 °С. Охоложене пастеризоване молоко із секції охолодження розливається в герметичну тару.

Повітряний тепловий насос стискає атмосферне повітря до тиску 0,3 МПа, за рахунок стиску температура повітря підвищується до температури 128 °С. Гаряче повітря надходить у кожухотрубний пастеризатор і нагріває молоко до температури 85 °С.

При русі поршня повітряного теплового насоса у нижню мертву точку – повітря в циліндрі проохолоджується до температури –45 °С, відкриваються продувні отвори й атмосферне повітря, що нагнітається за допомогою осьового вентилятора продувається через циліндр. Холодне повітря надходить у секцію охолодження – у спіральний теплообмінник, де обмінюється теплою з молоком, тим самим проохолоджуючи його до температури 4 °С. Після чого при русі поршня верх – цикл повторюється.

*Висновки.* Таким чином, використання гарячого повітря як теплоносія для пастеризації молока, а холодного повітря – для його охолодження, дозволяє не тільки відмовитися від коштовного обладнання для одержання водяної пари і холодної води, але і значно знизити витрати на одержання енергії, якщо врахувати, що витрати на одержання одиниці теплової енергії в повітряному тепловому насосі в 4-5 разів менше традиційного. Пропонована установка може знайти широке використання в фермерських господарствах України і Європи.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямі є виготовлення експериментального зразка пастеризатора молока та дослідження його експлуатаційних характеристик.

#### Література

1. *Липатов Н.Н.* Процессы и аппараты пищевых производств. / *Н.Н. Липатов.* – М.: Экономика, 1987. – 258 с.
2. *Кук Г.А.* Процессы и аппараты молочной промышленности. / *Г.А. Кук.* – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 345 с.
3. *Єрьоменко Д.О.* Пастеризація фруктових соків із застосуванням повітряного теплового насосу. / *Д.О. Єрьоменко, С.О. Чернишов, І.М. Лебедев.* // Обладнання та технології харчових виробництв. Темат. зб. наук. пр. – Вип. 20. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – С.76–80.

## ПАСТЕРИЗАЦИЯ МОЛОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Еременко Д.О., Лебедев И.Н., Кириченко В.А.

#### *Аннотация*

**Предложено конструкцию пастеризатора молока с применением воздушного теплового насоса производительностью 100 кг/ч, которая позволит отказаться от дорогостоящего оборудования для получения водяного пара и холодной воды, а также существенно снизить расходы на энергообеспечение процесса пастеризации.**

## THE PASTEURIZATION OF MILK WITH APPLICATION OF THE AIR THERMAL PUMP

D. Eremenko, I. Lebedev, V. Kirichenko

#### *Summary*

**The design of a pasteurizer of milk with application of the air thermal pump by productivity of 100 kg per hour, which will allow to refuse expensive equipment for reception water pair and cold water is offered, and also it is essential to cut expenses on power supply of process of pasteurization.**

УДК 537.523.3:662.7

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВНИХ УСТАНОВОК ЧЕРЕЗ АКТИВАЦІЮ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ

Ковалишин Б.М., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
Тел. (066)12-66-532

**Анотація** – теоретично та експериментально обґрунтовано спосіб підвищення енергоефективності паливних установок за рахунок активації молекул-реагентів реакції горіння під дією електричного поля високої напруги, приведено варіант технічної реалізації пропонуваного способу.

**Ключові слова** – молекули-реагенти, паливо, окиснювач, відновник, висока напруга, енергоефективність.

*Постановка проблеми.* Економія паливно-енергетичних ресурсів за рахунок підвищення ефективності використання енергоносіїв є одним з основних завдань сучасної науки і виробництва. Економіка ж нашої країни вирізняється високою енергозатратністю серед інших. На початку третього тисячоліття Україною витрачалося на одиницю валового внутрішнього продукту енергоносіїв вартістю 1400 єкю (умовних грошових одиниць). Країни ж Північної Америки і Євросоюзу витрачають 500-600 єкю на одиницю валового внутрішнього продукту, а Японія – близько 400 єкю [1]. Відповідно, більша витрата енергоносіїв на одиницю продукції справляє більший негативний питомий вплив на оточуюче середовище. Тому підвищення ефективності використання енергоносіїв є актуальним як для економіки в цілому, так і необхідним для кожної галузі з точки зору економічної та екологічної ефективності їх функціонування.

Традиційні викопні енергоносії на даний час є основним джерелом енергії практично всіх економік світу. Джерелами теплової енергії є традиційні і переважна більшість нетрадиційних енергоносіїв. Теплова енергія отримується в результаті їх спалювання в окислювальному газовому середовищі, тобто при протіканні окислювально-відновних хімічних реакцій. Тому, при використанні енергоносіїв важливим завданням є оптимізація протікання хімічних реакцій.

Саме процес активації молекул-реагентів екзотермічних реакцій горіння є об'єктом наших теоретичних та експериментальних досліджень.

Предметом досліджень є технічні і технологічні режими та обладнання для оптимізації реакції горіння вуглеводневих палив в повітрі через дію на них електричним полем високої напруги.

*Метою* даної роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування підвищення ефективності протікання екзотермічних реакцій горіння на прикладі спалювання вуглеводневого газоподібного палива в повітрі в електричному полі високої напруги.

*Аналіз останніх досліджень.* Основними енергетичними характеристиками палива є його теплотворна здатність і температура полум'я. Теплотворна здатність (питома теплота згорання) палива — це кількість теплоти (МДж/кг), яка виділяється при повному згоранні 1 кг твердого чи рідкого палива, або 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива. На практиці розрізняють вищу  $Q_v^p$  і нижчу  $Q_n^p$  теплотворну здатність палива [2]. Вища теплотворна здатність є характеристикою палива при повному його згоранні і конденсації утвореної під час горіння водяної пари. Так як в реальних умовах водяна пара викидається в атмосферу, тому у теплотехнічних розрахунках і довідковій літературі під терміном теплотворна здатність палива розуміють нижчу теплотворну здатність палива, в якій не враховується теплота конденсації водяної пари. Важливими є питання, чи теплотворна здатність кожного традиційного і нетрадиційного енергоносія – величина строго визначена і незмінна, чи можна за допомогою відповідних технологій змінити її в сторону збільшення.

Процеси теплогенерування пов'язані, в основному, з окислювально-відновними екзотермічними реакціями горіння. Для оптимізації цих процесів доцільно розглянути їх з точки зору теорії хімічної кінетики.

Основним питанням сучасної теорії хімічної кінетики є залежність реакційних властивостей хімічної системи від внутрішньої енергії, будови і атомно-молекулярного складу реагентів.

Ще у 1889 році Ареніус відкрив закон хімічної кінетики [3], відомий як закон його імені. Цей закон характеризує можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Він зв'язує константу швидкості реакції з енергією активації ( $E_A$ ), яка характеризує енергетичний стан молекули і записується у вигляді

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}}, \quad (1)$$

де  $k_0$  – константа;

$R$  – газова стала, рівна 1,987 кал/град·моль;

$T$  – температура в градусах шкали Кельвіна;

$e$  – основа натуральних логарифмів.

Щоб знайти величину енергії активації  $E_A$ , вивчають швидкість реакції при різній температурі і знаходять для кожного значення  $T$  величину константи швидкості. Рівняння (1) містить дві невідомі величини –  $k_0$  і  $E_A$ . Після логарифмування обох частин рівняння (1) отримуємо формулу

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT} \quad (2)$$

Для більшої зручності розрахунків, використовуються не натуральні, а десяткові логарифми

$$\lg k = \lg k_0 - \frac{E_A}{4,575T} \quad (3)$$

де число  $1/4,575$  – модуль переводу натуральних логарифмів у десяткові, помножений на величину  $R = 1,987$ .

Енергію активації можна визначити за формулою

$$E_A = (\lg k_0 - \lg k) 4,575T \quad (4)$$

Із формули (4) видно, що енергія активації молекул прямо пропорційно залежить від температури.

Резонно виникає питання – чи можлива активація молекул іншими, крім температури, факторами?

Процес активації молекулярної системи полягає у переведенні енергетичного стану електронів на більш високий енергетичний рівень.

Перехід системи на більш високий енергетичний рівень можна пояснити наступним. Всі системи поділяються на стійкі, нестійкі і метастабільні. Метастабільні системи є найбільш поширеними. Метастабільна система стійка по відношенню до всіх систем, незначно відмінних від неї, але є принаймні одна система, по відношенню до якої вона нестійка. Наприклад, стан А, що має найменшу енергію Гіббса, є стійким, а стан Б, що має більшу енергію Гіббса – метастабільним станом відносно стану А. Однак для переходу системи із стану Б в стан А слід подолати потенційний енергетичний бар'єр. Якщо ж енергія збудження (активації) менша від потенційного бар'єру, то система залишається в стані Б.

Можливі енергетичні стани атома (молекули) можна пояснити за допомогою енергетичної діаграми на рис. 1.

Процес збудження атома (молекули) полягає в переході під дією енергетичного чинника одного або кількох валентних електронів із стаціонарної оболонки в атомі (молекулі) на нестаціонарні, що відповідають підвищеним рівням збудження.

На енергетичній діаграмі атома, приведений на рис. 1, стаціонарні енергетичні рівні зображені штрих-пунктирними лініями, а рівні збу-

дження – штриховими. Точкова пунктирна пряма відповідає мінімальному енергетичному рівню енергії електрона, при якому стає можливим вихід електрона з атома чи молекули, тобто їх іонізація. Іонізовані атоми і молекули мають дещо інші фізико-хімічні властивості, порівняно з нейтральними.

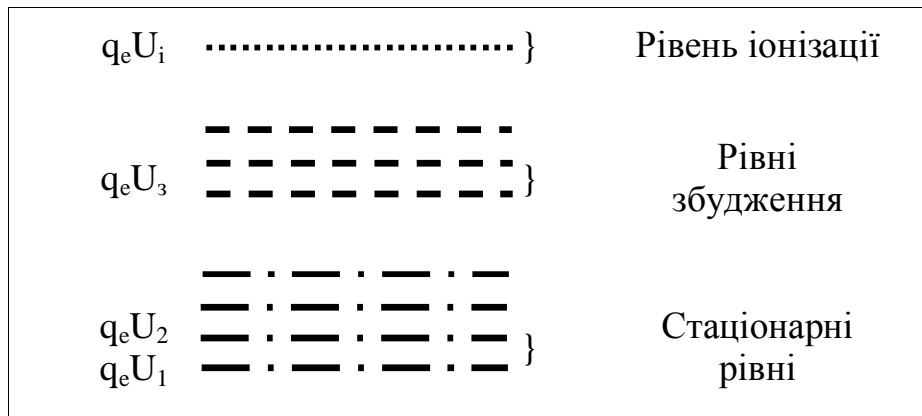


Рис. 1. Енергетична діаграма атома.

*Теоретичне обґрунтування активації молекул-реагентів реакції горіння для підвищення енергоефективності паливних установок.* Для активації молекул-реагентів за нашою робочою гіпотезою, крім теплової ( $E_{AT}$ ), можна використовувати й інші зовнішні джерела з енергією ( $E_{AZ}$ ). Доповнивши формулу (4) ефектом дії на молекули-реагенти іншими факторами отримаємо

$$E_A = E_{AT} - E_{AZ} = [(\lg k_0 - \lg k)4,575 T] - Wb, \quad (5)$$

де  $W$  – енергія від зовнішніх джерел;

$b$  – коефіцієнт використання зовнішньої енергії.

З формули (5) видно, що теплова енергія активації може бути зменшена за рахунок використання інших зовнішніх джерел активації молекул.

До джерел зовнішньої енергії для активізації молекул-реагентів можна віднести, наприклад, електромагнітний вплив, ультрафіолетове опромінення або опромінення потоком заряджених частинок. З допомогою потоку електромагнітного та інфрачервоного лазерного випромінювання досягали ініціалізації і збільшення реакційної здатності речовин [4]. Позитивний вплив неоднорідного стаціонарного електричного поля на протікання реакції горіння описаний в [5, 6].

Найбільш прийнятним, з нашої точки зору, способом активації молекул-реагентів окислювально-відновлювальної реакції горіння є їх активація в полі високої напруги.

Для створення високої напруженості електричного поля використали голчасту електродну систему. Початкові значення напруженості



електричного поля  $E_0$  (кВ/см) і напруги на електродах  $U_0$  (кВ) визначаються за формулами [9]:

$$E_0 = 31\rho_{II} \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II}r}} \right); \quad (6)$$

$$U_0 = 0,82 \cdot E_0 \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}, \quad (7)$$

де  $\rho_{II}$  – відносний питомий опір повітря;

$r$  – радіус кривизни вістря голчастого електроду, см;

$h$  – відстань між різнополюсними електродами, см.

Формули (6) і (7) застосовуються при  $h > 15r$ .

Енергію активації молекул-реагентів у полі високої напруги розряду можна знайти з виразу

$$W = I_K U_0 t, \quad (8)$$

де  $I_K$  – струм у колі розряду,

$t$  – час, за який протікає 1 моль (22,4 л) газу, який піддається активації.

Використовуючи емпіричні формули (6) і (7) та формулу (8) отримаємо математичну модель залежності енергії активації молекул-реагентів від параметрів високовольтної активаційної системи

$$E_A = [(\lg k_0 - \lg k)4,575 T] - 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot \left[ 31 \cdot \rho_{II} \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}} \right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r} \right], \quad (9)$$

Із формули (9) витікає, що витрати теплової енергії на активацію молекул-реагентів екзотермічної реакції, будуть знижені на величину ефективної енергії активації від зовнішнього джерела  $E_{A3}$ . Тому на таку ж величину  $E_{A3}$  буде збільшена корисна теплова енергія при спалюванні вуглеводневого або іншого виду палива. Дане твердження свідчить про підвищення теплотворної здатності палива і, тим самим, про підвищення енергетичної ефективності паливної установки, при застосуванні системи електроактивації молекул-реагентів у полі високої напруги.

*Експериментальна перевірка способу електроактивації молекул-реагентів реакції горіння.* Із всіх можливих способів активації молекул – компонентів окислювально-відновлювальної реакції горіння нами для дослідження вибрана електроактивація. Як компонент-відновник вибрано вуглеводневе паливо (зріджений газ пропан), як окислювач – кисень повітря.

Розроблена експериментальна установка забезпечила проведення дослідження ефективності впливу високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля (ВПНЕП) на окислювач і

паливо при спалюванні пропану. Функціональна схема експериментальної установки показана на рис. 2.

Робота експериментальної установки полягає в наступному. Окремими каналами газоподібні паливо (газ пропан) і окислювач (повітря) надходять у газовий пальник. На своєму шляху до пальника окислювач в електродній системі 1 і паливо в електродній системі 2 піддаються активаційній дії високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля, отриманого від генератора ВПНЕП. Кожна з електродних систем має в своєму складі корпус, виготовлений з діелектричного матеріалу; вхідний і вихідний отвори; загальний електрод, виконаний у вигляді металевої пластини; і голчасті електроди, розміщені перпендикулярно до загального електроду, які мають неоднакову довжину з метою якомога ефективнішого перекриття поперечного перерізу потоку палива і окислювача. Частота імпульсів електричного поля змінювалась у діапазоні 20-120 Гц. Вибір режимів роботи експериментальної установки здійснювався за допомогою перемикачів SA1 – SA4.

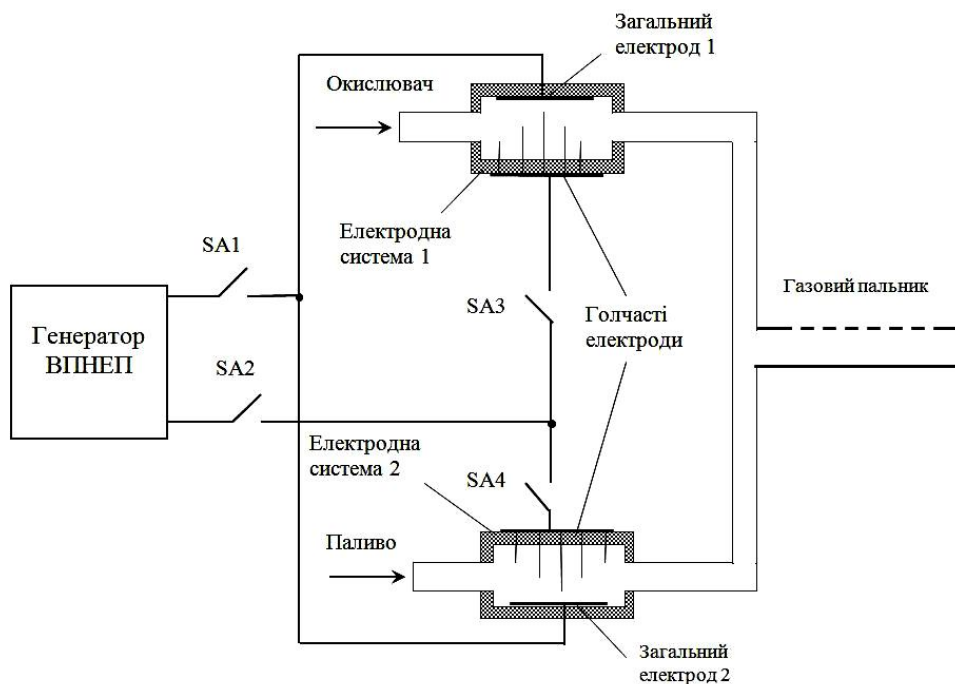


Рис. 2. Функціональна схема експериментальної установки.

Експериментальні дослідження ефективності впливу електроактивації окислювача і палива при спалюванні пропану в повітрі проводилось за такими варіантами:

- 1) – спалювання без електроактивації (контроль) ;
- 2) – спалювання з електроактивацією повітря;
- 3) – спалювання з електроактивацією пропану;
- 4) – спалювання з електроактивацією повітря і пропану.

Ефективність електроактивації застосування ВПНЕП проводилась за часом нагрівання 1,0 л води від 20 °С до 40 °С. Повторність експерименту трьохкратна. Результати експерименту приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вплив електроактивації компонентів реакції горіння на час нагрівання води

Спосіб спалювання палива	Час нагрівання води (с) при частоті електричного поля						
	0 Гц	20 Гц	40 Гц	60 Гц	80 Гц	100 Гц	120 Гц
Без електроактивації (контроль)	124	–	–	–	–	–	–
З електроактивацією повітря	–	125,0	121,7	116,7	113,3	113,3	121,7
З електроактивацією пропану	–	120,0	113,3	110,7	110,0	112,3	110,7
З електроактивацією повітря і пропану	–	110,0	113,3	106,7	105,0	98,3	96,7
						НІР	4,33

Отримані результати показують, що електроактивація компонентів екзотермічної реакції горіння пропану в повітрі скорочує час нагрівання 1 л води практично у всіх варіантах дослідження. Найбільш позитивний ефект спостерігається при дії на обидва компоненти реакції горіння високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля з частотою 100–120 Гц.

#### Висновки.

1. Активація молекул–компонентів реакції горіння високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем призводить до зменшення витрати палива.
2. Найбільша ефективність застосування електроактивації (до 22%) виявлена при частоті високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля 120 Гц та активації обох компонентів реакції горіння.
3. В перспективі використання пропонованого способу і обладнання для підвищення ефективності паливних установок різних типів.

#### Література

1. Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. / [Прахівник А.В., Розен В.П., Разумовський О.В. та ін.] – К.: Київ, Нот.ф-ка, 1999. – 184 с.

2. *Корчемний М.* Энергозбереження в агропромисловому комплексі. / *М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань.* – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 976 с.

3. *Краснова К.С.* Физическая химия / *К.С. Краснова* – М.: Высшая школа, 2001, 512 с.

4. *Багратишвили В.Н.* Многофотонные процессы в молекулах в инфракрасном лазерном поле / *В.Н. Багратишвили, В.С. Летохов, А.А. Макаров.* – М.: ВИНТИ, 1988. – 245 с.

5. Патент України №24193. Спосіб підготування окислювача до спалювання та пристрій для його здійснення / *В.С. Шкляр, О.В. Овсій* – Бюл. №5, 1998.

6. Патент України №52845. Пристрій підготовки окислювача до спалення палива / *В.О. Мальцев, В.М. Кушнір, В.А. Педос, М.М. Ніколаєв* – Бюл. №1, 2003.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ АКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ–РЕАГЕНТОВ РЕАКЦИИ ГОРЕНИЯ**

Ковалышин Б.М.

### *Аннотация*

**Теоретически и экспериментально обоснован способ повышения энергоэффективности топливных установок за счет активации молекул-реагентов реакции горения под воздействием электрического поля высокого напряжения, приведен вариант технической реализации предлагаемого способа**

## **THE FEASIBILITY STUDY TO IMPROVE OF THE ENERGY EFFICIENCY OF COMBUSTION EQUIPMENTS BY ACTIVATING OF MOLECULES-REAGENTS OF BURNING REACTION**

B. Kovalyshyn

### *Summary*

**One is considered of methods of rise of energy efficiency of fuel options, based on activating of molecules-reagents of reaction of burning under action of field of crown digit. In theory a method of rise of energy efficiency of fuel options due to activating of molecules from outsourcings is grounded. The example of technical realization of offered method is shown.**

УДК 665.33.001.73

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ  
ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРЕС-ЕКСТРУДЕРА З  
ІНДУКЦІЙНИМ ОБІГРІВОМ ЯК ОБ'ЄКТА З  
РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Лисенко В.П., к.т.н.,

Котов Б.І., д.т.н.,

Комарчук Д.С., аспірант\*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Калініченко Р.А., к.т.н.

*ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"*

Тел. (068)129-36-47

**Анотація** – створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку в прес-екструдері з індукційним обігрівом урахування розподілу температури в напрямку руху матеріалу.

**Ключові слова** – математичне моделювання, прес-екструдер, тепловий процес, ріпак, олія.

*Постановка проблеми.* У процесах видалення олії із насіння олійних культур широко використовують шнекові преси – прес-екструдери. Незважаючи на відносно незначну продуктивність екструдерів витрати енергії на нагрівання складають вагомий частку усіх затрат енергії на пресування. Продуктивність прес-екструдера, кількість і якість отриманої олії особливо залежить від температури при якій переробляється продукт [5]. Температура в свою чергу залежить від теплових процесів, що супроводжують процес пресування.

*Аналіз останніх досліджень.* Ріпакова олія відрізняється від соняшникової як за жирно-кислотним складом, так і за кількісними та якісними характеристиками супутніх тригліцеридів. До її складу входять дві поліненасичені жирні кислоти: лінолева та ліноленова - обидві наш організм синтезувати не може і так само не може без них функціонувати. Вміст сполук сірки в нерафінованій ріпаковій олії варіює від 10 до 300, а в рафінованій від 0,5 до 5 мг/г [3].

На технічні потреби ріпакову олію використовують у машинобудівній і металургійній промисловості, при виробництві нейлонів, клею, фарб, як сировину для виготовлення пральних порошоків, мила та інших миючих засобів, а також у поліграфії.

---

\* Науковий керівник – к.т.н. Лисенко В.П.

© к.т.н. Лисенко В.П., д.т.н. Котов Б.І., к.т.н. Калініченко Р.А., аспірант Комарчук Д.С.

Останнім часом намітився новий напрям використання ріпакової олії – вона виявилась цілком придатною як джерело паливної енергії для автомобільних двигунів. При цьому використовують чисту олію холодного пресування та етерифіковану [4].

Французька компанія «Рено» успішно випробувала автомобіль, що працює на ріпаковому пальному. Оснащений таким паливом «Рено-21» пройшов 19 тис. км, показавши високу швидкість і економічність (витрати пального 4 л на 100 км) [1]. За оцінкою експертів втрата потужності двигуна після переведення його на біопальне становить лише 5-10 %. Отже пальне з ріпаку виявилось не лише екологічно чистим, але й конкурентоздатним та надійним у роботі.

Акцентуючи увагу на кормовій цінності ріпаку, слід підкреслити як озимі, так і ярі форми цієї культури є багатим джерелом високоякісних кормів для різних видів сільськогосподарських тварин. Більше того, у зв'язку з високим вмістом жиру ріпакове насіння належить до групи високоенергетичних кормів – в 1 кг його міститься 1,7-2,1 кормової одиниці [2].

*Формулювання мети статті.* Метою даної роботи є розробка математичної моделі теплових процесів у прес-екструдері враховуючи розподіл температури в напрямку руху матеріалу та визначення основних закономірностей зміни температури в часі та за координатою.

*Основна частина.* Складність математичного моделювання полягає в тому, що інтенсивність теплових процесів суттєво змінюється за довжиною робочої зони преса. Тому для визначення раціональних режимів роботи пресів і реалізації системи автоматичного керування температурою необхідно мати температурну модель, що враховує зміну температури за координатою.

Фізична модель процесу: вздовж каналу утвореного внутрішньою поверхнею корпусу і валом шнека рухається зерновий матеріал з постійною швидкістю ( $v=G/S$ ). Стінка циліндричного корпусу нагрівається циліндричним індуктором і її температурне поле рівномірне за усім об'ємом корпусу. Теплота від внутрішньої стінки корпусу кондуктивною теплопередачею передається шару зерна, що рухається. Завдяки частковим перемішуванням шару зерна його температура в радіальному напрямку приймається не змінною. Теплота від зовнішньої поверхні конвективним теплообміном передається в оточуюче середовище(зовнішнє повітря).

Для математичного опису прийmemo такі припущення:

- прес розглядається як двоємнісний об'єкт: корпус – олійний матеріал;
- температура зерна і шнека однакова;
- теплофізичні властивості ємностей і коефіцієнти теплообміну від температури не залежать і в часі не змінюються;

- градієнтами температури в радіальному напрямку нехтуємо;
- корпус є інерційною ланкою з зосередженими параметрами.

Математичну модель установки визначимо у вигляді рівнянь динаміки зміни температури корпусу і зерно продукту на основі теплового балансу:

$$\begin{cases} m_1 c_1 \frac{d\Theta}{d\tau} = P - \alpha_1 f_1 (\Theta - t) - \alpha_2 f_2 (\Theta - t_v) \\ m_2 c_2 \frac{dt}{d\tau} + c_2 GL \frac{dt}{dx} = \alpha_1 f_1 (\Theta - t) \end{cases}; \quad (1)$$

де  $P$  – потужність нагрівача,  $Вт$ ;

$m_1 c_1$  – приведена теплоємність корпусу і нагрівача,  $Дж/°С$ ;

$m_2 c_2$  – приведена теплоємність шнека та зерна,  $Дж/°С$ ;

$G$  – продуктивність,  $кг/год$ ;

$\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти теплообміну кондуктивного і конвективного відповідно,  $Вт/м^2 °С$ ;

$f_1, f_2$  – внутрішня і зовнішня поверхня корпусу,  $м^2$ ;

$\Theta, t$  – температура корпусу та зерна,  $°С$ ;

Визначення залежності  $\Theta(\tau, x)$  отримаємо наближеним розв'язком, за умові встановленого(сталого) режиму при  $\frac{d\Theta}{d\tau} = 0$ ;  $\frac{dt}{d\tau} = 0$  визначимо з першого рівняння системи (1) величину  $\Theta$

$$\Theta = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} + \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}; \quad (2)$$

Та підставляємо в друге рівняння системи (1), отримуємо:

$$\frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1} \frac{dt}{dx} = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} - \left( 1 - \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} \right) \cdot t; \quad (3)$$

Розв'язок рівняння (3) при граничних умовах:  $x=0$ ;  $t(x)=t_1$

$$t(x) = \frac{a}{b} - \left( \frac{a}{b} - t_1 \right) \cdot e^{-\frac{x}{T_1} b}, \quad (4)$$

де  $T_1 = \frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1}$ ;  $a = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}$ ;  $b = 1 - \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}$ .

Продиференціюємо  $t(x)$  по  $x$ , маємо:  $\frac{dt}{dx} = \frac{b}{T_1} \left( \frac{a}{b} - t_1 \right) e^{-\frac{x}{T_1} b} = f(x)$ , підставимо отримане значення  $f(x) = \frac{dt}{dx}$  в друге рівняння системи (1).

Після перетворення систему рівнянь (1) запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} T_1 \frac{d\Theta}{d\tau} = b_1 - a_1 \Theta + t \\ \frac{d\Theta}{d\tau} = T_2 \frac{d^2 t}{d\tau^2} + \frac{d\Theta}{d\tau} \end{cases}; \quad (5)$$

$$\text{де: } T_1 = \frac{m_1 c_1}{\alpha_1 f_1}; \quad T_2 = \frac{m_2 c_2}{\alpha_1 f_1}; \quad b_1 = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1}; \quad b_2 = \frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1} f(x).$$

Підставляючи значення  $\Theta$  та її похідну в систему (5) після перетворень отримаємо зміну температури зерно-продукту в перехідному режимі

$$T_1 T_2 \frac{d^2 t}{d\tau^2} + (T_1 + a_1 T_2) \frac{dt}{d\tau} + (a_1 - 1)t = b_1 - a_1 b_2; \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) при початкових умовах:  $\tau = 0$ ;  $t = t_0$ ;  $\frac{dt}{d\tau} = 0$  буде мати вигляд

$$t(\tau, x) = \frac{C t_0 - D}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D}{C}; \quad (7)$$

$$\text{де } r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}; \quad D = (b_1 - a_1 b_2); \quad C = (a_1 - 1); \quad B = T_1 + a_1 T_2; \quad A = T_1 T_2.$$

Розподіл температури матеріалу наведено на рис. 1 для насіння ріпаку, що рухається в робочій зоні прес-екструдера при температурі навколишнього середовища та температурі зерна на рівні 20 °С.

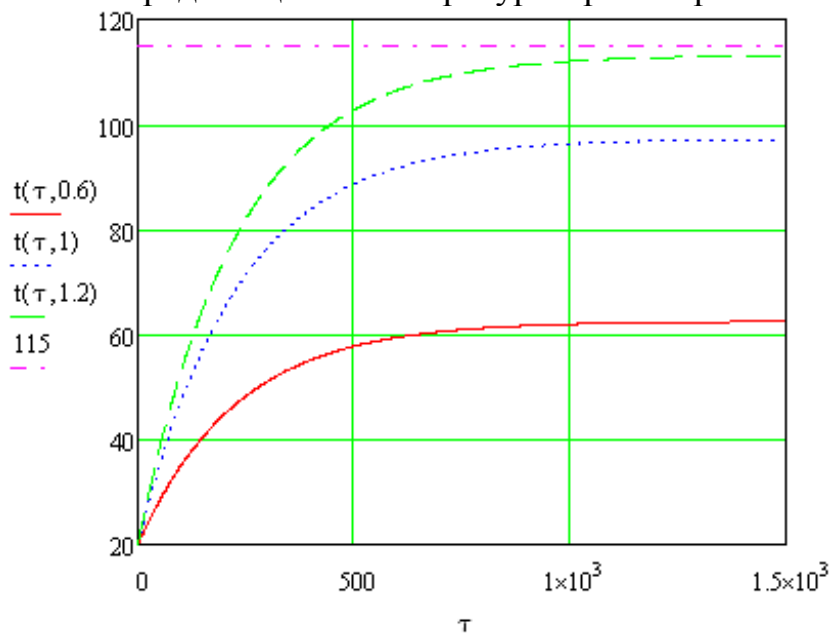


Рис. 1. Розподіл температури матеріалу в напрямку руху від завантажувальної горловини на відстані: 0.6, 1, 1.2 метри ( $t$ , °C;  $\tau$ , с).

*Висновки.* Створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку в прес-екструдері при використанні індукційного нагріву з урахуванням розподілу температури в напрямку руху матеріалу. Встановлені основні закономірності зміни температури матеріалу в часі та за координатою.



## Література

1. Бардин Я.Б. Ріпак: від сівби до переробки / Я.Б. Бардин. – К.: Світ, 2000. – 106 с.
2. Гайдаш В.Д. Ріпак – культура великих можливостей / В.Д. Гайдаш, Г.М. Ковальчук, Г.Т. Дем'янчук. – Ужгород: Карпати, 1986. – 62 с.
3. Гайдаш В.Д. Ріпак / В.Д. Гайдаш, М.М. Климчук, М.М. Макар. – Івано-Франківськ: Сіверсія, 1998. – 224 с.
4. Касіяничук В.Д. Переробка насіння на олію. Ріпак / В.Д. Касіяничук, Л.Д.Семенова. – Івано-Франківськ: Сіверсія ЛТД, 1998. – С.189–205.
5. Лисенко В.П. Математичне моделювання теплових процесів прес-екструдера з індукційним обігрівом / В.П. Лисенко, Б.І. Котов, Д.С. Комарчук // Науковий вісник. – К.: НУБіП, 2011. – № 166, ч. 4. – С.113–119.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕСС-  
ЭКСТРУДЕРА С ИНДУКЦИОННЫМ ОБОГРЕВОМ КАК  
ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Лисенко В.П., Котов Б.И., Калініченко Р.А., Комарчук Д.С.

*Аннотация*

Создана математическая модель процесса нагрева семян рапса в пресс-экструдере с индукционным обогревом учитывая распределение температуры в направлении движения материала.

**THE MATHEMATICAL MODEL OF THERMAL  
PROCESSES IN THE SCREW PRESS WITH INDUCTION  
HEATING AS OBJECT WITH DISTRIBUTED PARAMETERS**

V. Lysenko, B. Kotov, R. Kalinichenko D. Komarchuk

*Summary*

The mathematical model thermal processes in the press extruder with induction heating taking into account the temperature distribution in the direction of the material are considered.

УДК 629.421; 629.405

## **НАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Хворост М.В., д.т.н.,

Шпіка М.І., к.т.н.

*Харківська національна академія міського господарства*

Тел. 8 (057) 707-33-26

**Анотація** – розглянуто структуру стенду для дослідження асинхронного електропривода з мікропроцесорною системою керування та результати досліджень в режимах пуску і гальмування. Система керування стенду дозволяє задавати режими роботи та змінювати параметри регулятора за допомогою персонального комп'ютера.

**Ключові слова** – частотно-регульований електропривод, мікропроцесорна система керування.

*Постановка проблеми.* Забезпечення конкурентоспроможності міського електротранспорту з іншими видами міського транспорту пов'язане із впровадженням нового пасажирського рухомого складу та одночасним зниженням експлуатаційних витрат. В економічно розвинених країнах міський електротранспорт практично повністю обладнано частотно-регульованим асинхронним електроприводом. Такий електропривод має бути пріоритетним і для міст України. Це дозволить понизити питомі енерговитрати й підвищити надійність електроприводу, зменшити експлуатаційні затрати та збільшити термін служби електроустаткування, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу [1 – 3].

При використанні тягового асинхронного електроприводу появляється можливість збільшити потужність електродвигуна, не виходячи за задані масо-габаритні показники. Завдяки жорсткій механічній характеристиці асинхронного двигуна забезпечується підвищення до 20% зчіпних властивостей в режимах буксування та юзу [4].

*Аналіз останніх досліджень.* За останні роки значно збільшилась також частка частотно-регульованих асинхронних електроприводів і на підприємствах житлово-комунального господарства (ліфтові служби, тепло та водопостачання тощо). Цьому посприяло масове виробництво біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), силових модулів на їх основі та силових інтелектуальних модулів

(IPM) із засобами захисту ключів й інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем керування (МПСК). А застосування мікроконтролерів дозволило суттєво вдосконалити саму систему керування. Задані характеристики електроприводу підтримуються МПСК впродовж всього строку служби і при необхідності поліпшуються шляхом корегування алгоритмів на програмному рівні.

*Формулювання мети статті.* Тому для підготовки кваліфікованих спеціалістів у даних галузях в вищих навчальних закладах необхідно мати сучасні лабораторні стенди для натурального моделювання частотно-регульованих асинхронних електроприводів та їх дослідження.

*Основна частина.* Структурна схема асинхронного електроприводу такого стенду приведена на рис. 1.

При розробці структури стенду враховувалось ряд вимог. Одна з основних – стенд повинен бути універсальним. Він повинен дозволяти проводити дослідження і лабораторні роботи, натурне моделювання перехідних процесів в електроприводі, яке можна спостерігати електронним осцилографом та на моніторі ПК, змінювати параметри мікропроцесорної системи керування та досліджувати роботу перетворювача частоти, копіювати осцилограми з екрана монітора й вставляти їх в звіти та інше. До складу стенду входить: перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, навантажувальна машина, тиристорний перетворювач, мікропроцесорна система керування, гальмівний резистор, електронний осцилограф з пристроєм узгодження, датчики напруги, струму та частоти обертів, а також персональний комп'ютер з інформаційно-керуючою системою.

Така структура стенду дозволяє проводити дослідження частотно-регульованого асинхронного електроприводу в режимах пуску, розгону та гальмування і моделювати перехідні процеси в силових ланцюгах.

На рис. 2 зображена функціональна схема електроприводу стенду, яка розроблена на основі вище обраної структури.

Перетворювач частоти виконано з ланцюгом постійного струму. Він складається з випрямляча, фільтра та інвертора напруги. Випрямляч – наполовину керований, інвертор напруги – на IGBT-транзисторах. Живлення випрямляча забезпечується від мережі живлення 380В 50Гц через автоматичний вимикач. На вихід інвертора напруги підключено асинхронний двигун (АД). В якості навантажувальної машини використовується машина постійного струму незалежного збудження. Машина постійного струму живиться від мережі живлення 220В 50Гц через автоматичний вимикач та тиристорний перетворювач.

Для виміру частоти обертання АД використовується тахогенератор. Датчики напруги, струму та тахогенератор підключені до мікроп-

роцесорної системи керування, яка виконана на базі мікроконтролера TMS320. Мікропроцесорна система керування має зв'язок з інформаційно-керуючою системою, встановленою на персональному комп'ютері, через послідовний канал зв'язку RS485.

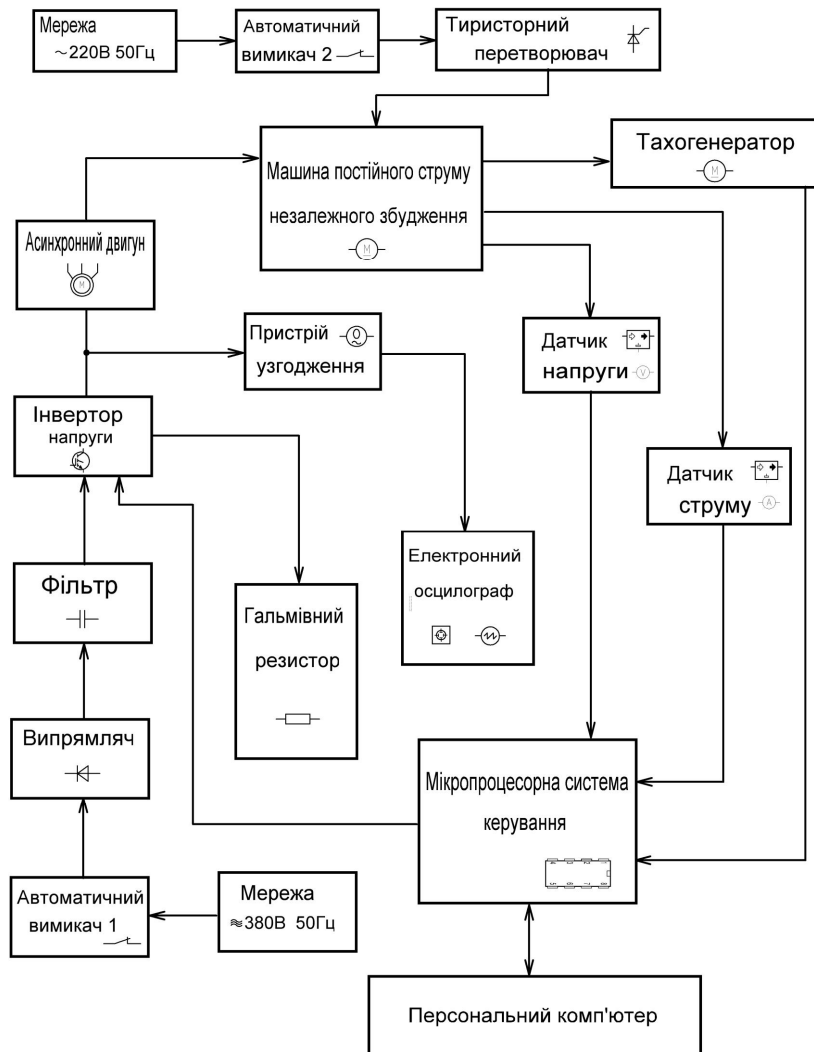


Рис.1. Структурна схема асинхронного електроприводу стенду.

Інформаційно-керуюча система дозволяє змінювати параметри регулятора, задавати час протікання досліду, змінювати закони керування, задавати режими роботи тощо. Інформаційно-керуюча система стенду виконана у вигляді програмного пакету для персонального комп'ютера та призначена для збору, реєстрації й обробки даних, а також контролю перехідних процесів, що протікають в силовій схемі та системі керування електроприводу. Система забезпечує відображення параметрів у реальному часі та їх вивід на монітор комп'ютера. Вона є складовою частиною системи керування стенду.

В стенді встановлено також пристрій узгодження для підключення електронного осцилографа. Це дозволяє спостерігати процеси в силовій схемі електроприводу.

Для забезпечення режиму гальмування використовується гальмівний резистор.

Вибір електричних машин зроблено з оглядом на те, щоб зменшити енергоспоживання стендом.

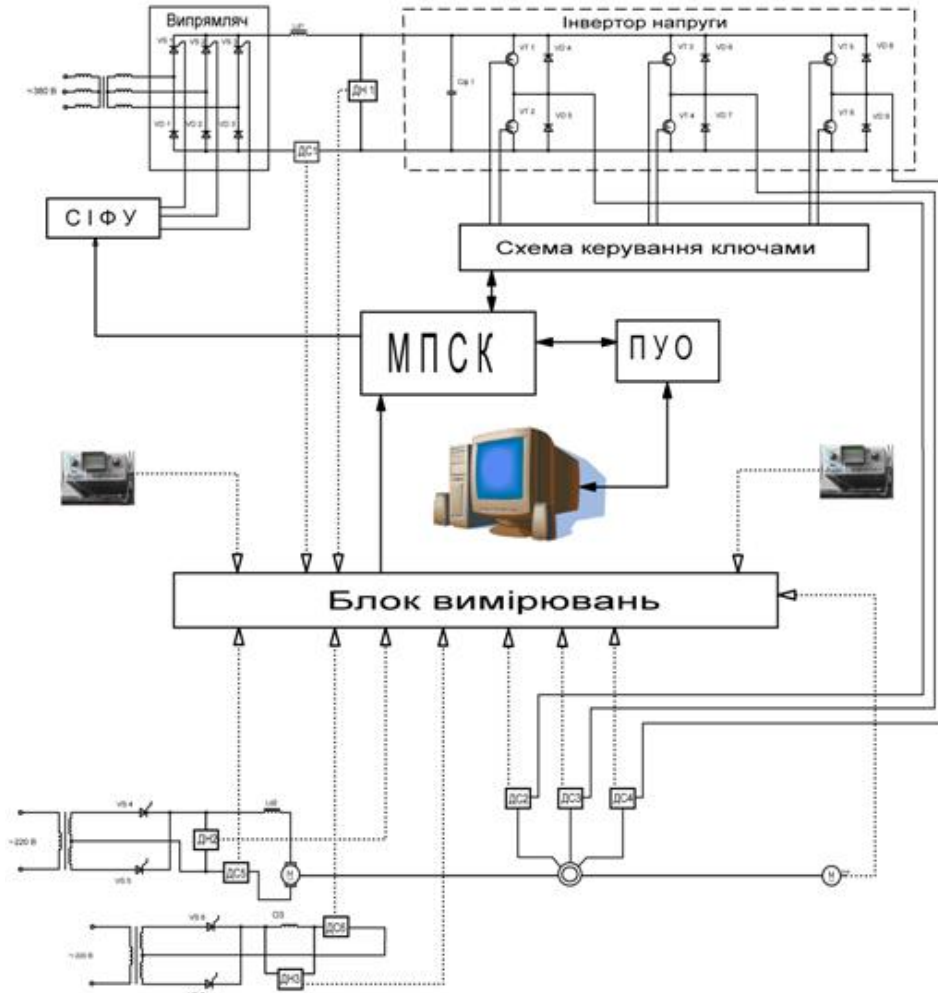


Рис. 2. Функціональна схема електроприводу стенду.

На рис. 3 приведено графік, який ілюструє роботу асинхронного електроприводу в реверсивному режимі.

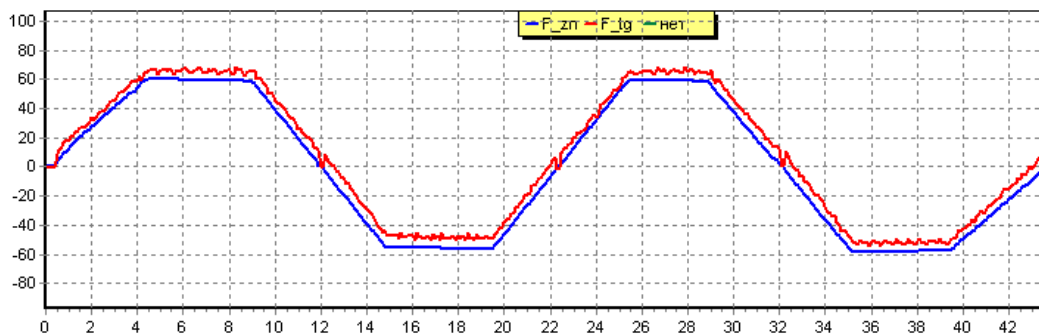


Рис. 3. Графік роботи асинхронного електроприводу в реверсивному режимі.

Графіки, які ілюструють роботу асинхронного електроприводу в режимі динамічного гальмування приведено на рис. 4.

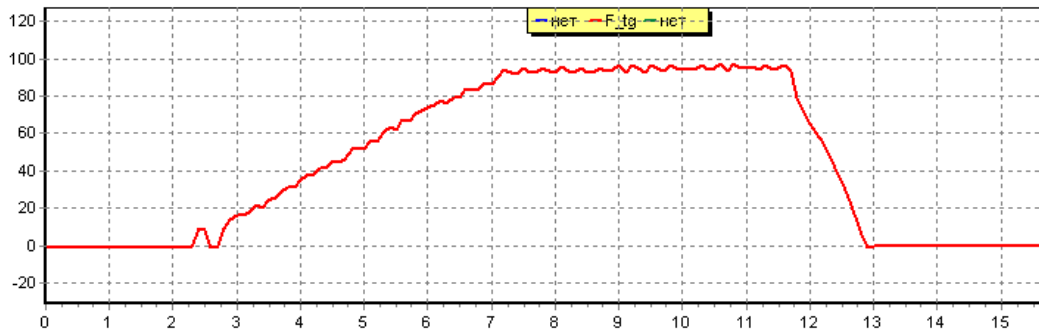


Рис. 4. Графік роботи асинхронного електроприводу в режимі динамічного гальмування.

На рис. 5 приведено графіки, що ілюструють роботу асинхронного електроприводу при рекуперації електроенергії в ланку постійного струму.

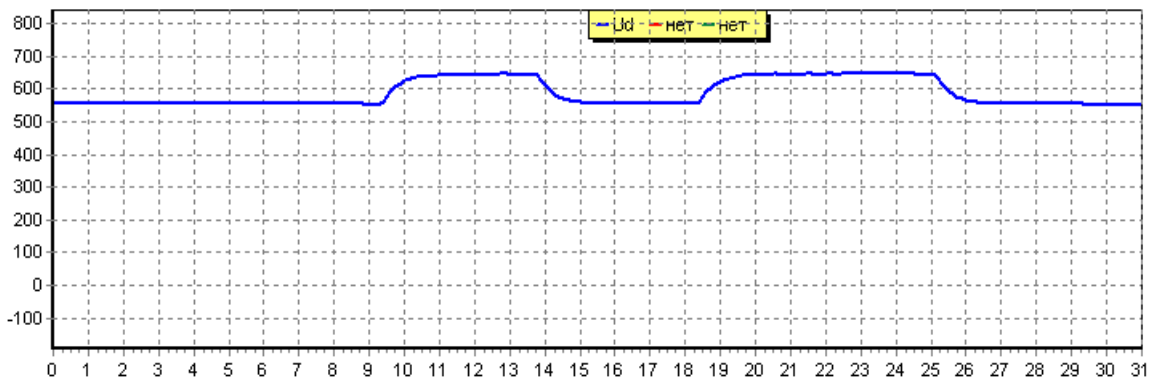


Рис. 5. Графік роботи асинхронного електроприводу при рекуперації електроенергії в ланку постійного струму.

Масштабування графіків проводиться автоматично. Відображені графіки, що виведені на монітор комп'ютера, можна копіювати за допомогою контекстного меню або кнопки Print Screen на клавіатурі у текстовий редактор Word.

*Висновки.* Таким чином, створений стенд забезпечує натурне моделювання частотно-регульованого асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування в режимах пуску та гальмування. Крім того, стенд дозволяє вирішувати питання, пов'язанні з оптимізацією параметрів систем керування частотно-регульованих асинхронних електроприводів міського електротранспорту та підприємств житлово-комунального господарства, а також проводити підготовку висококваліфікованих кадрів для роботи у вищезазначених галузях.

### Література

1. *Кириленко А.В.* Энергосберегающий асинхронный электропривод / *А.В. Кириленко, І.В. Волков* // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУХПИ, 2008. – Вып. 30. – С.22-26.
2. *Замятіна Е.* Двигуни для транспорту майбутнього / *Е. Замятіна*. – Енергія: економіка, техніка, екологія. 2005. – №2. – С.18-20.
3. *Далека В.Х.* Перспективи впровадження тягового асинхронного електроприводу / *В.Х. Далека, В.Ф. Харченко, М.І. Шпіка* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 73. – Т. 1. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С.104-105.
4. *Носков В.І.* Стан і перспективи впровадження тягових електроприводів змінного струму / *В.І. Носков, М.І. Шпіка*. – Гідроенергетика України. 2006. – №2. – С.63-68.

## НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Хворост М.В., Шпіка М.И.,

### *Аннотация*

Рассмотрена структура стенда для исследования асинхронного электропривода с микропроцессорной системой управления и результаты исследований в режимах пуска и торможения. Система управления стенда позволяет задавать режимы работы и изменять параметры регулятора с помощью персонального компьютера.

## NATURAL MODELING OF VARIABLE FREQUENCY ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

M. Khvorost, M. Shpika

### *Summary*

The structure of the stand for investigation of the asynchronous electric drive with microprocessor control system and the results of the research in the mode of starting and braking. The control system of the stand allows you to set the operation mode and change the settings of the controller to a personal computer.

УДК 621.313.8 : 631.53.027

## ПЕРЕДПОСАДКОВА ОБРОБКА БУЛЬБ КАРТОПЛІ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Синявський О.Ю., к.т.н.,  
Савченко В.В., інженер.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
Тел. (063) 566-96-28

**Анотація** – наведено результати експериментальних досліджень зміни біопотенціалу, рН та урожайності картоплі при магнітній обробці. Визначено найефективніший режим обробки. Розроблено електротехнологічний комплекс для магнітної обробки картоплі та проведено його дослідження.

**Ключевые слова** – магнітне поле, рН, біопотенціал картоплі, магнітна індукція, швидкість стрічки транспортера, енергетична доза обробки, урожайність, електротехнологічний комплекс.

*Постановка проблеми.* Підвищення ефективності вирощування картоплі пов'язане з необхідністю впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, до яких належить магнітна обробка картоплі. Порівняно з іншими електрофізичними методами обробки це високопродуктивний, енергозберігаючий, екологічний та безпечний для обслуговуючого персоналу метод.

Впровадження технології магнітної обробки картоплі зумовлює вибір параметрів обробки та створення електротехнологічного комплексу, які сприяють підвищенню урожайності і якості товарної продукції, що є актуальною проблемою.

*Аналіз останніх досліджень.* Проведені дослідження у Білоруському НДІ картоплярства і овочівництва та Ульяновському сільськогосподарському інституті показали, що при передпосадковій обробці картоплі у магнітному полі навіть з невеликою магнітною індукцією 4 мТл підвищується її урожайність на 5%, маса товарних бульб – до 6%, знижується захворюваність рослин до 15%, а також зменшуються втрати при зберіганні з 25-30% до 4-5%. Проте дослідження при інших режимах магнітної обробки картоплі не проводилися.

Для впровадження технології передпосадкової обробки картоплі у магнітному полі необхідно визначити оптимальні режими обробки,



обґрунтувати конструктивні параметри та розробити електротехнологічний комплекс для її здійснення.

*Формулювання мети статті.* Метою даної роботи є визначення найефективнішого режиму передпосадкової обробки картоплі у магнітному полі та розробка електротехнологічного комплексу для її реалізації.

*Основна частина.* У бульбї картоплі протікають різноманітні хімічні та біохімічні реакції, які є переважно окислювально-відновними. Стимуляція картоплі пов'язана із зростанням їхньої швидкості внаслідок зниження енергії активації за рахунок дії на іони сили Лоренца. Це призводить до зміни окислювально-відновного потенціалу (біопотенціалу) та рН картоплі [1, 2]:

$$\Delta OBP = -\Delta BP = \frac{2,3^2 K\mu}{zF} \left( \frac{KB^2}{2} + v_n B \right); \quad (1)$$

$$\Delta pH = \frac{2,3K\mu}{RT} \left( \frac{KB^2}{2} + v_n B \right), \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від виду іонів та кількості перемагнічувань;

$\mu$  – зведена маса часток;

$z$  – заряд іона;

$F$  – число Фарадея;

$B$  – магнітна індукція;

$v_n$  – нормальна складова швидкості іонів;

$R$  – універсальна газова стала;

$T$  – температура.

Отже, при магнітній обробці зміна біопотенціалу та рН картоплі залежать від квадрату магнітної індукції, нормальної складової швидкості руху іонів та кількості перемагнічувань.

Коефіцієнти, які входять у рівняння (1) і (2), аналітично визначити не можливо. Їх визначають на основі експериментальних даних.

Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу та рН картоплі при магнітній обробці виконувалися на розробленій лабораторній установці з електромагнітами. Магнітну індукцію у повітряному зазорі індуктора регулювали зміною напруги постійного струму, прикладеної до котушок індукторів. Величину магнітної індукції вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху стрічки транспортера з картоплею змінювали за допомогою перетворювача частоти Delta VFD004EL43A.

Дослідження зміни біопотенціалу та рН картоплі при магнітній обробці картоплі виконували із застосуванням метода планування експерименту. При дослідженнях використовувався ортогональний центрально-композиційний план (план ПФЕ  $2^2$  і зіркові точки) [3].

Межі зміни магнітної індукції (15–45 мТл) та значення верхнього, нижнього і основного рівня фактору визначали на основі проведених однофакторних експериментів, а межі зміни швидкості стрічки транспортера (0,5–1,5 м/с) – відповідно до СНиП 2.05.07-85.

На основі багатофакторного експерименту отримали рівняння регресії зміни біопотенціалу та рН картоплі, які для 5%-ного рівня значущості мають вигляд (рис. 1):

$$\Delta БП = 24,12 + 1,44B - 19,66v + 9,57Bv - 0,027B^2, \quad (3)$$

$$\Delta рН = -0,0282 + 0,0116B - 0,05v + 0,0017Bv - 0,0002B^2, \quad (4)$$

де  $v$  – швидкість руху стрічки транспортера.

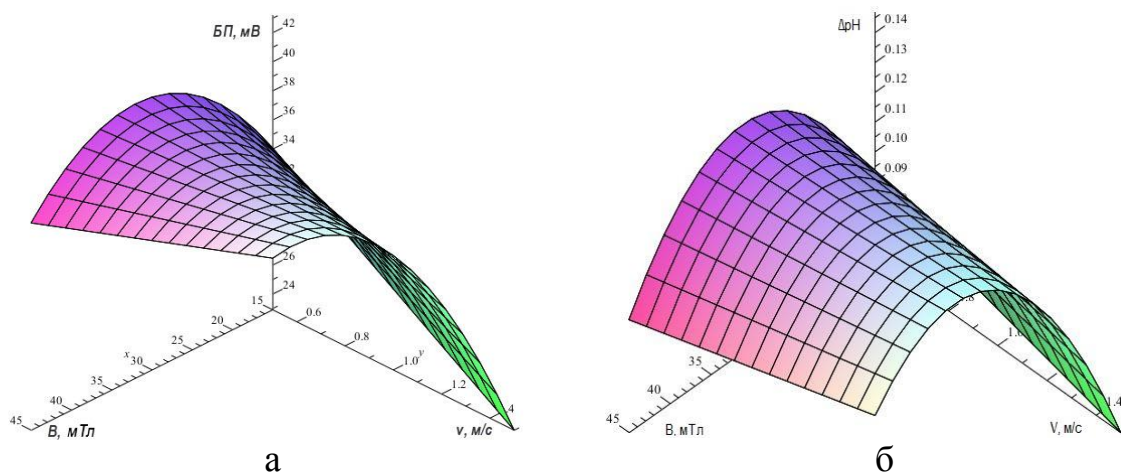


Рис.1. Залежності зміни біопотенціалу (а) та рН (б) картоплі при магнітній обробці від магнітної індукції і швидкості руху стрічки транспортера.

Встановлено, що найефективнішим режимом магнітної обробки картоплі є магнітна індукція 30 мТл при чотирикратному перемагнічуванні і швидкості стрічки транспортера 1 м/с (енергетична доза обробки 0,23 Дж·с/кг).

Визначені режими магнітної обробки картоплі на основі зміни її біопотенціалу та рН були перевірені шляхом дослідження урожайності і біометричних показників рослин картоплі відповідно до відомої методики польового дослідження [4].

Досліди виконувалися за такою схемою: 1-й варіант (контрольний) – картоплю вирощували без обробки у магнітному полі; 2-й варіант – картоплю перед посадкою оброблювали у магнітному полі з магнітною індукцією 13 мТл; 3-й варіант – з магнітною індукцією 20 мТл; 4-й варіант – з магнітною індукцією 30 мТл; 5-й варіант – з магнітною індукцією 45 мТл.

У результаті проведених польових досліджень встановлено, що найкращі біометричні показники та урожайність картоплі мали місце

при магнітній індукції 30 мТл і швидкості руху стрічки транспортера 1 м/с (доза обробки 0,23 Дж·с/кг). При збільшенні або зменшенні дози обробки біометричні показники і урожайність картоплі зменшуються, але залишаються вищими, порівняно з необробленою у магнітному полі картоплею (рис. 2).

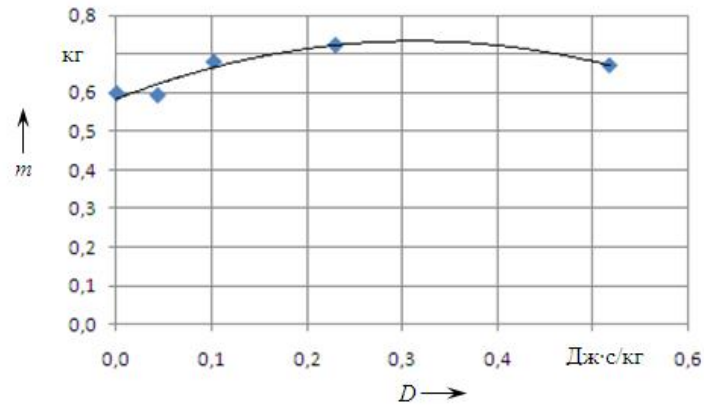


Рис.2. Залежність середньої урожайності з куща картоплі від енергетичної дози обробки.

Визначений режим передпосадкової обробки картоплі у магнітному полі був покладений в основу створення електротехнологічного комплексу, який складається з транспортера і пристрою для магнітної обробки картоплі (рис. 3).



Рис.3. Електротехнологічний комплекс для магнітної обробки картоплі.

Конструкція пристрою для магнітної обробки картоплі передбачає установку 4 пар постійних магнітів на основі NdFeB паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю на відстані 145 мм. Магніти приклеєні до сталевих плит, а проміжки між ними заповнені текстолітом. Привод транспортера здійснюється від трифаз-

ного асинхронного електродвигуна потужністю 0,25 кВт через знижувальний редуктор.

Проведені дослідження електротехнологічного комплексу для магнітної обробки картоплі показали, що відхилення магнітної індукції у робочій зоні від розрахункового значення не перевищує 5%, а швидкості транспортера при зміні навантаження і відхиленні напруги – 4%. Залежність зміни магнітної індукції у центрі повітряного зазору вздовж осі транспортера показана на рис. 4.

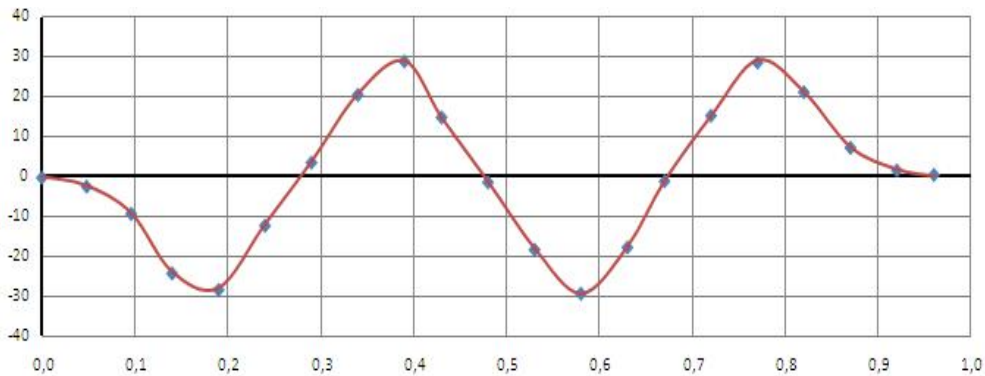


Рис. 4. Залежність зміни магнітної індукції у центрі повітряного зазору вздовж осі транспортера

Спільно з кафедрою агрохімії та якості продукції рослинництва ім. акад. О.Душечкіна НУБіП України були проведені дослідження зміни хімічного складу бульби картоплі після обробки її у магнітному полі. Результати досліджень наведені у таблиці.

Таблиця – Зміна хімічного складу картоплі при магнітній обробці

Показник	Картопля без обробки у магнітному полі	Картопля, оброблена у магнітному полі
Суша речовина, %	24,6	25,3
Крохмаль, %	17,7	18,1
Вітамін С, мг/%	16,4	17
Нітрати NO <sub>3</sub> , мг/кг	90	85

*Висновки.* Найефективнішим режимом передпосадкової обробки картоплі у магнітному полі є магнітна індукція 30 мТл при чотирикратному перемагнічуванні і швидкості руху стрічки транспортера 1 м/с. У результаті виробничої перевірки експериментального зразка електротехнологічного комплексу для магнітної обробки картоплі, проведеної у СТОВ «Відродження» Фастівського району Київської області, встановлено, що урожайність картоплі при передпосадковій обробці у магнітному полі підвищується на 17-21%, кількість товарних бульб збільшується на 15%, у бульбах картоплі, оброблених

у магнітному полі, збільшується вміст крохмалю, вітаміну С, сухої речовини на 3-4%, а концентрація нітратів зменшується на 6%. Питома енергоємність процесу магнітної обробки картоплі складає 0,0097 кВт·год/т.

#### Література

1. *Синявський О.Ю.* Магнітна обробка картоплі / *О.Ю. Синявський, В.В. Савченко* // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т.10 – С.170–173.

2. *Sinyavsky A.* Magnetic treatment of potato tubers / *A. Sinyavsky, V. Savchenko* // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – Warsaw: 2011. – №57. – P.57-64.

3. *Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / *Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.* – М.: Наука, 1976. – 278 с.

4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / *Б.А. Доспехов.* – М.: Колос, 1979. – 416 с.

### **ПРЕДПОСАДОЧНАЯ ОБРАБОТКА КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Синявский А.Ю., Савченко В.В.

#### *Аннотация*

**Приведено результати експериментальних досліджень зміни біопотенціала, рН і урожайності картофеля при магнітній обробці. Визначено найбільш ефективний режим обробки. Розроблено електротехнологічний комплекс для магнітної обробки картофеля і проведено його дослідження.**

### **TREATMENT OF POTATO TUBERS IN THE MAGNETIC FIELD BEFORE PLANTING**

A. Sinyavsky, V. Savchenko

#### *Summary*

**The results of experimental researches of change of biopotential, pH and productivity of potato at magnetic treatment are resulted. The most effective mode of treatment is certain. An electro-technological complex for magnetic treatment of potato is developed and his researches are conducted.**

УДК 637.52

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КУТТЕРОВАНИЯ

Желудков А.Л., инженер,

Акуленко С.В., к.т.н.

УО «Могилевский государственный университет продовольствия»

Тел (0222) 48-57-61

**Аннотация** – работа посвящена методике определения продолжительности измельчения мясного сырья в куттере. Проанализированы существующие способы определения времени куттерования. Приведено выражение, позволяющее определить время, за которое измельчаемое сырье нагреется до заданной температуры в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы куттера.

**Ключевые слова** – куттер, время куттерования, температура куттеруемого сырья.

*Постановка проблемы.* Одним из направлений в области энергосбережения при переработке сельскохозяйственной продукции является повышение эффективности процесса измельчения пищевых продуктов. Добиться реализации поставленной цели возможно путем интенсификации процесса, а также при помощи методик, позволяющих заранее прогнозировать продолжительность измельчения.

Способами интенсификации процесса куттерования мясного сырья являются использование систем автоматизации процесса, оптимизация режимов резания и конструкций режущих органов. В тоже время на решение второй задачи обращалось недостаточное внимание. В связи с отсутствием методики прогнозирования продолжительности времени измельчения сырья, возникает необходимость постоянного контроля за процессом куттерования. Неопределенность продолжительности процесса тонкого измельчения приводит к перерасходу электрической энергии на проведение процесса, а также приводит к выделению большого количества тепла, что вызывает значительное повышение температуры сырья и приводит к денатурации белков, снижению водосвязывающей способности полуфабриката и изменению структурно-механических свойств готового продукта. В результате увеличиваются затраты на проведение процесса и ухудшается качество получаемой продукции.

Момент наступлення окончання процесса куттерованія можно определять следующими способами: органолептическим способом, с помощью специальных приспособлений и приборов, реагирующих на изменение структурно-механических характеристик фарша в процессе его приготовления, по степени измельчения, ориентировочно по рекомендуемой продолжительности обработки, характерной для определенного вида продукта, при помощи термометрических устройств, измеряющих температуру куттеруемого сырья. В настоящее время в большинстве современных куттеров применяется последний способ. В данном случае процесс куттерованія прекращается при достижении сырьем определенной температуры, соответствующей началу денатурации (свертыванию) белков.

Однако в настоящий момент отсутствует методика, позволяющая достаточно точно рассчитать продолжительность измельчения в куттерах (время, за которое куттеруемое сырье достигает заданной температуры).

*Анализ предыдущих исследований.* В результате любого механического воздействия на продукт (перемешивания, растирания, измельчения, резания и пр.) изменяются величины его физических свойств и технологические показатели [1, 2]. Для получения желаемого эффекта необходимо подвести к продукту определенное количество полезной энергии, которая вызывает изменение качества продукта. Другая часть энергии из общей расходуется на преодоление сил сопротивления и трения, преобразуясь в тепло. Например, при куттерованіи полезная энергия составляет 5...10% от общей подведенной. В связи с этим при рассмотрении механической обработки изучают необходимую длительность проведения процесса (для каждой машины длительность будет иметь свое значение) [3].

А.В. Горбатов получил следующую зависимость для вычисления оптимальной продолжительности куттерованія

$$\tau_{opt} = \sqrt[3]{\frac{a}{2b^2 \cdot c} - \frac{2}{3} \cdot \frac{a}{b}}, \quad (1)$$

где  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты, постоянные для определенного прибора и измельчающей машины, но различные для каждого вида фарша.

Следует отметить, что данное выражение не учитывает специфики измельчения сырья в куттере и имеет частный характер. Для каждого вида сырья и машины значения коэффициентов будут различными.

*Формулировка целей статьи.* Целью проведенных исследований являлось определение зависимости продолжительности куттерованія мяса кур механической обвалки от частоты вращения ножевого вала и чаши, коэффициента скольжения куттерного ножа и конечной температуры измельчаемого сырья, позволяющей определять время, за которое мясо кур механической обвалки в процессе куттерованія нагреется до заданной температуры.

*Основная часть.* Так как куттерование является сложным процессом, совмещающим в себе процессы резания и перемешивания, то установить аналитически продолжительность куттерования не представляется возможным, и ее определяют экспериментально.

При разработке методики определения продолжительности куттерования, приняты следующие допущения:

- 1) энергия, идущая на преодоление пластических деформаций и трения, полностью расходуется на нагрев куттеруемого сырья;
- 2) теплотой, поступающей от окружающей среды, пренебрегаем;
- 3) потерями теплоты наружными поверхностями машины пренебрегаем;
- 4) потерями на разогрев конструкции пренебрегаем.

Исходя из принятых допущений, получаем уравнение для определения работы, затрачиваемой на процесс куттерования

$$A_{пол} = A_{изм} + Q_{мен}, \quad (2)$$

где  $A_{пол}$  – работа, затрачиваемая на процесс куттерования, Дж;

$A_{изм}$  – работа, затрачиваемая на измельчение, Дж;

$Q_{мен}$  – энергия, идущая на нагрев куттеруемого сырья, Дж.

Для получения математического выражения, позволяющего определить время куттерования, за которое измельчаемое сырье достигнет определенной температуры, вводим поправочный коэффициент  $K_1$ , показывающий, какая часть энергии от энергии, расходуемой на куттерование, идет на нагрев сырья

$$K_1 = Q_{мен} / A_{пол}. \quad (3)$$

Энергия, идущая на нагрев сырья, в результате которой температура сырья повышается на  $\Delta t$ , определяется из выражения

$$Q_{мен} = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (4)$$

где  $c$  – теплоемкость куттеруемого сырья, Дж/(кг·°С);

$m$  – масса куттеруемого сырья, кг;

$\Delta t$  – изменение температуры куттеруемого сырья, °С.

Работу, затрачиваемую на процесс куттерования  $A_{пол}$ , можно определить из выражения

$$A_{пол} = N_{пол} \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $N_{пол}$  – полезная мощность, потребляемая в процессе куттерования, Вт;

$\tau$  – время куттерования, с.

Таким образом поправочный коэффициент  $K_1$  определяется как

$$K_1 = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{N_{пол} \cdot \tau}. \quad (6)$$

Полезная мощность, затрачиваемая на измельчение сырья в процессе куттерования  $N_{пол}$  определяется в результате экспериментальных исследований и находится как разность между мощностью на ножевом валу  $N$  под нагрузкой и мощностью на ножевом валу без нагрузки  $N_{x.x}$



$$N_{пол} = N - N_{x,x}, \quad (7)$$

где  $N$  – мощность на ножевом валу под нагрузкой, Вт;

$N_{x,x}$  – мощность на ножевом валу без нагрузки, Вт.

Проведенные исследования показали, что при куттеровании модельного материала около 90% от энергии, затрачиваемой на измельчение в процессе куттерования, идет на нагрев сырья.

Таким образом, зная коэффициент пропорциональности  $K_1$ , можно определить время  $\tau$ , за которое куттеруемое сырье нагреется на температуру  $\Delta t$ :

$$\tau = \frac{Q_{мен}}{K_1 \cdot N_{пол}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot N_{пол}}. \quad (8)$$

Полезную мощность  $N_{пол}$ , затрачиваемую на измельчение мясного сырья в процессе куттерования, также можно определить из регрессионной модели, полученной в результате экспериментальных исследований. В нашем случае зависимость искомого (выходного) параметра от принятых независимых переменных можно представить в виде произведения функций от отдельных аргументов

$$N_{пол} = A \cdot f(n_в) \cdot f(n_ч) \cdot f(K_c), \quad (9)$$

где  $f(n_в)$  – функция влияния частоты вращения ножевого вала на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(n_ч)$  – функция влияния частоты вращения чаши на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(K_c)$  – функция влияния коэффициента скольжения ножа на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования.

С учетом полученной зависимости, выражение для определения продолжительности куттерования примет вид:

$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot (A \cdot f(n_в) \cdot f(n_ч) \cdot f(K_c))}. \quad (10)$$

Данное выражение позволяет определить время куттерования за которое измельчаемый продукт нагреется до определенной температуры, в зависимости от наиболее важных кинематических параметров работы куттера (частоты вращения ножевого вала и чаши), а также конструктивных особенностей куттерных ножей.

Полученное выражение носит общий характер. Для применения полученной методики по отношению к конкретной модели куттеров требуется проведение исследований, учитывающих конструктивные и кинематические особенности машин.

Многообразие процессов пищевой технологии, большая номенклатура изделий, дороговизна и малая стойкость пищевых продуктов при хранении вынуждают в исследовательской практике отходить

от натуральных материалов и искать их заменители, которые достаточно полно воспроизводят наиболее существенные свойства натурального продукта в процессе экспериментальных исследований. Многократно проведенные исследования показали, что универсальным моделирующим объектом для многих пищевых продуктов служит модельный материал на основе бентонитовой глины [4].

Зависимость изменения полезной мощности  $N_{пол}$ , затрачиваемой на процесс куттерования модельного материала, от принятых независимых переменных можно представить в виде произведения функций от отдельных аргументов. Для этого находим логарифмы от средних значений полезной мощности и потенцируем результат для каждого из уровней. После математической обработки графических зависимостей получаем функции:

$$\begin{aligned} N_{пол} &= f(K_c) = 685,33 \cdot K_c^{0,06}; \\ N_{пол} &= f(n_b) = 8,993 \cdot n_b^{0,601}; \\ N_{пол} &= f(n_q) = 524,88 \cdot n_q^{0,118}, \end{aligned}$$

перемножение которых в конечном итоге позволяет получить выражение, связывающее полезную мощность, затрачиваемую на процесс куттерования, с независимыми управляемыми переменными  $n_b$ ,  $n_q$ , и  $K_c$  с точностью до неизвестного постоянного множителя  $A$ .

Таким образом, для прогнозирования и расчетов основных технологических характеристик обрабатываемого сырья, после обработки экспериментальных данных получено уравнение, позволяющее определить изменение полезной мощности при куттеровании модельного материала:

$$N_{пол} = 6,523 \cdot K_c^{0,06} \cdot n_b^{0,601} \cdot n_q^{0,118}, \quad (11)$$

где  $K_c$  – коэффициент скольжения ножа;

$n_b$  – частота вращения ножевого вала, мин<sup>-1</sup>;

$n_q$  – частота вращения чаши, мин<sup>-1</sup>.

С учетом выражения (11) и коэффициента  $K_1$  ( $K_1=0,9$ ) уравнение (10) примет вид

$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{5,87 \cdot K_c^{0,06} \cdot n_b^{0,601} \cdot n_q^{0,118}}. \quad (12)$$

Данное выражение позволяет прогнозировать продолжительность куттерования модельного материала в зависимости от конечной температуры сырья, а также от режимно- конструктивных параметров работы куттера. Для более точного прогнозирования продолжительности времени куттерования, за которое измельчаемое сырье достигнет заданной температуры, рекомендуется использовать выражение для нахождения полезной мощности  $N_{пол}$ , определенное с помощью использования пакета программ StatGraphics Plus:

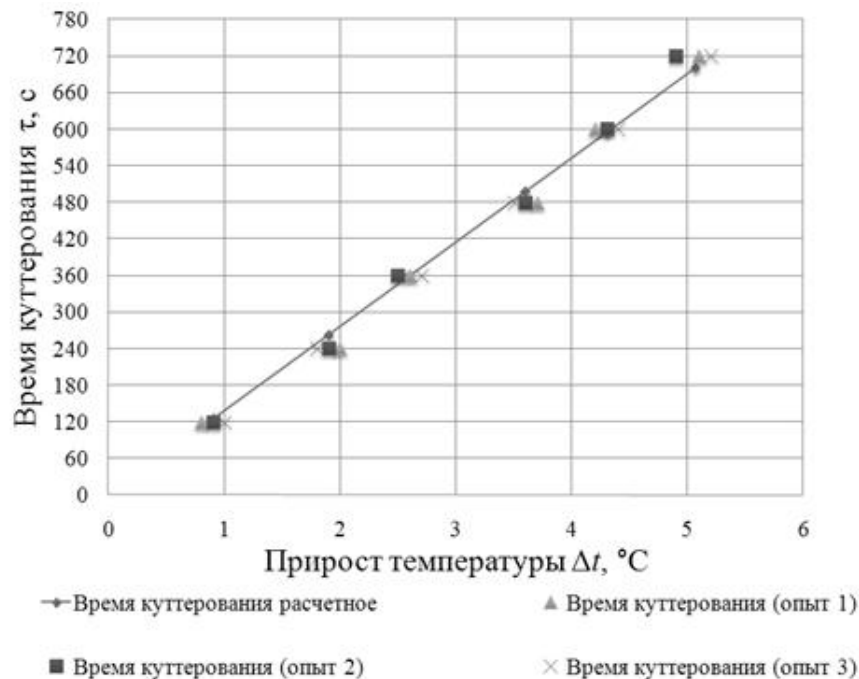
$$N_{пол} = 536,494 - 236,56 \cdot K_c + 0,139 \cdot n_b + 6,198 \cdot n_q + 52,896 \cdot K_c^2 + 0,00796 \cdot K_c \cdot n_b + 0,438 \cdot K_c \cdot n_q + 0,0000381 \cdot n_b^2 + 0,00191 \cdot n_b \cdot n_q - 0,093 \cdot n_q^2. \quad (13)$$

С целью сопоставления расчетного времени куттерования, полученного с помощью выражения (12), и экспериментального времени куттерования модельного материала, проводились дополнительные исследования. Устанавливались следующие режимы куттерования: частота вращения ножевого вала  $n_g = 1492 \text{ мин}^{-1}$ ; частота вращения чаши  $n_q = 11,9 \text{ мин}^{-1}$ ; коэффициент скольжения ножа  $K_c = 2,1$ . В таблице 1 представлены значения прироста температуры модельного материала и расчетное время куттерования.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

№ измерения	Время куттерования $\tau$ , с	Прирост температуры $\Delta t_1$ , °C	Прирост температуры $\Delta t_2$ , °C	Прирост температуры $\Delta t_3$ , °C	Время куттерования расчетное $\tau$ , с
1	120	0,8	0,9	1	125
2	240	2	1,9	1,8	262
3	360	2,6	2,5	2,7	359
4	480	3,7	3,6	3,5	497
5	600	4,2	4,3	4,4	594
6	720	5,1	4,9	5,2	700

На рис. 1 представлены расчетная зависимость и экспериментальные данные продолжительности куттерования для модельного материала.

Рис. 1. Зависимость  $\tau$  от  $\Delta t$  при  $K_c=2,1$ ,  $n_g=1492 \text{ мин}^{-1}$  и  $n_q=11,9 \text{ мин}^{-1}$ .

**Выводы.** Анализ полученных экспериментальных данных показал, что уравнение (12) позволяет с высокой степенью точности определить продолжительность куттерования, за которое сырье нагреется

до определенной температуры, в куттерах типа ФК-50 при атмосферном давлении, без охлаждения измельчаемого сырья. Подобная методика может успешно применяться на практике при планировании производства продукции пищевой промышленности, а также при проведении научно-исследовательских работ и в учебном процессе.

#### Литература

1. *Рогов И.А.* Физические методы обработки пищевых продуктов / *И.А. Рогов, А.В. Горбатов* – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 583 с.
2. *Урьев Н.Б.* Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / *Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник* – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 240 с.
3. *Горбатов А.В.* Структурно-механические свойства мяса и мясопродуктов. Справочник: Физико-химические и биохимические основы технологии мяса и мясопродуктов / *А.В. Горбатов* – М.: Пищевая промышленность, 1973. – С.115–167.
4. *Косой В.Д.* Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества): монография / *В.Д. Косой, В.П. Дорохов* – М.: ДеЛи принт, 2006. – 765 с.

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ КУТТЕРОВАННЯ

Желудков А.Л., Акуленко С.В.

### *Анотація*

**Робота присвячена методиці визначення тривалості подрібнення м'ясної сировини в куттері. Проаналізовані існуючі способи визначення часу куттерования. Приведено вираз, що дозволяє визначити час, за який подрібнена сировина нагріється до заданої температури в залежності від конструктивних параметрів і режимів роботи куттера.**

## THE METHOD OF DEFINITION OF DURATION OF CUTTERING

A. Zheludkov, S. Akulenko

### *Summary*

**The work is devoted to a technique of definition of duration of crushing of meat raw material in cutter. Existing ways of definition of time crushing are analysed. The dependence is described, allowing to define time for which crushed raw material will heat up to the set temperature depending on design data constructive parameters and modes of the work of cutter.**

УДК 621.365:641.5.35; 641.521:641.542.6

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ТЕСТОВЫХ ЗАГОТОВОК В ПАРОКОНВЕКТОМАТЕ

Кирик И.М., к.т.н.,

Кирик А.В., инженер.

*Могилевский государственный университет продовольствия*

Тел (+375 222) 455416

**Аннотация** – в статье приведены результаты разработки и исследований универсального теплового аппарата для объектов общественного питания – пароконвектомата. Исследован процесс теплопроводности в выпекаемой тестовой заготовке из пшеничной муки. Показано, что при обработке экспериментальных данных предельной температурой для внутренней массы изделия следует считать температуру насыщенного пара. Получено критериальное уравнение для определения температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки для инженерных расчетов.

**Ключевые слова** – тестовая заготовка, пароконвектомат, влажность, температуропроводность, безразмерная температура.

*Постановка проблемы.* Сложность и многофакторность процесса тепловой обработки тестовых заготовок делает затруднительным достаточно точное теоретическое описание изменения температурного поля в теле заготовки во времени. В большинстве случаев тепловой расчет хлебопекарных печей и других технических устройств для выпечки хлебобулочных изделий выполняется на основе опытных температурных кривых процесса.

*Анализ предыдущих исследований.* Аналитический подход к оценке продолжительности выпечки по времени достижения заданной температуры на основе теории нестационарной теплопроводности изложен в литературных источниках [1] и [2]. Представленные в них соотношения теоретически верно отражают влияние факторов, которые определяют время выпечки изделия. Но они имеют неизвестные коэффициенты, в том числе зависящие от числа Био, четких рекомендаций по нахождению которого нет. Поэтому для инженерных расчетов они практически непригодны.

Результаты исследования температурного поля выпекаемой тестовой заготовки (далее ВТЗ) представлены в литературных источниках [3] и [4]. В общем случае аналитическое определение температурного поля ВТЗ связано с необходимостью решения системы дифференциальных уравнений Лыкова-Михайлова [5]. Решение этой системы дифференциальных уравнений получить пока не удастся.

По результатам обработки экспериментальных измерений на основе теории подобия были получены расчетные критериальные уравнения, описанные в литературе [2] и [6]. Но эти уравнения позволяют получить только наружную температуру тестовой заготовки на начальном этапе выпечки. Кроме того, для их применения требуется знать конкретный закон изменения плотности теплового потока на поверхности ВТЗ, который заранее неизвестен.

Рассмотренные подходы к аналитическому определению температуры ВТЗ нуждаются в развитии и совершенствовании.

*Цель работы* – аналитическое описание изменения температуры в центре ВТЗ на основе обработки экспериментальных измерений с использованием теории подобия и разработка конструкции пароконвекционного аппарата и внедрение его в серийное производство.

*Основная часть.* Выпечка изделий из теста в пароконвекционном аппарате представляет собой нестационарный тепловой процесс, включающий теплопроводность, перенос влаги с изменением ее агрегатного состояния и различные физические, биохимические, микробиологические, коллоидные и другие процессы. Базовым процессом здесь следует считать нестационарную теплопроводность в теле ВТЗ, поскольку изменение температурного поля вызывает или изменяет все остальные процессы.

Для проведения экспериментальных исследований по изучению процесса теплопроводности в теле ВТЗ создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1 [7, 8, 9].

Схема расположения термопар в ВТЗ при измерении температуры в различных ее слоях изображено на рис. 2.

Измеренные значения температуры на поверхности ВТЗ и в ее центре показали классически традиционный в качественном плане характер изменения температуры во времени. Температура на поверхности ВТЗ (или температура корки) сразу быстро возрастает, со временем скорость возрастания ее температуры уменьшается, и температура приближается к температуре греющей среды. В центре изделия на первоначальной стадии температура остается неизменной, пока идет процесс прогрева заготовки. Через некоторое время температура в центре ВТЗ начинает расти сначала быстро, а затем все медленнее, также приближаясь к некоторой предельной температуре.

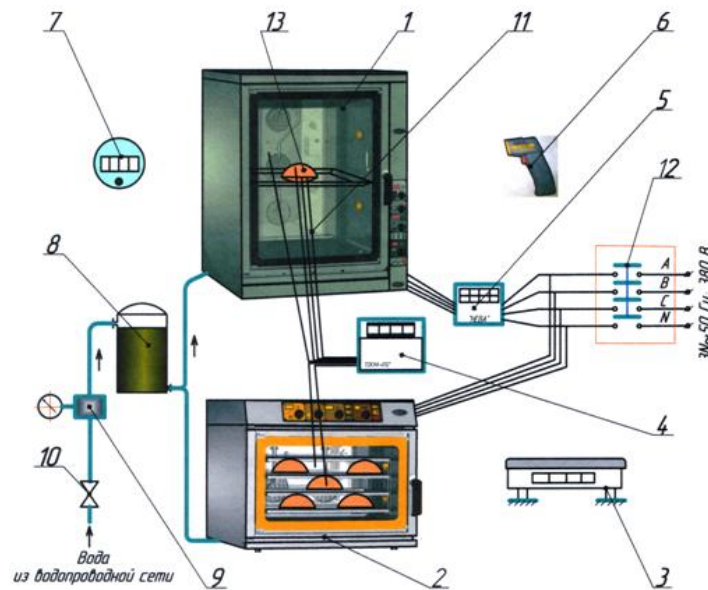


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – апарат пароконвекційний; 2 – шаф розстійний; 3 – ваги електронні лабораторні SC 4010; 4 – вимірювач-регулятор «Сосна-012»; 5 – лічильник трифазний «Нева»; 6 – пірометр Centr-350; 7 – лічильник-секундомір електронний; 8 – колонка іонообмінна DEF; 9 – клапан редукційний з манометром ІТАР; 10 – кран пробковий; 11 – перетворювач термоелектричний ТХА(К); 12 – пускатель магнітний ПМЕ; 13 – заготовка тестова.

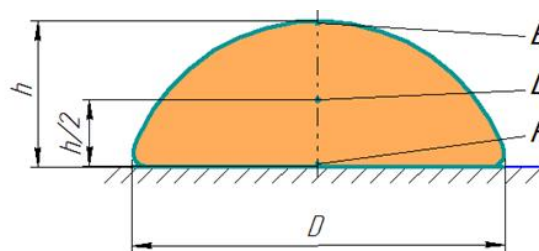


Рис. 2. Схема розташування термопар в різних шарах ВТЗ:

**B** – точка вимірювання температури ВТЗ в підкорковому шарі; **C** – точка вимірювання температури в центрі ВТЗ; **H** – точка вимірювання температури в нижній корці.

В теорії нестационарної теплопровідності змінення температури во часі в кожній точці тіла при його нагріванні і охолодженні визначається нескінченним рядом [10]

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (1)$$

де  $\theta$  – безрозмірна температура, визначається як

$$\theta = \frac{t_{z.c.} - t}{t_{z.c.} - t_o}, \quad (2)$$

$t_{z.c.}$  – температура греющей среды, °С;

$t$  – температура ВТЗ в момент времени  $\tau$ , °С;

$t_o$  – начальная температура ВТЗ, °С;

$Fo$  – число Фурье, определяемое как

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}, \quad (3)$$

$a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$\tau$  – время, с;  $l$  – характерный геометрический размер тела, м;

$D_n$  – функция, зависящая от граничных условий, координат, формы тела;

$\mu_n$  – корни характеристического уравнения, получаемого при решении задачи.

Для фиксированной точки (например, в центре изделия) величины  $D_n$  и  $\mu_n$  зависят только от числа Био, которое характеризует условия нагревания (охлаждения) поверхности тела

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от греющей среды к изделию, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности нагреваемого тела, Вт/мК.

Для тел правильной формы с одномерным полем температур (бесконечная плоская пластина, бесконечный цилиндр, шар) величины  $D_n$  и  $\mu_n$  для центра тела и для его поверхности табулированы и приводятся в справочной литературе [11].

На первом этапе выпечки, называемом неупорядоченным режимом, наблюдается сложный характер изменения температуры в теле ВТЗ, различный в разных точках, и для определения температуры требуется много членов ряда (1). Со временем с ростом числа Фурье ряд (1) сходится все быстрее, и для определения значений температуры требуется все меньшее число членов ряда. После определенных значений числа Фурье ряд сходится настолько быстро, что для математического описания процесса достаточно первого члена ряда

$$\theta = D_1 \cdot e^{-\mu_1^2 \cdot Fo}. \quad (5)$$

Этот режим называют регулярным режимом. Изменение температуры при этом во всех точках тела имеет аналогичный характер. Для бесконечного цилиндра и шара такой режим наступает при  $Fo \geq 0,25$  (при определяющем размере, равном радиусу цилиндра или шара, т.е. при  $l = r$ , где  $r$  – радиус, м).



Аппроксимация экспериментальных измерений уравнением (5) открывает большие возможности для обобщения опытных данных, прогнозирования изменения температуры во времени в процессе выпечки тестовых заготовок, получения расчетных уравнений. Коэффициенты  $D_l$  и  $\mu_l$  получаются в этом случае эмпирически. При нагревании твердых однородных тел обе температуры, как и температуры в любой точке, со временем сближаются, стремясь к температуре греющей среды. Однако известно, что при выпечке изделий из теста имеет место существенное различие – температура внутри ВТЗ стремится не к температуре греющей среды, а к другой, более низкой температуре, обычно не превышающей  $100^\circ\text{C}$ . Поскольку для центра и поверхности ВТЗ эти температуры оказываются разными, будем рассматривать далее предельную температуру  $t_{np}$ .

Ранее при обработке результатов экспериментальных исследований процесса тепловой обработки тестовых заготовок из пшеничного теста выявлено, что при некоторых условиях процесс нагревания изделий из теста в его второй стадии можно рассматривать как регулярный режим нагревания тел в классической теории нестационарной теплопроводности. Для этого режима функция  $\ln \mathcal{G} = f(\tau)$  изображается прямой линией в полулогарифмических координатах « $\ln \mathcal{G} - \tau$ » (здесь  $\mathcal{G} = t_{np} - t$ ). Одним из условий, при котором функция становится линейной, является условие  $t_{np} = 100^\circ\text{C}$ . Тогда  $\mathcal{G} = 100 - t$ . Данный процесс представлен на рис. 3.

Как указывалось выше, процесс теплопроводности в тестовых заготовках при выпечке изделий сопровождается многими процессами, и, прежде всего, диффузией влаги. Кроме того, физико-химические изменения в заготовке должны приводить к изменению коэффициента температуропроводности  $a$  и других физических свойств.

Выпечка изделий из теста отличается еще и тем, что в процессе тепловой обработки высота изделий возрастает примерно в 1,5 раза. Поэтому оправданно предположить, что закономерности регулярного режима в данном случае не проявляются, что и было первоначально обнаружено при обработке результатов исследований, когда разности температур отсчитывались от температуры греющей среды  $t_{z.c.}$ .

При такой обработке

$$\mathcal{G} = t_{z.c.} - t, \quad \mathcal{G}_0 = t_{z.c.} - t_0,$$

и безразмерная температура равна

$$\theta = \frac{t_{гп} - t}{t_{гп} - t_0}. \quad (6)$$

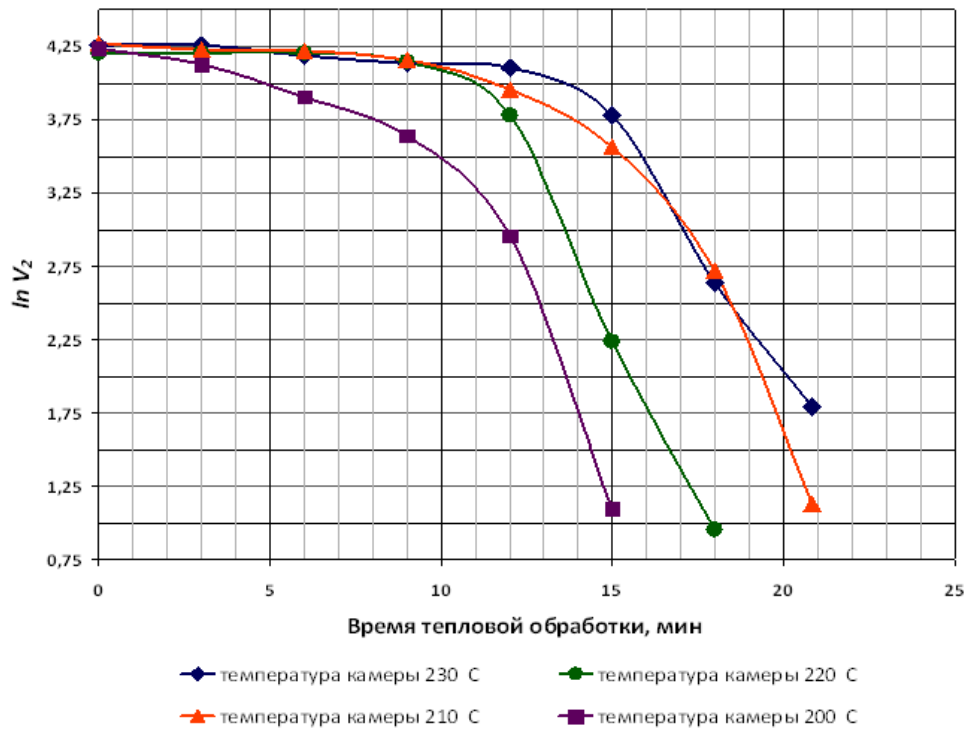


Рис. 3. Графік змінення  $\ln V_2$  від часу теплової обробки без зволоження камери в процесі випечки пшеничного хліба.

Представлення результатів вимірювань з такою безрозмірною температурою показано на рис. 4. В якості визначаючого геометричного розміра системи при цьому прийнята половина висоти изделия ( $h/2$ ).

Як видно з рис. 4, криві  $\theta = f(Fo)$  мають S-образний вигляд, т.е. закономірності регулярного режиму не проявляються, і рівняння (5) не прийнятно.

Однак изделие з теста в якості одного з основних компонентів містить воду в рідкому стані, і кількість вологи, випарованої за час випечки, значно менше її кількості, залишкової в изделиї. Отже, на протязі всього процесу випечки изделие прогрівається до температури, наближеної до 100 °C, залишаючись вологим тілом. При атмосферному тиску температура 100 °C – це температура насичення водяного пару і вода в рідкому стані не може мати температуру вище цього значення.

При температурі на поверхні изделия вище 100°C утворюється корка, в якій вологи знаходиться в паровидному стані. Під коркою існує поверхня, що розділяє рідкий стан вологи від паровидного. При підводі теплоти ззовні відбувається випаровування вологи з изделия, через що поверхня випаровування буде повільно переміщатися всередину, а товщина корки збільшуватися. На цій по-

верхности испарения температура всегда будет постоянной, равной температуре насыщенного пара  $t_n$ .

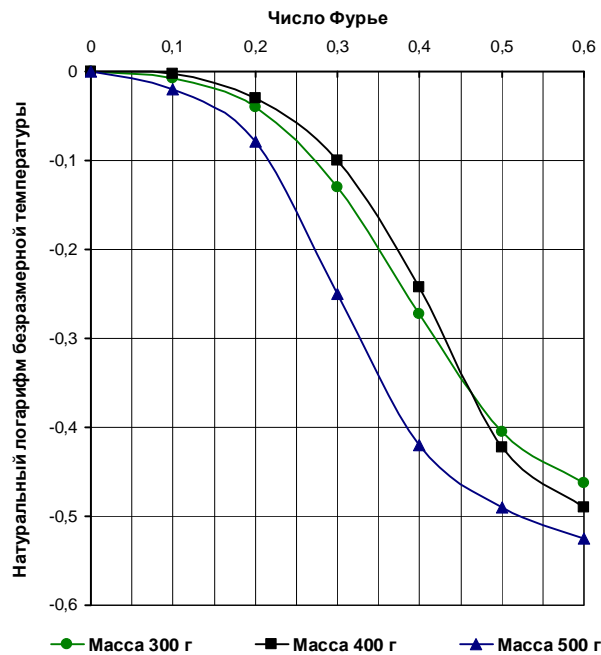


Рис. 4. График зависимости безразмерной температуры от числа Фурье, определяемой в полулогарифмических координатах.

Все это приводит к предложению при рассмотрении нестационарного процесса теплопроводности в изделии из теста нагреваемым телом считать только влажное изделие, включающее воду в жидком состоянии, а корку отнести к окружающей среде. Через корку к нагреваемому изделию передается теплота от греющей среды.

Таким образом, на внешней границе влажного теста (на границе влажной заготовки с сухой коркой) соблюдается условие  $t_{2,c.} = 100^\circ\text{C} = t_n$ . По теории нестационарной теплопроводности это граничное условие аналогично условию  $Bi \rightarrow \infty$ . Поэтому для температурного поля внутри тестовой заготовки в качестве температуры окружающей среды (или предельной температуры) целесообразно принимать  $t_{np} = t_n = 100^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении. Тогда безразмерная температура будет определяться из выражения

$$\theta = \frac{100 - t}{100 - t_o}. \quad (7)$$

Результаты тех же измерений для изделий разной массы с безразмерной температурой, определяемой по формуле (7), в координатах  $\ln \theta = f( Fo )$  представлены на рис. 5.

На рис. 5 видно, что на втором этапе выпечки зависимость логарифма безразмерной температуры от числа Фурье может считаться

прямой линией. Это подтверждает ранее выдвинутое предположение, что процесс нагревания изделий из теста в его второй стадии практически можно рассматривать как регулярный режим нагревания тел в классической теории нестационарной теплопроводности.

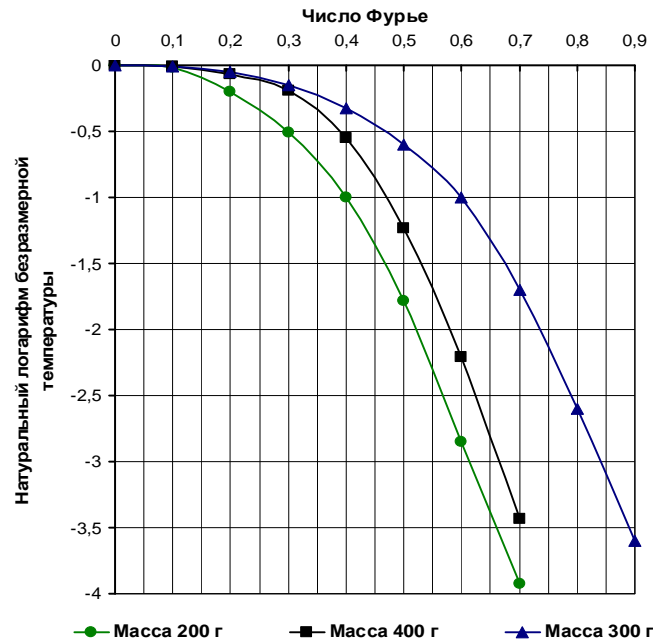


Рис. 5. График зависимости безразмерной температуры от числа Фурье в полулогарифмических координатах для выпекаемых тестовых заготовок разной массы (предварительные данные).

Конечно же, процесс в выпекаемой тестовой заготовке ввиду множества сопутствующих и усложняющих процессов и факторов нельзя считать чистой теплопроводностью. Такой результат может объясняться следующими соображениями.

Во-первых, процесс диффузии влаги в изделии из-за его подсушивания сам приобретает особенности, свойственные регулярному режиму теплопроводности. В этом случае качественная особенность процесса нагревания сохраняется.

Во-вторых, диффузия влаги, изменение теплофизических свойств и другие искажающие факторы играют более слабую роль в процессе прогрева тестовой заготовки, не искажают существенно характер процесса, а вносят искажение влияния в основном на его количественные характеристики, т.е. на значения численных констант в уравнении (5). В целом процесс можно рассматривать как эквивалентную теплопроводность, а уравнение (5) – как приближенное решение, пригодное для инженерных расчетов.

Уравнение (5) является уравнением подобия (критериальным уравнением), которое должно обобщать экспериментальные результа-

ты. Однако на рис. 5 зависимости для изделий различной массы хоть и приобретают в конце вид прямой линии, но заметно расходятся. Это может означать, что в проведенных измерениях нет полного подобия. Первоначально повторение серий измерений показало, что взаимное расположение линий полностью не повторяется. Поэтому, вероятнее всего, что для этих серий причины, вызывающие рассеяние линий для изделий с различной массой, были случайными.

В первую очередь уравнение обобщает результаты для изделий одной формы. Форма исследуемых выпекаемых тестовых заготовок представляет шаровой сегмент с диаметром  $D$  и высотой  $h$ . Высота при этом была в 5-6 раз меньше диаметра. Следовательно, изделие по форме ближе к пластине ограниченных размеров. Поэтому, в качестве определяющего размера при определении числа Фурье нами бала принята половина высоты выпекаемой тестовой заготовки, т.е.  $h/2$ .

В процессе подготовки тестовых заготовок к выпечке соотношение  $D/h$  первоначально не контролировалось и форма изделий могла отличаться. При небольшой высоте тестовой заготовки неточность установки термопары в ее центре также могла давать заметную погрешность. Могла играть роль и неоднородность самого теста в разных тестовых заготовках, обусловленная изменяющимися параметрами расстойки, и другие факторы.

Для устранения влияния этих факторов были приняты меры для более точной установки термопар на половине высоты и в центре по диаметру изделия. В тестовых заготовках были также по возможности выдержаны одинаковые соотношения  $D/h$ .

Результаты этой серии измерений представлены на рисунке 6. Число Фурье при этом вычислялось при определяющем размере, равном половине начальной высоты  $h_n$  тестовой заготовки после расстойки перед помещением в рабочую камеру, т.е.  $h_n/2$ .

Здесь можно наблюдать хорошее совмещение линий, позволяющее объединять данные для изделий разной массы при получении критериального уравнения. Аппроксимация измерений, представленных на рис. 6, показана на рис. 7, и дает следующее уравнение, описывающее процесс прогрева изделия на его второй стадии

$$\theta = 18,3 \cdot e^{-8,98Fo}. \quad (8)$$

Данное уравнение получено для изделий из сдобного теста массой 200...400 г с соотношением диаметра к начальной высоте  $D/h_n \approx 5:1$  и справедливо при  $Fo \geq 0,35$ .

Это уравнение рекомендуется для инженерных расчетов при определении температуры в центре изделий по истечении определенного времени или при определении необходимого времени до достижения заданной температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки.

Уравнение (8) описывает изменение температуры в центре заготовок конкретной формы (шаровой сегмент) с конкретным геометрическим параметром  $D/h_n$ .

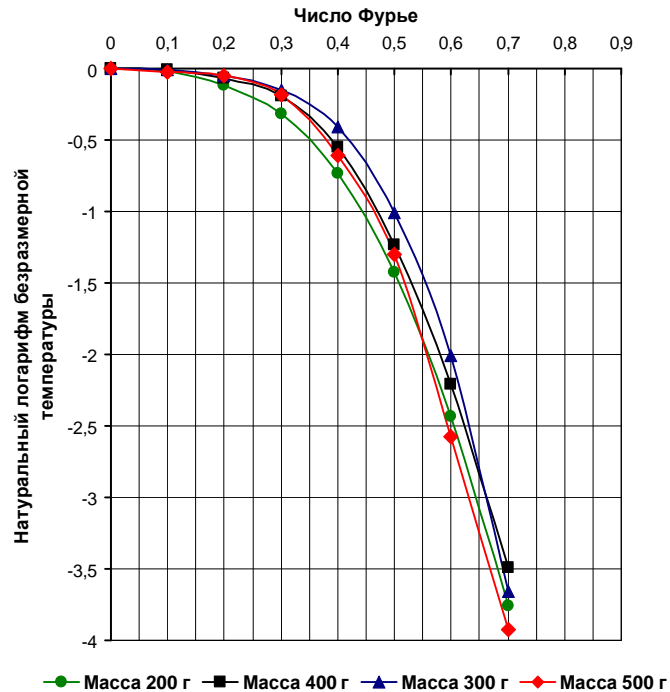


Рис. 6. График зависимости безразмерной температуры от числа Фурье в полулогарифмических координатах для выпечаемых тестовых заготовок разной массы (уточненные данные).

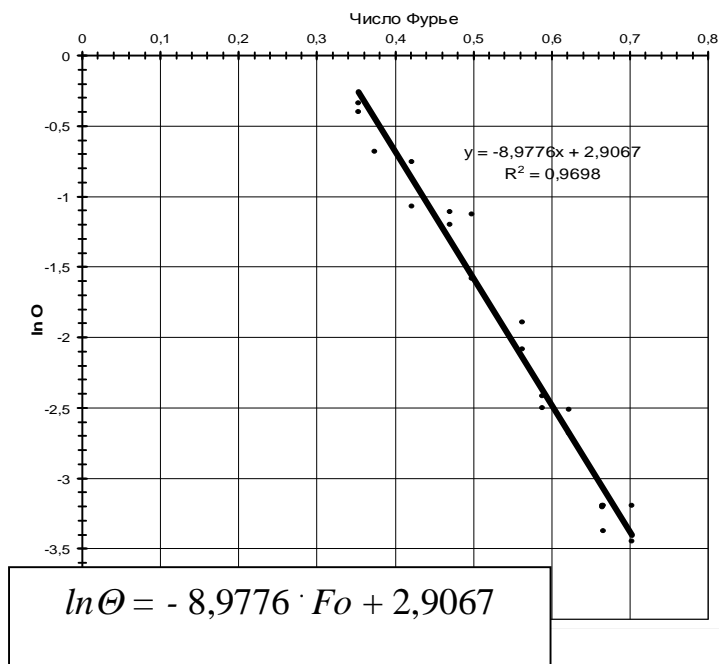


Рис. 7. Результаты аппроксимации экспериментальных данных, представленных на рис. 6.

Для осуществления процессов тепловой обработки пищевых продуктов, в том числе и выпечки изделий из теста, нами совместно с «Гомельским заводом торгового машиностроения» разработан пароконвекционный аппарат инжекторного типа АПК-0,85 (схема представлена на рис. 8), на который получен патент Республики Беларусь на полезную модель, что позволяет снизить зависимость в данном оборудовании от импортных производителей.

Аппарат состоит из корпуса 1, внутри которого расположена теплоизолированная рабочая камера 2, по внутренним боковым стенкам которой расположены направляющие 3 и 4 для гастроемкостей 5 и лампа освещения 6. Днище 7 выполнено с наклоном к центру и имеет патрубок 8 для отвода образующегося конденсата.

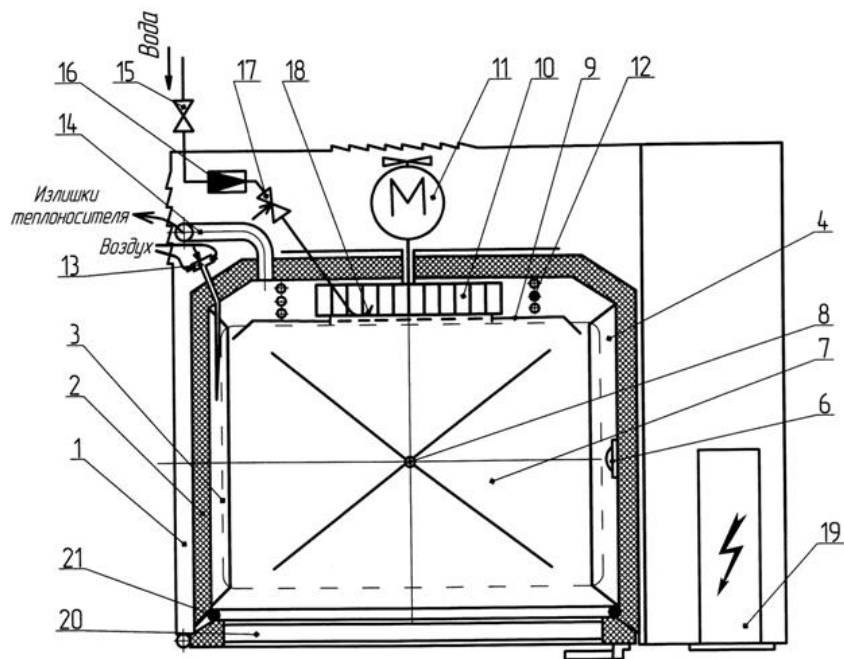


Рис. 8. Инжекторный пароконвектомат.

Вертикальной перегородкой 9 камера условно разделена на переднюю рабочую камеру, где размещаются емкости, и заднюю камеру обогрева, в которой установлены турбина вентилятора 10, приводимая в движение реверсивным электродвигателем 11, и ТЭНы 12, расположенные вокруг турбины.

В рабочей камере 2 на 1/3 ее высоты установлен воздушный патрубок с электромагнитным клапаном 13, предназначенный для подсоса свежего воздуха. На задней стенке камеры под потолком расположен патрубок 14 для отвода излишка теплоносителя. Вентиль 15, редукционный клапан 16 и управляемый электромагнитный клапан 17 служат для подвода воды из системы холодного водоснабжения

внутрь турбины вентилятора 10 через подводящий патрубок 18. Регулировка пароувлажнения рабочей камеры осуществляется с панели управления 19 электрическим сигналом на электромагнитный клапан 17. Рабочая камера закрывается дверцей 20, выполненной в виде разъемного двойного стеклопакета с боковым открыванием. Герметичность закрытия обеспечивается использованием уплотнителя 21, расположенного по всему периметру дверцы.

Пароконвектомат АПК-0,85, оснащенный электронным блоком управления, представленный на рис. 9, позволяет не только точно устанавливать и контролировать параметры технологического процесса, но и программировать циклы приготовления различных кулинарных изделий. Данный аппарат позволяет устанавливать температуру в рабочей камере до 270 °С, уровень относительной влажности воздуха – от 20 до 95%, контролировать температуру внутри продукта с помощью «термозонда».



Рис. 9. Пароконвекционный аппарат АПК-0,85.

*Выводы.* По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- процесс нагрева ВТЗ с течением времени приобретает характер, который практически можно считать регулярным режимом теплопроводности и может аналитически выразиться зависимостью (5);
- предельной температурой, к которой стремится температура внутри влажной ВТЗ, является температура насыщения пара (температура кипения) при данном давлении;



– температура греющей среды не влияет на характер изменения температуры внутри ВТЗ на стадии регулярного режима, она влияет на процесс прогрева ВТЗ в начальный период неупорядоченного режима и на его продолжительность, а также на процессы, происходящие в корке изделия и на его поверхности;

– для инженерных расчетов при определении температуры в центре ВТЗ рекомендуется уравнение подобия (8), которое получено для изделий из сдобного теста массой 200-500 г с соотношением диаметра к начальной высоте  $D/h_n \approx 5:1$  и справедливо при  $Fo \geq 0,35$ .

#### Литература

1. *Гинзбург А.С.* Теплофизические основы процесса выпечки. – М.: Пищепромиздат, 1955. – 475 с.
2. *Михелев А.А.* Расчет и проектирование хлебопекарных печей / *А.А. Михелев, Н.М. Ицкович* – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 568 с.
3. *Фогель В.О.* Аналитическое исследование влияния теплового режима на начальную фазу выпечки хлеба // Труды ВНИИХП. – М.: Пищепромиздат, 1953. – С. 199–208.
4. *Смирнов М.С.* Применение сопряженных задач теплопроводности с подвижной границей к анализу процесса выпечки // Реферативный сборник. Серия: Хлебопекарная, макаронная и дрожжевая промышленность. – М.: ЦИНТИпищепром, 1969. – Вып. 21. – С.15–22.
5. *Лыков А.В.* Теория тепло- и массопереноса / *А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов* – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.
6. *Лисовенко А.Т.* Процесс выпечки и тепловые режимы в современных хлебопекарных печах. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 214 с.
7. *Плаксин Ю.М.* Процессы и аппараты пищевых производств / *Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2006. – 760 с.
8. Технологическое оборудование пищевых производств (лабораторный практикум): Учеб. пособие / *В.Я. Груданов, И.М. Кирик.* Под ред. *В.Я. Груданова.* – Мн.: Изд. центр БГУ, 2005. – 205 с.
9. *Преображенский В.П.* Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». / *В.П. Преображенский.* – 3-е изд., перераб. – М.: «Энергия», 1978. – 704 с.
10. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. РАН *А.В. Клименко* и проф.

*В.М. Зорина.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 564 с.

11. *Исаченко, В.П.* Теплопередача / *В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел.* – 3-е изд. – Москва: Энергия, 1975. – 486 с.

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ТІСТОВИХ ЗАГОТІВОК У ПАРОКОНВЕКТОМАТІ**

Кірік І.М., Кірік А.В.

### *Анотація*

**В статті наведено результати розробки та досліджень універсального теплового апарата для об'єктів громадського харчування – пароконвектомата. Досліджений процес теплопровідності в тістовій заготовці з пшеничної муки. Показано, що при обробці експериментальних даних граничною температурою для внутрішньої маси виробу слід вважати температуру насиченого пара. Отримано критеріальне рівняння для визначення температури в центрі тістової заготовки для інженерних розрахунків.**

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DOUGH THERMAL PROCESSING IN THE STEAM CONVECTION APPARATUS**

**I. Kirik, A. Kirik**

### *Summary*

**In the article the results of the elaboration and research of the universal thermal apparatus for the catering, referred to as steam convector, are cited. The process of heat conductivity in the wheat dough under the baking is investigated. Experimental data processing shows that saturated steam temperature must be considered as temperature limit for inner part of dough. Criterion equation for temperature determination in the dough centre under baking for engineering calculation is derived.**

УДК 664.68

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЧМЕННОЙ МУКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Евдохова Л.Н., к.т.н.,

Рукшан Л.Н., к.т.н.

*Могилевский государственный университет продовольствия*

Тел/факс (0222) 477-808

***Аннотация*** – работа посвящена получению и использованию муки ячменной кондитерской. Предложено использование муки ячменной в рецептурах мучных выпеченных полуфабрикатов в качестве функционального ингредиента. Получены данные об органолептических и физико-химических показателях качества мучных выпеченных полуфабрикатов. Разработана специализированная дегустационная карта для оценки мучных выпеченных полуфабрикатов. Разработаны дескрипторы органолептических показателей качества мучных выпеченных полуфабрикатов и оценена их интенсивность.

***Ключевые слова*** - функциональные продукты, мучные выпеченные полуфабрикаты, ячменная кондитерская мука, бета-глюкан, дескрипторы.

***Постановка проблемы.*** Кондитерская отрасль – одна из наиболее развивающихся отраслей пищевой индустрии Республики Беларусь. Главным и наиболее эффективным инструментом технологического развития кондитерской отрасли являются базовые инновации, создающие принципиально новые технологии и глубокие инновации, качественно развивающие уже существующие технологии.

Мучные кондитерские изделия являются рафинированными и калорийными продуктами. В этих изделиях много легкоусвояемых углеводов, сахара и жира. Несмотря на все эти недостатки данная группа товаров занимает одно из лидирующих мест по реализации среди кондитерских изделий. Торты и пирожные приобретают как периодически (к праздникам), так и импульсивно (перекус). Кроме того, большую группу потребителей этих изделий занимают дети. Поэтому сейчас ученые занимаются вопросами обогащения микро и макронутриентами мучных кондитерских изделий, путем введения в рецептуру витаминных премиксов и нетрадиционного сырья. Однако введение

премиксов в кондитерские изделия не всегда положительно воспринимается потребителем. Поэтому вопрос обогащения мучных кондитерских изделий натуральными источниками полезных веществ является актуальным.

*Анализ последних исследований.* Исследование медицинского центра при Университете Baylor в Далласе /США/ было направлено на выявление новых защитных свойств у продуктов растительного и животного происхождения в чистом виде. На первом месте списка из 27 анализируемых продуктов оказался киви. На второе место американские эксперты поставили ячмень. Третье место заняла клюква, затем – кефир и наконец, в конце списка находится брокколи [1].

Клетчатка нормализует процесс пищеварения и выводит из организма все вредные продукты распада. В состав ячменя входит большое количество минералов и элементов, необходимых нашему организму, а именно фосфор, кальций, калий, цинк, марганец и железо. Так же в состав ячменного зерна входят медь, кремний, никель, молибден, магний, йод, бром, кобальт, стронций и хром. Ячмень очень богат витаминами А, D, E, PP и практически все витамины группы В.

Кроме того, пищевые волокна ячменя состоят преимущественно из группы уникальных водорастворимых пищевых волокон, называемых β-глюканы. Бета-глюкан имеет молекулярную массу около 200 000 и состоит из остатков глюкозы, которые соединены между собой связями типа β-1,4 (70%) и β-1,3 (30%) [2]. Основная цепь бета-глюкана сходна со структурой целлюлозы, но в отличие от нее имеет связи-перегиб в положении (1-3)-β, из-за которых разрушаются водородные связи, типичные для целлюлозы. Вследствие этого β-глюкан растворим в воде, а целлюлоза – нет [3].

Практически весь β-глюкан ячменя находится в эндосперме, где он входит в состав стенок крахмальных зерен и выполняет функцию целлюлозы [4]. Клеточные стенки ячменя содержат до 70 % β-глюкана, а клеточные стенки алейронового слоя – только 20% [3].

Исследования последних лет показали, что β-глюканы играют важную роль в иммунологии. β-глюкан оказывает мощное воздействие на иммунную систему с нарушенным балансом по нескольким направлениям. β-глюкан активизирует иммунную реакцию организма, создавая защитную систему от вирусов, бактерий, грибков, паразитов и канцерогенов. Это, также, сильнодействующий антиоксидант – нейтрализатор свободных радикалов.

В процессе применения бета-глюкана не было выявлено токсичности или побочных действий. Сам бета-глюкан чрезвычайно термостойчив, легко переносит низкие и высокие температуры – даже часы кипячения не разрушают его молекулу.

Еще одним полезным свойством бета-глюкана является его воздействие на процесс пищеварения. Бета-глюкан ограничивает контакт

между пищеварительными ферментами и питательными веществами, уменьшая их поглощение. Медицинские исследования показали, что за счёт вязкой массы, образующейся при частичном растворении клетчатки, в желудочно-кишечном тракте замедляется процесс всасывания веществ, в том числе жиров и углеводов. Одним из результатов является сокращение секреции инсулина организмом, что ведет к снижению жировых отложений. Суточная норма потребления бета-глюканов человеком составляет около 0,75 грамма [5].

Мучные кондитерские изделия отличаются своей рафинированностью и высокой калорийностью. В настоящее время разрабатываются рецептуры с целью снижения калорийности и повышении содержания пищевых волокон в них. Одним из путей увеличения содержания пищевых волокон в мучных кондитерских изделиях является использование муки из зерновых культур с высоким содержанием клетчатки [6]. С этой целью авторами [7] проводились исследования с использованием экструдата из нешелушенных зерновых культур, а высокое содержание незаменимых аминокислот наряду с низкой калорийностью в этом плане открывают широкие возможности использования зерна ячменя.

В Орловском государственном техническом университете было изучено влияние овсяной и ячменной муки на качество бисквитного полуфабриката. Для определения оптимальной дозировки овсяной и ячменной муки ими заменяли 50; 60; 70; 80; 90; 100% пшеничной муки высшего сорта и исследовали полезные свойства бисквитного теста, а также качество готового изделия.

При внесении 50 и 70% ячменной муки в рецептуру ячменного полуфабриката органолептические показатели качества готовых изделий улучшаются. Отмечено, что удельный объем и пористость образцов с ячменной мукой (90 и 100%) ниже, чем контрольного (100% пшеничной муки высшего сорта). Таким образом, наилучшим признан образец с содержанием ячменной муки 70%. Было выявлено, что введение в рецептуру бисквитного теста ячменной и овсяной муки не ухудшает качество бисквитов при хранении. Анализ данных, полученных в ходе исследования, показал, что при использовании ячменной и овсяной муки пищевая ценность готовых изделий повышается. Значительно возрастает доля пищевых волокон, снижается количество сахаров, крахмала. Содержание белков при этом снижается не значительно.

Установлено, что внесение муки нетрадиционных видов в рецептуру бисквитного полуфабриката способствует улучшению аминокислотного скора. Также введение ячменной и овсяной муки в рецептуру бисквитного теста существенно обогащает его минеральный состав [8].

ГосНИИ хлебопекарной промышленности РАСХН разрабатывали технологию хлебобулочных изделий диабетического назначения с

ячменній мукою. Ячменню муку вносили при замесі теста в кількості 10-40% взамен пшеничної муки першого сорту.

Було встановлено, що при додаванні ячменній муки в кількості 10-40% пружність теста збільшувалась на 77-211%, розтяжність зменшувалась на 47-89%. Тесто з ячменній мукою характеризується підвищеною пружністю і недостатньою розтяжністю.

З метою підтвердження діабетических властивостей хліба, приготуваного за розробленою рецептурою і технологією, на базі відділення захворювань обміну речовин Клініки лікувального харчування НІІ харчування РАМН проведені клінічні випробування хлібобулочних виробів з ячменній мукою.

Встановлено, що рівень глюкози в крові через 30; 60; 20 хв після вживання хлібобулочних виробів з ячменній мукою збільшився в меншій ступені (в середньому на 29,1%; 50,9%; 28,9% від вихідного рівня відповідно), ніж після вживання пшеничного хліба (в середньому на 52,0%; 96,9% і 66,2% від вихідного рівня відповідно). Глікемічний індекс хлібобулочних виробів з ячменній мукою склав 55,5%. Результати клінічних досліджень дозволяють рекомендувати використання в харчуванні хворих цукровим діабетом типу два хлібобулочних виробів з ячменній мукою для зниження глікемічного індексу дієти з метою зменшення ризику розвитку судинних ускладнень при цьому захворюванні [9].

*Формулювання цілей статті (постановка завдань).* Мета роботи – вивчити товарознавчо-технологічні властивості ячменній кондитерської муки, провести експериментальні дослідження і розробити нові рецептури випечених полуфабрикатів (песочний і бісквітний) для подальшого його використання в мучних кондитерських виробах (торти і пирожки) функціонального призначення.

Суть роботи полягає в виявленні можливості використання ячменній муки кондитерської в рецептурах випечених полуфабрикатів, з метою збагачення тортів і пирожків цінним харчовим волокном – бета-глюканом.

Були поставлені наступні завдання дослідження:

- дослідження продуктів розмолу зерна ячменя;
- експериментальна розробка рецептур випеченого бісквітного і песочного полуфабрикатів збагачених мукою ячменній кондитерської;
- експериментальна розробка дескрипторів органолептичних показників якості мучних випечених полуфабрикатів.

*Основна частина.* Помол зерна ячменя проводили на лабораторній мельничній установці типу МЛУ-202. При цьому лабораторна установка МЛУ-202 була налаштована (за допомогою установки сит) таким чином, що при однократному пропуску через три драні і три розмольні сис-

темы получался выход муки 65% на сухое вещество (мука особая), а при дополнительном пропуске размольных отрубей ячменя выход муки составлял 87% (мука обдирная). Дополнительный пропуск осуществляли путем ручной подачи размольных отрубей на рассев первой драной системы. Нагрузка на первую драную систему согласно равнялась 5 кг/м.

На основании анализа фракционного состава продуктов размола установили, что в продуктах размола ячменя присутствует достаточно мелкая и низкочольная фракция ячменной муки. Схема помола ячменя, с целью получения кондитерской муки, принципиально не отличается от сортового помола. Усовершенствование провели на этапе сортирования круподунстовых продуктов на I и II драных системах. Ячменная кондитерская мука выделяется на I и II драных системах проходом шелкового сита №58. В результате размола получены три потока ячменной муки. Первый и третий потоки муки соответствовали по качеству муке особой и обдирной, соответственно. Второй поток ячменной муки имел качество отличное от двух предыдущих (таблица 1). Этот сорт ячменной муки классифицировали как кондитерскую.

Таблица 1 – Показатели качества ячменной муки

Наименование показателя	Характеристика и норма		
	Мука хлебопекарная		Мука кондитерская
	«Особая Бобруйская»	«Обдирная Бобруйская»	
Влажность, % не более	15,0	15,0	13,0
Зольность в пересчете на сухое вещество, % не более	0,90	1,25	0,75
Крупность, %: - остаток на сите, не более из шелковой ткани №27	2 -	- 2	- -
Крупность, %: - остаток на сите, не более из шелковой ткани №27 из проволочной сетки по ТУ 14-4-1374 из шелковой ткани №38	2 -	- 2 /сетка№067/ -	- - 2
- проход через сито, не менее из шелковой ткани №38 из шелковой ткани №58	75 -	25 -	- 85

Мука «кондитерская» получила свое название по аналогии с пшеничной, так как содержит пониженное количество белка и повышенное количество мелкодисперсных частиц.

Так как ячменная мука позиционируется нами как природный источник  $\beta$ -глюкана, то были проведены исследования по определению содержания  $\beta$ -глюкана в ячменной муке. Выявлено, что в ячменной муке увеличивается содержание  $\beta$ -глюкана по сравнению с зерном. Максимальное содержание  $\beta$ -глюкана определено в муке кондитерской 4,20%, в муке особой - 2,9%, а в муке обдирной  $\beta$ -глюкана содержится 1,8%, в то время как в зерне содержание  $\beta$ -глюкана составляет в среднем 1,15%.

Кондитерскую ячменную муку вводили в рецептуру бисквитного полуфабриката в составе композитных смесей (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Состав композитных смесей

Наименование вида муки	Состав смеси, %				
	№1	№2	№3	№4	Контроль
Ячменная кондитерская	100	80	50	30	-
Пшеничная высший сорт	-	20	50	70	100

Установлено, что по органолептическим показателям выпеченный бисквитный полуфабрикат удовлетворял требованиям СТБ 961-2005 [10] на данный вид изделий при использовании смеси №2, №3 и №4. При использовании 100% ячменной муки полуфабрикат получался с чрезмерной пористостью и не характерного цвета.

По итогам лабораторных испытаний была разработана рецептура бисквитного полуфабриката. В рецептуру внесли ячменной кондитерской муки 50% от общей массы муки.

Кондитерскую ячменную муку вводили в рецептуру песочного полуфабриката так же в составе композитных смесей (см. таблицу 3).

Установлено, что по органолептическим показателям выпеченный песочный полуфабрикат удовлетворял требованиям СТБ 961-2005 [10] на данный вид изделий при использовании смеси №3 и №4. При введении 70% и 100% ячменной муки в рецептуру полуфабрикат имел посторонний запах и не характерный цвет.

Таблица 3 – Состав композитных смесей

Наименование вида муки	Состав смеси, %				
	№1	№2	№3	№4	Контроль
Ячменная кондитерская	100	70	50	30	-
Пшеничная высший сорт	-	30	50	70	100



По итогам лабораторных испытаний была разработана рецептура песочного полуфабриката. В рецептуру внесли ячменной кондитерской муки 50% от общей массы муки.

Кроме того была проведена производственная проверка разработанных рецептур. Производственные испытания нового вида выпеченного полуфабриката проводились в кондитерском цеху ТГК «МогилевТурист», г. Могилева. Выпеченный обогащенный бисквитный полуфабрикат использовали в рецептуре пирожного «Бисквитного» со сливочным кремом (рецептура №266 [11]). Слои бисквитного полуфабриката соединялись фруктовой начинкой, а поверхность отделялась сливочным кремом. А выпеченный обогащенный песочный полуфабрикат использовали в рецептуре пирожного «Песочное» (рецептура №297 [11]). Слои песочного полуфабриката соединялись фруктовой начинкой, а поверхность глазировалась сахарной помадой.

Для определения сенсорных характеристик выпеченных полуфабрикатов использовали метод профилирования с применением дескриптивного анализа результатов, основанный на требованиях Международных стандартов ИСО [12, 13].

В дегустации выпеченных полуфабрикатов участвовали 10 человек. Все испытатели были ознакомлены с правилами проведения дегустации продукта и кроме того была проведена оценена их сенсорной чувствительности согласно методике предложенной в ГОСТ Р ИСО 8586-1 [14]. При дегустации в качестве образца для сравнения взят выпеченный полуфабрикат с использованием только пшеничной муки высшего сорта.

Нами была разработана специализированная дегустационная карта для оценки выпеченных полуфабрикатов. В карте испытателям предлагалось высказать согласие (несогласие) с выбранными нами показатели качества, а так же оценить ранг каждого органолептического показателя качества. Данная процедура проводилась с целью оценки правильности предложенных органолептические показатели качества и конкретизации наиболее важного из выбранных показателей.

По итогам ранжирования органолептических показателей ранги распределились следующим образом:

- 1 ранг – флейвор (общая оценка вкусоности);
- 2 ранг – запах;
- 3 ранг – пористость;
- 4 ранг - внешний вид и цвет.

Так же испытателям предлагалось оценить интенсивность проявления каждого из органолептических показателей качества. Для этого использовали «метод семи главных точек» [15]. Эксперты фиксируют качественные различия показателей, присваивая им, определенные градации качества. Каждому проявлению интенсивности показателя качества было составлено словесное описание. Так как наиболее важным по

мнению испытателей является показатель флейвора, то приведем в таблице 4 качественные различия данного показателя.

Таблица 4 – Качественное описание интенсивности проявления флейвора выпеченных полуфабрикатов

Интенсивность	Качественное описание
1	2
0	Безвкусный, пресный не имеющий характерного вкуса и (или) флейвора
1	Слабый вкус с гораздо более низким вкусом и (или) флейвором, чем ожидается
2	Нейтральный вкус- отсутствие ярко выраженных вкусовых характеристик
3	Невыразительный вкус, восприятие ниже ожидаемого органолептического уровня
4	Хороший флейвор
5	Отличный флейвор
6	Отличный вкус запах

На рис. 1 и 2 представлены усредненные сенсорные оценки органолептических показателей качества выпеченных полуфабрикатов с использованием ячменной кондитерской муки.

Из рисунков видны качественные различия органолептических показателей различных рецептур с использованием ячменной кондитерской муки. Так в песочном полуфабрикате при введении в рецептуру 70% и 100% ячменной муки ухудшались все органолептические дескрипторы, однако при введении 50% и 30% ячменной муки кондитерской в рецептуру органолептические дескрипторы практически не отличались от контрольного образца.

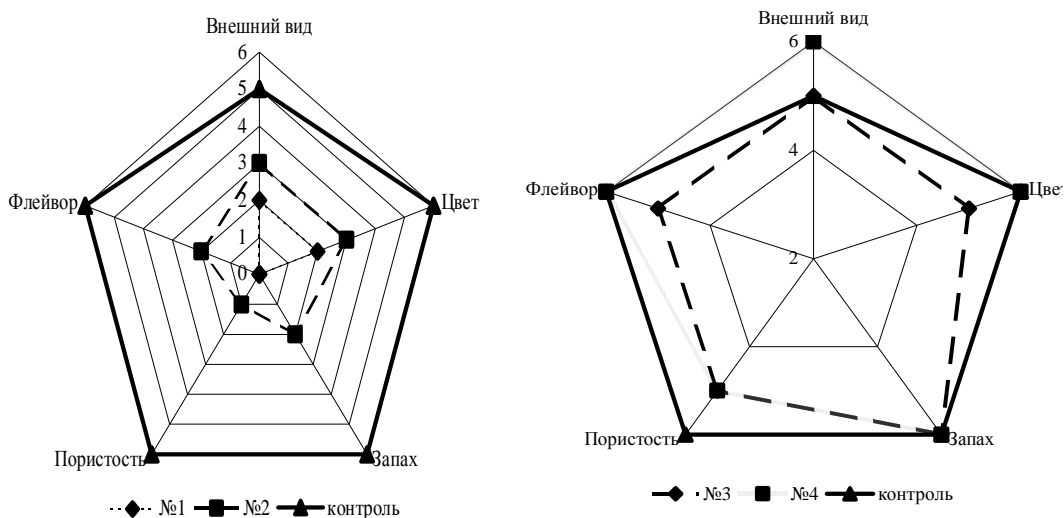


Рис. 1. Оценка интенсивности органолептических показателей качества песочного полуфабриката.

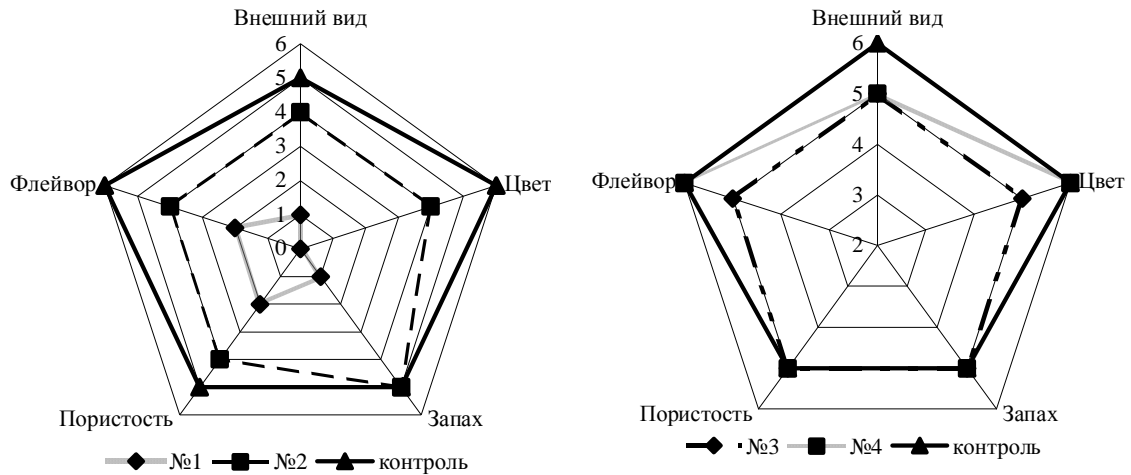


Рис. 2. Оценка интенсивности органолептических показателей качества бисквитного полуфабриката.

Аналогичная ситуация видна и в случае с бисквитным полуфабрикатом. Практически отсутствие интенсивности дескрипторов наблюдается при введении 100% ячменной кондитерской муки в рецептуру бисквитного полуфабриката, но использование 50% ячменной муки в рецептуре не оказывает снижения интенсивности органолептических дескрипторов.

*Выводы.* Таким образом, экспериментально доказана возможность использования ячменной муки кондитерской в рецептурах мучных кондитерских изделий. Проведена оптимизация рецептур мучного выпеченного бисквитного и песочного полуфабриката обогащенного мукой ячменной кондитерской. Проведена апробация разработанных рецептур выпеченных полуфабрикатов (бисквитного и песочного) с заменой 50% пшеничной муки высшего сорта на ячменную муку кондитерскую.

Установлено, что оптимальная замена пшеничной муки высшего сорта на ячменную муку кондитерскую в выпеченных бисквитном и песочном полуфабрикатах является 50%. Данная замена не влияет на органолептические характеристики изделия и позволит обогатить мучные кондитерские изделия (торты и пирожные) ценным пищевым волокном – бета-глюканом.

Нами разработаны дескрипторы органолептических показателей качества (внешний вид, цвет, запах, пористость, флейвор) мучных выпеченных полуфабрикатов, которые можно с успехом использовать при работе дегустационных комиссий.

Считаем ячменную муку перспективным натуральным источником витаминов и минералов, а так же натурального пищевого волокна – бета-глюкана. Использование ячменной муки в рецептурах мучных кондитерских изделий позволит увеличить ассортимент тортов и пирожных и кроме того позиционировать эти изделия как «изделия функционального назначения».

## Литература

1. Цандекова, О. Л. Сравнительная характеристика некоторых показателей питательной ценности зерна скороспелых ячменей / О. Л. Цандекова, О. А. Неверова // *Зерновое хозяйство*. – 2008. – № 7. – С.18–20.
2. Ермакова, П. И. Методы биохимического исследования растений / П. И. Ермакова, В. В. Арасимович, М. И. Смирнова [и др.] – М.: Колос, Ленинградское отделение, 1972. – 456 с.
3. Доронин А.Ф., Ипатова Л.Г., Кочеткова А.А., Нечаев А.П., Хуришудян С.А., Шубина О.Г. Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии. / Под ред. А.А. Кочетковой. – М.: ДеЛиПринт, 2009. – 288 с.
4. Рукшан Л.В., Евдохова Л.Н. Качество ячменной муки / Инновационные направления в пищевых технологиях // *Материалы III международной научно-практической конференции 29-30 октября 2009 г., Пятигорск, РИА-КМВ*, 2009. – 348 с. – С.62–64.
5. Василенко, И. И. Оценка качества зерна: справ. / И. И. Василенко, В. А. Комаров. – М.: Агропромиздат, 1987. – 208 с.
6. Ильина О.С. Пищевые волокна – важнейший компонент хлебобулочных и кондитерских изделий // *Хлебопродукты*. – 2002. – № 9. – С.35.
7. Производство и исследование полуфабрикатов экструдирования из нешелушенных зерновых культур / Г.О. Магомедов, А.Ф. Брехов, А.Я. Олейникова, Б.А. Фалькович, О.А. Сергеенко // *Хранение и переработка с-х. сырья*, 2003. – № 3. – С.58.
8. Матвеева, Т.В., Корячкина, С.Я., Корячкин, В.П. Влияние овсяной и ячменной муки на качество бисквитного полуфабриката / Т.В. Матвеева [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – №6. – С.74–77
9. Косован, А. П., Шлеленг, Л.А., Тюрина, О.Е. Технология хлебобулочных изделий диабетического назначения с ячменной мукой / А.П. Косован [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2010. – 7. – С.54–57
10. Торты и пирожные общие технические условия: СТБ 961-2005. – Введ. 24.06.2005. – Мн.: Госстандарт РБ, 2005. – 15 с.
11. Сборник технологических карт кондитерских и булочных изделий – Мн.: ООО «НИЦ-БАК». 2007. – 736 с.
12. Органолептический анализ. Методология. Методы профильного анализа Флейвора: СТБ ИСО 6564-2007. – Введ. 31.01.2007. – Минск: Госстандарт РБ, 2007. – 9 с.
13. Органолептический анализ. Методология. Профиль текстуры: СТБ ИСО 11036-2007. – Введ. 31.01.2007. – Мн.: Госстандарт РБ, 2007. – 19 с.
14. Органолептический анализ. Общее руководство по отбору

обучению испытателей и контролю за их деятельностью. Отобранные испытатели: ГОСТ Р ИСО 8586-1-2008. Введ. 18.12.2008. – М.: Стандартинформ, 2009. – 18 с.

15. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Обработка значений экспертных оценок качества продукции: ГОСТ 23554.2-81. Введ. 30.09.81. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 62 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ ЯЧМІННОЇ МУКИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МУЧНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОЇ СПРЯМОВАНОСТІ**

Євдохова Л.М., Рукшан Л.М.

### *Анотація*

**Робота присвячена отриманню та використанню муки ячмінної кондитерської. Запропоновано використання муки ячмінної в рецептурах мучних випечених напівфабрикатів у якості функціонального інгредієнта. Отримані дані про органолептичні та фізико-хімічні показники якості мучних випечених напівфабрикатів. Розроблена спеціалізована дегустаційна карта для оцінки мучних випечених напівфабрикатів. Розроблені дескриптори органолептичних показників якості мучних випечених напівфабрикатів і оцінена їх інтенсивність.**

## **BARLEY FLOUR USE FOR CREATION THE CONFECTIONERY PRODUCTS WITH FUNCTIONAL PROPERTIES**

L. Evdohova, L. Rukshan

### *Summary*

**Barley contains valuable amino acid composition of proteins, mucus, rich in active enzymes, has a higher content of dietary fiber. Dietary fiber barley consists mainly of a group of unique water-soluble fiber called beta-glucans. Beta-glucan activates the immune response, creating a protective system against viruses, bacteria, fungi, parasites and carcinogens. It is also potent antioxidant - a converter of free radicals. In the production of barley flour a large part of the beta-glucan barley grain becomes flour. To study the possibility of using barley flour confectionery in the production of flour confectionery products were carried out test baking. The possibility of using barley flour confectionery in the composite mixture in the production of flour confectionery functionality. These products are recommended for the prevention and dietary needs, both for adults and children.**

УДК 631.374:636.085

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАГРУЗКИ БУНКЕРА СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА С ВЫХОДНЫМ КЛАПАНОМ-РАССЕКATEЛЕМ**

Чиркин В.П., к.т.н.,

Богуслов С.В., инженер.

*Могилевский государственный университет продовольствия*

Тел (+375 222) 485761

**Аннотация** – работа посвящена новому способу загрузки бункера с помощью распределительного телескопического материалопровода, снабженного клапаном-рассекателем на выходе и теоретическим исследованиям по определению времени загрузки новым и традиционным способом.

**Ключевые слова** – пневматический транспорт, телескопический материалопровод, бункер, клапан – рассекатель, разгрузитель, массовая расходная концентрация аэросмеси, сыпучий материал.

**Постановка проблемы.** В настоящее время бункерные хранилища загружаются сыпучим материалом с помощью механического или пневматического транспорта. В известном способе пневматической загрузки бункеров (рис. 1(а)) сыпучий материал транспортируется по вертикальному материалопроводу, выделяется в разгрузителе и загружается в бункер [1, 2]. Недостатком такого способа загрузки является то, что материал независимо от его количества в бункере необходимо постоянно поднимать на высоту бункера и разгрузителя, что приводит к снижению производительности загрузки и, как следствие, к увеличению энергозатрат.

Нами предложен [3, 4] новый способ пневматической загрузки бункеров сыпучим материалом, при котором сокращение времени загрузки, а также повышение производительности происходит за счет уменьшения потерь давления аэросмеси.

**Формулировка целей работы.** Цель работы – определение времени загрузки бункера сыпучим материалом с помощью распределительного телескопического материалопровода.

**Основная часть.** Устройство для осуществления этого способа, представленное на рис. 1(б), содержит клапан-рассекатель на выходе

распределительного телескопического трубопровода.

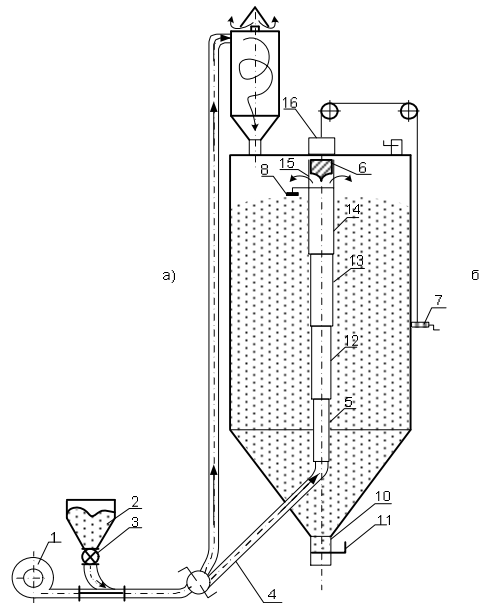


Рис. 1. Устройство для пневматической загрузки бункера сыпучими материалами: а – известный способ загрузки бункеров; б – новый способ загрузки бункеров.

Устройство содержит источник сжатого воздуха в виде вентилятора 1 высокого давления, емкость 2, питатель 3, загрузочный транспортный трубопровод 4, распределительный телескопический трубопровод 5 с клапаном 6 и лебедкой 7, подвижный датчик уровня 8, бункер 9, выпускной патрубков 10 с затвором 11.

Распределительный телескопический трубопровод 5 состоит из входящих друг в друга нижнего 12, промежуточных 13 и верхнего 14 патрубков, при этом нижний патрубок 12 меньшего диаметра соединен с загрузочным транспортным трубопроводом 4, а последний верхний патрубок 14 с помощью стержней 15 с клапаном 6 и лебедкой 7. В верхней части бункера 9 расположен кнопочный выключатель 16.

Устройство работает следующим образом. Сыпучий материал, например пшеница, поступает в приемный бункер 2. Из приемного бункера 2 пшеница направляется в питатель 3 и с помощью сжатого воздуха, поступающего от вентилятора 1, подается в загрузочный транспортный трубопровод 4, а затем в распределительный телескопический трубопровод 5, который в начальный период загрузки находится в собранном виде. Сыпучий материал, пройдя телескопический воздухопровод 5, высыпается в бункер 9 через отверстия между патрубком 14 и клапаном 6. При заполнении приемной емкости 9 материалом выше подвижного датчика уровня 8 происходит включение цепи управления приводом вертикального перемещения клапана 6 и телескопического трубопровода 5, в результате чего электродвигатель лебедки поднимает клапан 7 и патрубки 12, 13 и 14 телескопического

трубопровода 5 выше. Процесс повторяется до полной загрузки бункера 9. В верхнем положении клапан нажимает на конечный кнопочный выключатель 16, который отключает электродвигатель лебедки 7. После выгрузки сыпучего материала из бункера 9 включается электродвигатель лебедки 7 на реверс, и клапан 6 с патрубками телескопического трубопровода 5 под действием собственного веса возвращаются в исходное положение. Как показали проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования [3], время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода почти в два раза меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. При этом производительность загрузки бункера увеличивается.

При загрузке бункера пневмотранспортными установками (см. рис. 1) необходимо регулировать подачу материала из емкости 2 через шлюзовый затвор 3 в пневмотранспортную сеть. В начальный период загрузки подача материала должна быть максимальной, а в конце загрузки – минимальной. Это можно осуществить путем регулирования частоты вращения ротора шлюзового затвора.

При загрузке бункера пневмотранспортными установками нагнетающего типа и аэрозольтранспортными установками, происходит саморегулирование загрузки бункера. В начальный период загрузки в “сопло” всасывающей-нагнетающей установки при минимальной высоте телескопического материалопровода, ввиду малого сопротивления пневмотранспортной сети, будет поступать большее количество материала, чем в конечный период загрузки при наибольшей высоте телескопического материалопровода.

Клапан 6 в описанном устройстве выполнен цельным. Если его выполнить полым и разместить в нем диафрагму, тогда клапан можно использовать в качестве датчика для включения цепи управления приводом вертикального перемещения телескопического трубопровода. На рис. 2 изображен вариант изготовления такого клапана. Клапан 6 состоит из основания 1, выполненного в виде рассекателя потока с отверстиями 2 с фильтрами 3 для пропуска воздушного потока. В полости клапана 6 расположена упругая диафрагма 4 с контактом 5 и контакт 6, соединенный с электродвигателем лебедки 7 (см. рис. 1).

Клапан 6 работает следующим образом. Транспортирующий воздух, проходя через фильтры 3 отверстий 2, прогибает диафрагму 4 и замыкает контакты 5 и 6. При этом включается электродвигатель лебедки 7, которая поднимает клапан 6 выше. Процесс повторяется до полной загрузки бункера 2. В верхнем положении клапан 6 нажимает на конечный кнопочный выключатель 16, который отключает электродвигатель лебедки 7. После выгрузки сыпучего материала из бункера 9, включается электродвигатель лебедки 7 на реверс, и клапан 6 с



патрубками телескопического трубопровода 5 под действием собственного веса возвращаются в исходное положение.

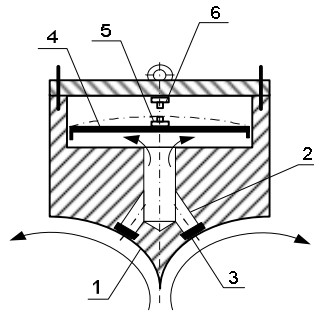


Рис. 2. Клапан.

В начальный период загрузки бункера 6 сыпучим материалом патрубки телескопического трубопровода входят один в другой, поэтому значительно снижается высота подъема материала, что приводит к снижению потерь давления аэросмеси в распределительном трубопроводе и, как следствие, к увеличению производительности загрузки бункера.

Известно, что производительность загрузки в зависимости от длины транспортирования или высоты подъема материала изменяется по линейной зависимости.

При выгрузке сыпучего материала из барж с помощью пневмоперегрузателей всасывающе-нагнетательного принципа действия происходит саморегулирование производительности загрузки материала в бункер, т.е. в начале загрузки материала в бункер, когда распределительный телескопический находится в собранном виде, из-за уменьшения высоты подъема материала производительность загрузки бункера увеличивается, затем по мере подъема телескопического трубопровода производительность загрузки снижается. Аналогичный процесс происходит при выгрузке муки из автомуковозов.

При выгрузке бункера с помощью пневмотранспортных установок нагнетающего принципа действия необходимо производить регулирование подачи материала в приемное устройство пневмотранспортной установки: увеличение подачи материала в начальный период загрузки и постепенное его уменьшение с увеличением высоты загрузки. Этого можно достичь путем изменения частоты вращения ротора питателя или путем тарировки задвижки, установленной над питателем.

Нами проведены теоретические исследования, которые показали, что время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. При этом производительность загрузки бункера увеличивается.

Так как при традиционном способе загрузки бункеров необходимо транспортировать весь материал на высоту, превышающую вы-

соту бункера и разгрузителя, то в действительности выигрыш во времени и в производительности при новом способе загрузки бункеров оказывается даже больше. Если принять допущение, что в основном материал будет транспортироваться по вертикальному материалопроводу при традиционном способе загрузки и по распределительному телескопическому материалопроводу при новом способе загрузки, то время загрузки уменьшится а производительность увеличится примерно в 2 раза.

При традиционном способе загрузки бункеров сверху с помощью материалопроводов, расположенных вне бункера и разгрузителя, установленного на его крышке, высота подъема материала  $H$ , а значит производительность и время загрузки – величины постоянные [2]. При загрузке бункера снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода и рассекателя потока происходит изменение высоты подъема материала (высоты материалопровода) [3]. Определим, как в этом случае будет изменяться время загрузки в процессе заполнения бункера. Для этого найдем вначале изменение высоты подъема материала от времени

$$h(t) = \frac{1}{\rho_v S \sigma_0} \int_0^t G(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $G(t) = \rho_0 Q \mu(h)$  – производительность загрузки бункера, а  $\mu(h)$  определяется по формуле

$$\mu(h) = \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{h \left( \kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_0 g \frac{v_B}{v_B - v_S} \right)}, \quad (2)$$

полученной из выражения

$$\mu = \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} H}{H \left( \kappa \Delta p_{в.уд} + \rho_0 g \frac{v_B}{v_B - v_S} \right)} \quad (3)$$

для вычисления массовой расходной концентрации аэросмеси  $\mu$  при традиционном способе загрузки бункера. При этом выражение (3) является следствием известного соотношения

$$\Delta p = \left( \Delta p_{в.уд} (1 + \kappa \mu) + \rho_0 g \mu \frac{v_B}{v_B - v_S} \right) H$$

для вычисления потери давления аэросмеси в вертикальном материалопроводе [2, 5],

где  $\Delta p_{в.уд}$  – удельные гидравлические потери при движении воздушного потока на вертикальном участке материалопровода высотой 1 м;

$\kappa$  – коэффициент Гастерштадта;

$\mu$  – массовая расходная концентрация аэросмеси, кг/кг.

$\rho_o$  – плотность стандартного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v_B$  – скорость воздушного потока, м/с;

$v_s$  – скорость витания частиц, м/с.

Дифференцируя (1), получаем

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{G(t)}{\rho_v S_{\delta}} = \frac{\rho_o Q}{\rho_v S_{\delta}} \mu(h). \quad (4)$$

Подставив (2) в (4), получим

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\delta}} \times \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{h(\kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_o \cdot g \frac{v_B}{v_B - v_s})}. \quad (5)$$

Далее для сокращения записей положим

$$A = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\delta}} \times \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{\kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_o \cdot g \frac{v_B}{v_B - v_s}}, \quad B = \Delta p, \quad C = \Delta p_{в.уд}.$$

Тогда (5) переписется следующим образом

$$\frac{dh}{dt} = A \cdot \frac{B - Ch}{h},$$

откуда

$$dt = \frac{1}{A} \cdot \frac{h}{B - Ch} dh = \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{B - Ch} - 1 \right) dh,$$

т.е.

$$dt = \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{B - Ch} - 1 \right) dh.$$

Интегрирую обе части последнего равенства, получим

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{AC} \left( \int \frac{B}{B - Ch} dh - \int dh \right) = \frac{1}{AC} \left( -\frac{B}{C} \int \frac{d(B - Ch)}{B - Ch} - h \right) = \\ &= \frac{1}{AC} \left( -\frac{B}{C} \ln|B - Ch| - h \right) + C_1 = -\frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + C_1, \end{aligned}$$

т.е.

$$t = \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + C_1. \quad (6)$$

Постоянную  $C_1$  найдем из начального условия  $h(0) = h_0$ :

$$0 = -\frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right) + C_1,$$

откуда

$$C_1 = \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right).$$

Подставляя найденную постоянную  $C_1$  в (6), получим

$$t = -\frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right),$$

откуда

$$t = \frac{1}{AC} \left( \frac{B}{C} \ln \frac{B - Ch_0}{B - Ch} - (h - h_0) \right). \quad (7)$$

Полагая в (7)  $h = H$ , получим формулу

$$T_{h_0} = \frac{1}{AB} \left( \frac{B}{C} \ln \frac{B - Ch_0}{B - CH} - (H - h_0) \right) \quad (8)$$

для нахождения времени заполнения бункера высотой  $H$ , заполненного в начальный момент до уровня  $h_0$ .

Если в начальный момент загрузки бункер был пуст, т.е.  $h_0 = h(0) = 0$ , то из (8) вытекает

$$T_0 = \frac{1}{AB} \left( \frac{B}{C} \ln \frac{B}{B - CH} - H \right) \quad (9)$$

времени заполнения бункера высотой  $H$ .

Если положить

$$D = \kappa \Delta p_{\text{в.уд.}} + \rho_o g \frac{v_B}{v_B - v_S},$$

то

$$A = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\sigma} D},$$

откуда и из (9) следует

$$T_0 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left( \frac{B}{C} \ln \frac{B}{B - CH} - H \right).$$

Последнюю формулу можно записать более компактно, если ввести новый параметр  $E = \frac{C}{B}$

$$T_0 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left( \frac{1}{E} \ln \frac{1}{1 - EH} - H \right). \quad (10)$$

Из (9) следует, что  $1 - EH > 0$ , откуда, учитывая  $H > 0$ , находим область определения функции  $T_0(H)$ :

$$H \in \left( 0; \frac{1}{E} \right) = \left( 0; \frac{\Delta p}{\Delta \rho_{\text{в.уд.}}} \right).$$

Ясно, что время  $T_0$  загрузки бункера снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода меньше времени  $T_1$  заполнения бункера традиционным способом. Для нахождения разности  $T_1 - T_0$  воспользуемся известной [2, 5] формулой (для упрощения

расчетов объем днища бункера не учитывается)

$$T_1 = \frac{\rho_v \cdot H \cdot S_{\bar{\sigma}}}{\rho_o \cdot \mu \cdot Q}, \quad (11)$$

где  $\rho_v$  – объемная масса материала, кг/м<sup>3</sup>;

$S_{\bar{\sigma}}$  – площадь сечения бункера, м<sup>2</sup>;

$Q$  – подача (расход) воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – высота материалопровода, м.

Формула (11), используя легко выводимые из (3) соотношения

$$\mu = \frac{B - CH}{HD},$$

можно преобразовать к виду

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\rho_v HS_{\bar{\sigma}}HD}{\rho_o Q(B - CH)} = \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}DH^2}{\rho_o Q(B - CH)} = \\ &= \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}DH^2}{\rho_o QB(1 - \frac{C}{B}H)} = \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}DH^2}{\rho_o QB(1 - EH)}, \end{aligned}$$

т.е.

$$T_1 = \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}DH^2}{\rho_o QB(1 - EH)}. \quad (12)$$

Тогда из (10) и (12) следует

$$\begin{aligned} T_1 - T_0 &= \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}D}{\rho_o QB} \left( \frac{H^2}{1 - EH} + H - \frac{1}{E} \ln \frac{1}{1 - EH} \right) = \\ &= \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}D}{\rho_o QB} \left( \frac{H^2}{1 - EH} + H + \frac{1}{E} \ln |1 - EH| \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Формулу (13), используя равенство  $E = \frac{C}{B}$  можно записать в другой форме

$$T_1 - T_0 = \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}D}{\rho_o QB} \left( \frac{BH^2}{B - CH} + H + \frac{B}{C} \ln \frac{B - CH}{B} \right). \quad (14)$$

Так как производная

$$(T_1 - T_0)' = \frac{\rho_v S_{\bar{\sigma}}D}{\rho_o QB} \cdot \frac{H((E^2 - E)H + 2 - E)}{(1 - EH)^2}$$

функции  $(T_1 - T_0)(H)$  в области её определения

$$H \in (0; \frac{1}{E}) = (0; \frac{\Delta p}{\Delta \rho_{в.уд}})$$

всегда положительна, то функция  $(T_1 - T_0)(H)$  является возрастающей на интервале  $(0; \frac{1}{E})$ .

Таким образом, время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. Причём, чем больше высота бункера, тем больше выигрыш во времени, который определяется по формулам (13) или (14). В последнее время нами предложены установки, позволяющие осуществлять пневматическую загрузку и пневматическую выгрузку сыпучих материалов из бункеров, а также проведение активного вентилирования. При этом для проведения вышеперечисленных операций используется один вентилятор и единая система пневмопроводов [5, 6]. На рис. 3 приведена одна из установок для проведения этих операций [6].

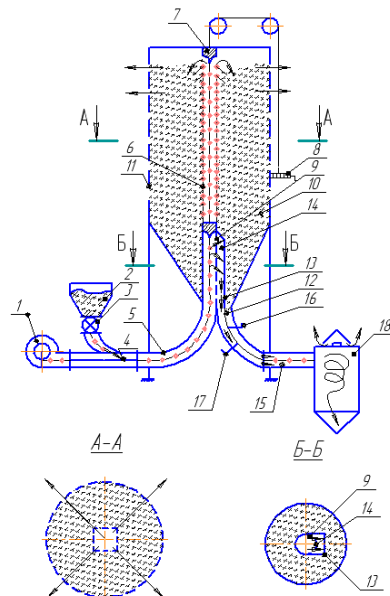


Рис. 3. Устройство для пневматического транспортирования и хранения сыпучих материалов: 1 – воздуходувная машина; 2 – оперативная ёмкость; 3 – питатель; 4 – тройник; 5 – загрузочный транспортный трубопровод; 6 – распределительный трубопровод; 7 – клапан; 8 – электролебёдка; 9 – перфорированная боковая поверхность; 10 – бункер; 11 – воздуха проницательные стенки; 12 – выпускной патрубков; 13 – металлический стакан; 14 – полость; 15 – разгрузочный трубопровод; 16,17 – задвижки; 18 – разгрузитель.

Распределительный трубопровод 6 квадратного сечения выполнен из набора перфорированных пластин-жалюзей, верхней частью шарнирно закрепленных между вертикальными стойками, снабженных с наружной стороны ограничителями поворота внутрь трубопровода.

Принцип работы заключается в следующем. Сжатый воздух от воздуходувной машины 1 и сыпучий материал из емкости 2 через питатель 3 подаются в приемник типа «тройник» 4.

Образовавшуюся аэросмесь транспортируют по загрузочному транспортному трубопроводу 5, затем - по распределительному трубопроводу 6, размещенному по оси приемного бункера 10. Сыпучий материал высыпают в приемный бункер 10 при постоянном подъеме клапана 7, размещенного в распределительном трубопроводе 6, вручную или с помощью электролебедки 8. Отработанный воздух выбрасывается через воздухопроницаемые стенки 11 бункера 10 в атмосферу. Перед проведением активного вентилирования сыпучего материала с целью повышения его сохранности клапан 7 опускают по распределительному трубопроводу 6 вниз ниже высоты размещенного в бункере сыпучего материала. После этого включают воздуходувную машину 1 и сжатый атмосферный воздух подают в загрузочный транспортный трубопровод 5, а затем - в распределительный трубопровод 6.

Воздух выходит через перфорированные пластины распределительного трубопровода 6, пронизывает толщу сыпучего материала в поперечно-горизонтальном направлении и через воздухопроницаемые стенки 11 бункера 10 выбрасывается в атмосферу.

При этом воздух из-за расположения распределительного трубопровода 6 по оси бункера 10 и выполнения стенок 11 бункера 10 воздухопроницаемыми преодолевает наименьшие аэродинамические сопротивления зернового слоя, что приводит к снижению сопротивления сети. При пневматической выгрузке сыпучего материала из бункера 10 открывают задвижку 17 выпускного патрубка 12. Воздух при включенной воздуходувной машине 1 и опущенном клапане 7, движется по транспортному загрузочному трубопроводу 5, затем через перфорированные отверстия части боковой поверхности 9 проходит в полость 14. Далее воздух движется по полости 14 вниз и поступает в разгрузочный транспортный трубопровод 15. Затем открывают задвижку 16, в результате чего происходит истечение сыпучего материала из бункера 10. Образовавшуюся в разгрузочном трубопроводе 15 аэросмесь транспортируют к разгрузителю 18, материал выделяется в нем, а отработанный воздух выбрасывается в атмосферу. В данном случае сокращается путь транспортирования воздуха, что приводит к дополнительному снижению сопротивления сети.

*Выводы:* Описан новый способ загрузки бункеров с помощью распределительного телескопического материалопровода. Показано, что время загрузки бункера любой высоты предложенным способом всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. Причём, чем больше высота бункера, тем больше выигрыш во времени, который определяется по формулам (13) или (14).

Описан также новый способ загрузки бункера с помощью распределительного трубопровода.

В дальнейшем планируется провести теоретические исследования по движению частиц сыпучего материала по поверхности клапана

и по жалюзийным пластинам при загрузке бункера, а также экспериментальные исследования по определению потерь давления в распределительном трубопроводе.

#### Литература

1. *Володин Н.П.* Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам / *Н.П. Володин* – М.: Колос, 1984. – 182 с.
2. *Зуев Ф.Г.* Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / *Ф.Г. Зуев* – М.: Колос, 1976. – 344 с.
3. *Чиркин В.П.* О быстрой загрузке бункеров / *В.П. Чиркин, А.М. Гальмак* //Транспортные и строительные машины: Вестник Госуд. техн. ун-та. – 2003. – №2. – С.162–165.
4. *Кильчевский Н.Н.* Курс теоретической механики / *Н.Н. Кильчевский* – М.: Наука, т. 1, 1972. – 452 с.
5. *Чиркин В.П., Гальмак А.М.* Устройство для пневматического транспортирования материалов. Патент №7586 РБ.
6. *Чиркин, В.П., Гальмак, А.М.* Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов. Патент № 9432 РБ.

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРА СИПУЧИМ МАТЕРІАЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО ТРУБОПРОВОДУ З ВИХІДНИМ КЛАПАНОМ-РОЗСІКАЧЕМ**

Чіркін В.П., Богуслов С.В.

#### *Анотація*

Робота присвячена новому способу завантаження бункера за допомогою розподільчого телескопічного матеріалопроводу, забезпеченого клапаном-розсікачем на виході й теоретичним дослідженням з визначення часу завантаження новим і традиційним способом.

### **DETERMINATION OF TIME DOWNLOAD BIN LOOSE MATERIALS WITH AID OF A TELESCOPIC PIPING EXHAUST VALVES – DIVIDER**

V. Chirkin, S. Boguslov

#### *Summary*

This paper deals with a new way of loading the hopper with the distribution of telescopic **materialoprovoda**, are supplied with the valve-adjoint divider at the output and theoretical studies, the wells to determine the time of loading the new and the traditional way.



УДК.664.64.014.

## АНАЛІЗ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ОПЕРАЦІЇ ЗАМІС ТІСТА

Янаков В.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192) 421-306

**Анотація** – стаття присвячена аналізу питання вдосконалення фундаментальних досліджень у тістоприготуванні. Розгляд процесу замісу тіста, в умовах вдосконалення енергетичного впливу і якісних перетворень, сприяє отриманню високоякісної хлібопекарної продукції. Для вирішення даної проблеми потрібний докладний аналіз застосування сучасних законів фізики, математики і хімії в замісі тіста.

**Ключові слова** – фундаментальні дослідження, інтенсифікація, технологія, механічний вплив, заміс тіста.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою цієї статті являється формулювання напрямків фундаментальних досліджень у харчових науках. Аналіз застосування сучасних законів фізики, математики і хімії в тістоприготуванні дає змогу підійти до проблеми рішення замісу тіста на високому технічному рівні. Визначення засобів взаємовідношень енергетичного впливу в ході замісу тіста і якісних перетворень тіста, отриманих під час бродіння, приводить до отримання високоякісного хліба.

*Постановка проблеми.* В останні роки назрілим є питання щодо розроблення та впровадження сучасних технологій тістоприготування, інтенсифікації процесів замісу тіста, підвищення продуктивності і рентабельності хлібопекарного виробництва та вдосконалення якості виготовленої продукції.

Єдиним із результативних методів оптимізації процесу замісу тіста і його бродіння є інтенсивна механічна обробка тіста, достатня для отримання високоякісних характеристик тіста. При замісі тіста, даний підхід дає можливість, що дозволяє оптимально вплинути на його структуру і фізико-хімічні показники та покращить характеристики хлібопекарної продукції.

Сучасні роботи в хлібопеченні присвячені покращенню традиційних технологій і створенню сучасних енерго- та ресурсозберігаю-

чих виробництв, увага приділяється інтенсифікації процесу замісу тіста. Час циклу одержання хліба складає 6-8 годин. Для зменшення тривалості приготування тіста існує немало рішень, вони ґрунтуються на біохімічних способах (синтетичні добавки) інтенсифікації бродіння тіста шляхом стимулювання процесів хімічних реакцій в тісті, а також і на їх комбінації з механічними методами впливу на тісто.

У цілому вони не дають можливості досягнути високоякісних показників хлібопекарної продукції, що в кінцевому результаті приводить до скорочення об'єму хлібопекарної продукції. Альтернативою може служити тільки створення нового покоління тістомісильних машин, заснованих на відмінних принципах роботи і методах реалізації.

*Аналіз останніх досягнень.* Харчова наука являється прикладною наукою. Її метою являється застосування фундаментальних досліджень (фізики, математики, хімії, філософії і т.д.) в реальному житті громадян і країни. У даному випадку отриманню високоякісного хліба.

Були проведені дослідження базових законів, принципів і методів, котрі застосовуються в харчових науках [1 – 7]. Аналіз періоду за останні 50 років можливо представити таким чином.

Закони:

1. Закон збереження маси (Рівняння матеріального балансу).
2. Закон збереження енергії (Рівняння теплового балансу, рівняння балансу енергії).
3. Закон рівноваги системи.
4. Закон перенесення маси і енергії и принцип рушійної сили.

Принципи:

1. Принцип оптимізації проведення технологічного процесу.
2. Принцип масштабного переходу і моделювання процесів (теорія подібності).
3. Принцип раціональної побудови апаратів.
4. Принцип безперервності процесу.
5. Принцип направленості обмінюючих потоків.
6. Принцип оновлення поверхні контакту фаз.
7. Класифікація основних процесів харчової технології:
  - механічні процеси;
  - гідромеханічні процеси;
  - теплові процеси;
  - масообміні процеси.

Вони реалізуються в рівняннях:

$$\sum M_{вх} = \sum M_{вих} ; \quad (1)$$

$$I = \frac{D}{R} = DK ; \quad (2)$$

$$\sum Q_{вх} + Q_{дон} = \sum Q_{вих} + Q_{ном} ; \quad (3)$$

$$S = K_1 - f + 2, \quad (4)$$

де  $M_{вх}$  – маса, що постуила в апарат з вихідними компонентами;  
 $M_{вих}$  – маса, що зникає із апарата з врахуванням відходів виробництва;

$I$  – швидкість процесу перенесення;

$D$  – рушійна сила;

$R$  – опір перенесення;

$K$  – коефіцієнт швидкості перенесення  $K = \frac{1}{R}$ ;

$S$  – число степенів свободи;

$K_1$  – число компонентів системи;

$f$  – число фаз;

$Q_{вх}$  – теплота, що поступає а апарат з вихідними компонентами;

$Q_{вх}$  – додаткова теплота, яка підводиться до апарата від зовнішніх джерел;

$Q_{вих}$  – теплота, що зникає із апарата ;

$Q_{пот}$  – теплота, втрати у навколишнє середовище.

Аналізуючи формули (1) – (4), часовий проміжок в 50 років, кількість і якість методичної бази фундаментальних досліджень у харчових науках, можливо дійти до висновків: за досліджувальний період не було запропоновано нічого нового і не вдосконалена діюча база фундаментальних досліджень.

*Основна частина.* Поліпшення процесів замісу тіста на нинішньому етапі удосконалюється в цілеспрямовано на створення хлібопекарної продукції зі збалансованим складом, що відповідає вимогам високорозвиненої харчової науки. Для виробництва хлібопекарної продукції, рецептура якої має значну кількість компонентів, необхідно застосовувати методи складання енергетичного і якісного впливу при замісі тіста. Водночас, слід експериментальні дослідження з метою впливу характеру і ступеня чинників на якісні перетворення при енергетичному впливі під час проведення різноманітних технологічних процесів при тістоприготуванні та готової хлібопекарної продукції.

Обладнання, рецептури, енергетичному вплив і контроль якісних змін в тісті й проведення зазначених експериментів без визначеної науково обґрунтованої системи призводять до значних втрат праці, часу, енергії, матеріальних ресурсів і найчастіше дають сумнівні результати.

У той же час сучасні методи планування експериментів і статистичної обробки їх результатів із використанням обчислювальної техніки надають можливість створенню науково обґрунтованих передових технологічних процесів замісу тіста.

Початок вдосконалення процесу замісу тіста потрібно розпочинати з погляду взаємодії пари – місильний орган і математичної точки (частинки тіста), представлені на рис. 1.

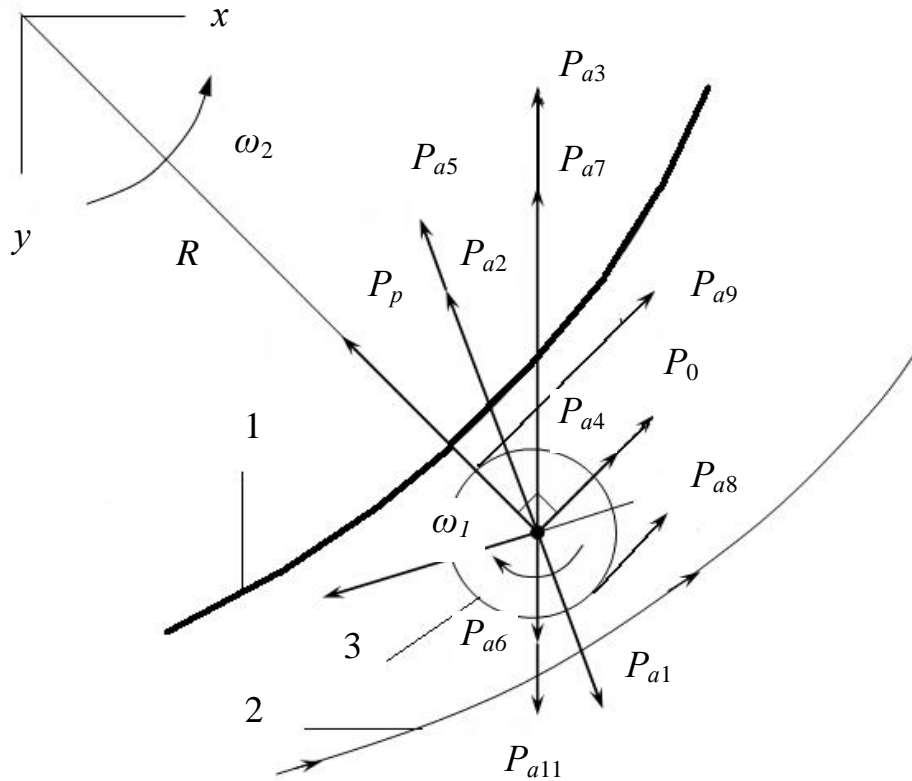


Рис.1. Схема сил, що діють на тістову частинку:

$y, x$  – координати площини схеми сил; 1 – місильний орган; 2 – потік тіста; 3 – частинка тіста;  $\omega_1$  – кутова швидкість лопаті, вздовж осі діжі рад/с;  $\omega_2$  – кутова швидкість лопаті, вздовж осі місильного органа рад/с;  $R$  – радіус дії сил, м;  $P_{a1}$  – сила відриву, Н;  $P_{a2}$  – сила адгезії, Н;  $P_{a3}$  – сила деформації, Н;  $P_{a4}$  – сила тиску контакту, Н;  $P_{a5}$  – сила стиснення, Н;  $P_{a6}$  – центруюча сила, Н;  $P_{a7}$  – сила, що рухає частинку вгору по місильному органу, Н;  $P_{a8}$  – сила, що рухає частинку вздовж місильного органа, Н;  $P_{a9}$  – сила, що рухає частинку навкруги місильного органа, Н;  $P_{a10}$  – сила інерції, Н;  $P_{a11}$  – сила ваги, Н;  $P_0$  – осьова складова рівнодіючих сил, Н;  $P_r$  – радіальна складова рівнодіючих сил, Н.

Аналіз рис. 1 дає змогу розкрити специфіку взаємодії місильного органа тістомісильної машини і частинки тіста, що знаходяться на його поверхні. Проблеми управління, впливу на тісто обладнання визначають його ефективність від організаційних та техніко-економічних факторів на хлібопекарному виробництві.

Досягнення успіхів у використанні зазначених методів під час розробки ряду окремих технологічних процесів, що дозволило збагатити асортимент продукції хлібопекарної продукції, можуть довести

перспективність робіт у цьому напрямку. Проблему створення єдиного методологічного підходу до розробки прогресивних технологічних процесів та їх апаратурної реалізації під час проектування окремих етапів замісу тіста, з використанням сучасних методів математичного моделювання, варто визнати актуальною, що і є теоретичним та методологічним підґрунтям наукової концепції досліджень.

Єдність даного наукового підходу можливо реалізувати опираючись на такі концепції — цілісність технічного підходу (рис. 2.) в проектуванні нового покоління тістомісильних машин має на увазі зміни:

1. Технології.
2. Процесів.
3. Обладнання.
4. Товарознавчої оцінки.

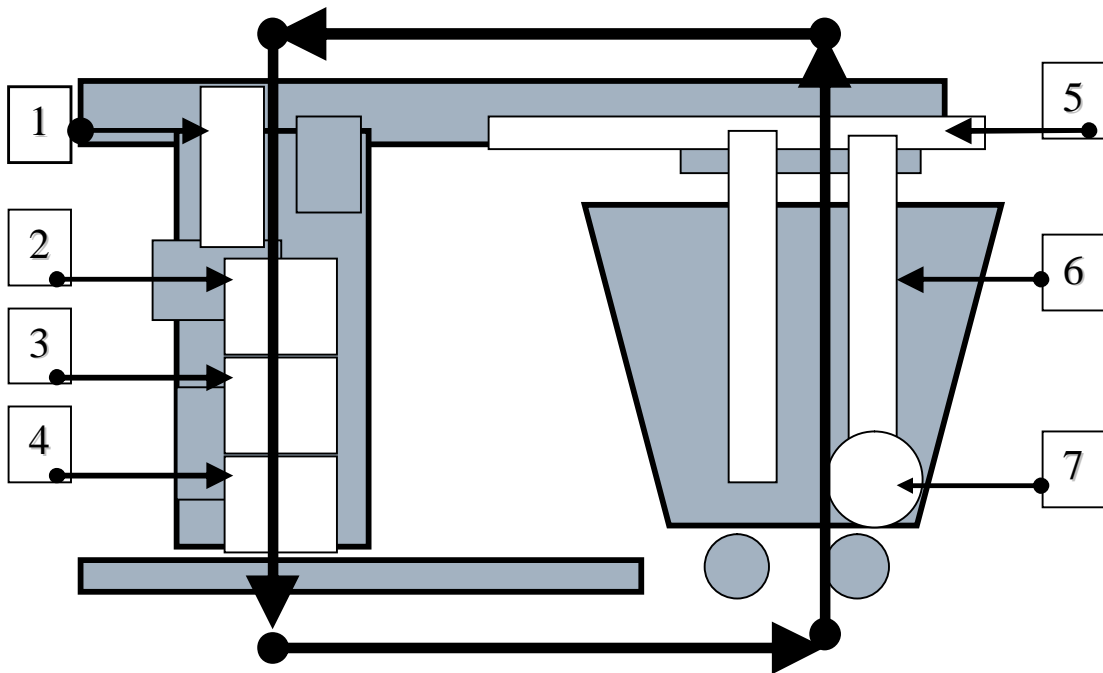


Рис. 2. Доктрина нової тістомісильної машини:

1 – додаткове обладнання; 2 – багатофункціональний енергопривід; 3 – блок управління; 4 – блок аналізу і обробки інформації; 5 – механічний блок; 6 – тісто; 7 – місильні органи.

Аналіз рис. 2 дає змогу визначити принципи побудови конструкції і вдосконалення тістомісильних машин. Визначення концепції ідеальної тістомісильної машини визначає ефективність її застосування для замісу тіста з відмінними характеристиками.

Сучасна наука про харчування встановила певні вимоги до тістомісильного обладнання. Всі компоненти обладнання повинні входи-

ти в цілісну систему, метою якої являється вироблення кінцевого продукту – тіста. Всі складові частини в певній мірі входять до складу тістомісильного обладнання, яка переробляється в тісто на підприємствах харчової і переробної промисловості за різними технологічними схемами за допомогою енергетичного впливу, що реалізують ті або інші технологічні процеси.

Технологічний процес замісу тіста містить чітко визначену послідовність операцій, що по суті мало залежить від виду тіста і конструктивного виконання відповідного технологічного устаткування. Первинним етапом замісу тіста в хлібопекарню продукцію є попередня підготовка сировини. Всі ці операції підлягають оптимізації на базі відповідних експериментальних досліджень із математичною обробкою їхніх результатів. Очевидно, встановлення оптимальних розмірів і форми частинок здрібненої сировини можливо лише на зазначеній вище науковій базі.

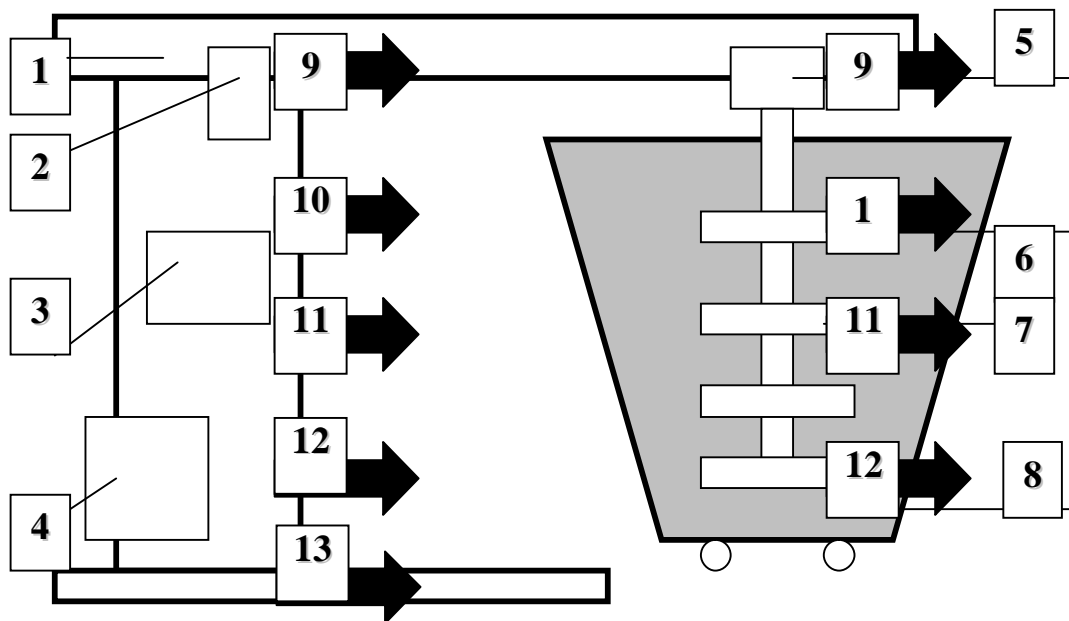


Рис. 3. Запропоноване застосування фундаментальних досліджень в технології приготування хлібопекарної продукції:

Тістомісильна машина: 1 – тістомісильна машина; 2 – механічний блок; 3 – блок управління; 4 – енергопривід; 5 – привод місильного органа; 6 – тісто; 7 – місильний орган; 8 – підкатна діжа. 9. Фундаментальні закони. 10. Принципи конструктивного виконання харчових машин. 11. Критерії протікання харчових процесів. 12. Сучасні дослідження вітчизняних і іноземних вчених у галузі харчових і фундаментальних наук. 13. Цілі і задачі, поставлені при виконанні технологічного процесу.

Аналіз рис. 3 дає змогу визначити специфіку застосування фундаментальних досліджень в технології приготування хлібопекарної продукції. Сполучення фундаментальних і прикладних досліджень визначає рівень виготовлення обладнання та його ефективність у виробництві.

Аналіз приведеної системи формул (1 – 4) і схем застосування досліджень (рис.1 – 3) дає змогу дійти до висновку – використання комплексного підходу у вирішенні задач технологічного процесу замісу тіста дає підвищення результативності ефективності продукції, що випускається. Поєднання застосованих підходів: системи формул (1 – 4), схеми сил, що діють на тістову частинку (рис. 1.), доктрини нової тістомісильної машини (рис. 2.) і пропонованого застосування фундаментальних досліджень в технології приготування хлібопекарної продукції (рис. 3.) дають змогу визначити напрямки виробництва, надійності і вдосконалення тістомісильних машин.

*Висновки.* Отримані дані досліджень по вдосконаленню технології замісу тіста і тістомісильних машин дають змогу дійти до висновків:

сформульовані сучасні напрямки досліджень замісу тіста и тістомісильних машин — фундаментальних дослідження в теорії процесів і апаратів;

визначені положення взаємозв'язку законів і принципів ефективності технологічного процесу замісу тіста;

поєднання фундаментальних і прикладних досліджень в технології і теорії тістомісильних машин дають змогу визначити напрямки покращення виробництва хлібопекарних виробів.

#### Література

1. *Плановский А.Н.* Процессы и аппараты химической технологии / *А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган* – М.: Гос. научн.-техн. изд-во хим. Лит-ры. – М.: 1962. – 848 с.
2. *Стабников В.Н.* Процессы и аппараты пищевых производств / *В.Н. Стабников, В.И. Баранцев.* – М.: Пищевая промышленность. 1974.– 360 с.
3. Процессы и аппараты пищевых производств / [*В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов, Ф.А. Редько*]. – В.: Владим.типог. 1975. – 664 с.
4. *Стабников В.Н.* Процессы и аппараты пищевых производств / *В.Н. Стабников, В.И. Баранцев* – М.: Лёг. и пищ. пром-сть, 1983. – 328 с.

5. *Стабников В.Н.* Процессы и аппараты пищевых производств / *В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов* – М.: Агропромиздат, 1985. – 512 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв / під ред. *І.Ф. Малешка*. – К.: НУХТ. 2003. – 400 с.

7. *Пилипенко Н.И.* Процессы и аппараты / *Н.И. Пилипенко, Л.Ф. Пелевина*. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 336 с.

## **АНАЛИЗ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ЗАМЕС ТЕСТА**

Янаков В.П.

### *Аннотация*

**Статья посвящена анализу вопроса совершенствования фундаментальных исследований в пищевой науке. Анализ процесса замеса теста, в условиях усовершенствования энергетического воздействия и качественных преобразований, способствует получению высококачественной хлебопекарной продукции. Для решения данной проблемы необходим детальный анализ применения современных законов физики, математики и химии в замесе теста.**

## **ANALYSIS OF THE FUNDAMENTAL RESEARCH IN THE AREA OF TECHNOLOGICAL DOUGH MIXING PROCESSES**

V. Yanakov

### *Summary*

**The article analyses fundamental research in the area of technological mixing processes. The dough mixing process, under condition of improving energy influence and quality of improvement, allows receiving high quality bread product. For the solution of this challenge we suggest step-by-step analysis of modern findings in the areas of physics, mathematics, chemistry which are used during the dough mixing.**



УДК 620.95:621.31

## АНАЛІЗ НАРОДНОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОБЛЕМИ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

Рижков А.О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Анотація** – розглянуто аналіз народногосподарської проблеми дезінтеграції рослинної біомаси, наведені причини існування проблеми, негативні наслідки від її невирішеності, можливі шляхи її подолання та труднощі пов'язані з ними; запропоновано спосіб дезінтеграції рослинної біомаси імпульсним електричним полем.

**Ключові слова** – народногосподарська проблема, біомаса, лігноцелюлоза, біопаливо, дезінтеграція, імпульсне електричне поле, попередня обробка

*Постановка проблеми.* Рослинна біомаса, яка є відновлювальною сировиною з нейтральним рівнем емісії вуглецю, як очікується, буде перспективним ресурсом для пом'якшення наслідків зміни клімату та реалізації концепції сталого розвитку. Виробництво палива з біомаси є привабливим засобом для зменшення парникового ефекту від вихлопних газів автомобілів і продовжує заручатися підвищеною увагою [1, с.3332].

*Аналіз основних досліджень.* За оцінками спеціалістів Національного університету природокористування і біоресурсів України [2, с.3], економічно доцільний потенціал біомаси в Україні становить приблизно 30 млн. тон у.п./рік, що може задовольнити до 18% потреб країни в первинній енергії.

Значну частину цього потенціалу складає рослинна біомаса яка є комплексним матеріалом, що містить три основні органічні компоненти з відповідною часткою сухої речовини: 35-50% целюлози, 20-35% геміцелюлози і 12-20% лігніну [3, с.196]. Целюлоза та геміцелюлози є полімерами цукрів, тоді як лігнін – ароматичний гетерополімер. Продукти гідролізу полімерів цукрів (целюлози і геміцелюлози) можуть бути використані як субстрати для біотехнологічної конверсії в етанол [4, с.34].

Виробництво палив з рослинної біомаси, в першу чергу з відхо-

дів сільськогосподарського виробництва, дозволить уникнути конкуренції з продовольчим сектором і є ефективним засобом для зменшення парникових газів. В той же час, основною проблемою, що стримує широке комерційне впровадження такого виробництва є складність біоконверсії рослинної біомаси пов'язаної зі стійкістю лігнін-целюлозних зв'язків.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є аналіз народногосподарської проблеми дезінтеграції рослинної біомаси при її попередній обробці як механізму підвищення доступності целюлози та геміцелюлози для подальшого ефективного гідролізу та ферментації в процесі виробництва біопалива.

*Основна частина.* Суть проблеми полягає в складності здійснення енерго- та економічно ефективної дезінтеграції рослинної біомаси на етапі її попередньої обробки, що виконується з метою досягнення ферментаційної деградуємості біомаси в процесі виробництва біопалив.

Причини існування проблеми криються у побудові стінки рослинної клітки багатой на полімери цукрів та її молекулярній структурі. Організація та взаємодія полімерів всередині стінки клітки, яка створена для протидії біологічним, фізичним та хімічним атакам зовні, створює природний бар'єр на шляху ферментативної деполімеризації [5, с. 44].

Целюлоза складається з тисяч молекул безводної глюкози, з'єднаних між собою  $\beta(1,4)$ -глікозидними зв'язками. Кожен ланцюг водневими зв'язками з'єднується з іншими 30-50 ланцюгами, які разом утворюють мікрофібрилу. Целобіоза формує кристалічну структуру. В складі лігноцелюлози мікрофібрили целюлози оточені шарами геміцелюлози та лігніну (рис. 1), тому вона дуже стійка до гідролізу [4, с. 34].

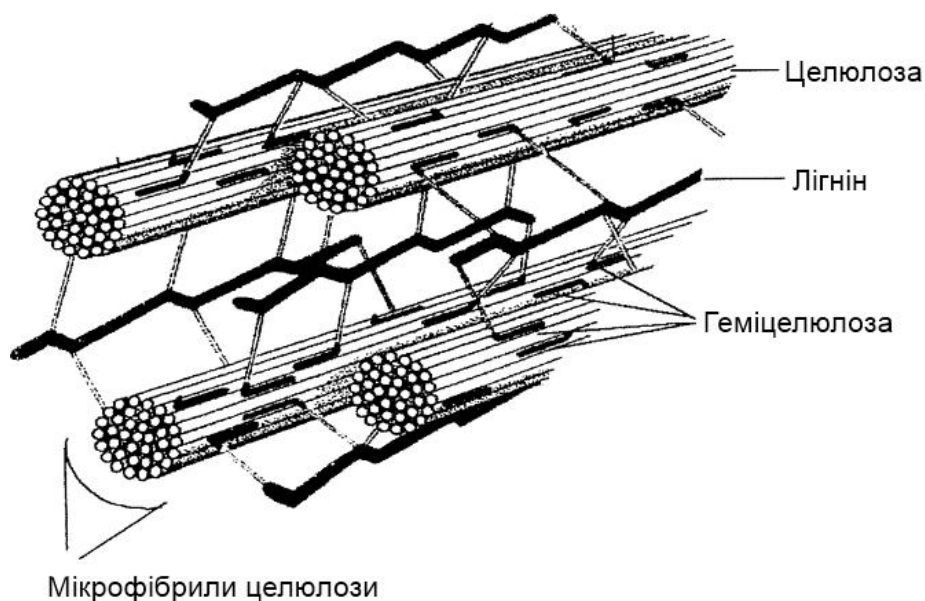


Рис.1. Схематичне представлення структури лігноцелюлози [5].

Ключовими факторами, що обумовлюють стійкості рослинної біомаси до гідролізу, є [5, с.45]:

– міцна структура на основі тісних зв'язків стінок кліток в рослинній тканині перешкоджає доступу рідини до них;

– нанорівнева структура рослинної клітки перешкоджає проникненню хімічних речовин та ферментів до їх субстратів – целюлози та геміцелюлози;

а) утворення мікрофібрил целюлози обмежує доступ гідролізуючих ферментів до їх субстратів;

б) лігнін-вуглеводні комплекси обмежують ферментативний гідроліз полісахаридів рослинної біомаси;

– кристалічність целюлози перешкоджає ферментативній атаці – окремі ланки целюлози повинні бути фізично виділені з кристалів мікрофібрил щоб відбувся подальший її гідроліз до цукрів.

Негативні наслідки нерозв'язаності проблеми проявляються у стримуванні комерційного впровадження виробництва біопалив, зокрема етанолу, з рослинної біомаси.

Окремою проблемою залишається утилізація відходів рослинництва – соломи зернових, хлібів, стебел кукурудзи, гички цукрових буряків, картопляного бадилля. Понад 90 % цієї органічної речовини припадає на солому.

Шляхи вирішення проблеми полягають у попередній обробці рослинної біомаси з метою часткового руйнування мікрофібрил целюлози, зменшення ступеня її кристалізації та полімеризації, вилучення геміцелюлози, руйнування комплексу целюлози з лігніном та модифікації структури лігніну, збільшення поверхні, доступної для дії гідролізуючих ферментів, а також для видалення лігніну (делігніфікації) (рис. 2) [4, с.35; 6, с.674].

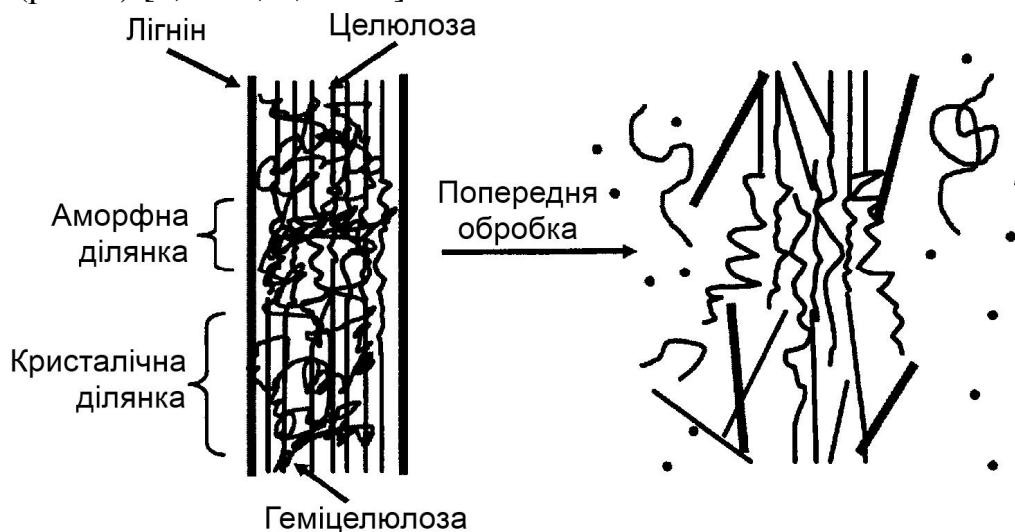


Рис.2. Схематичне представлення мети попередньої обробки рослинної біомаси [5; 6].

Попередня обробка рослинної біомаси має відповідати наступним вимогам [7, с.3715]:

- поліпшувати утворення цукрів або можливість формування цукрів згодом шляхом гідролізу,
- уникати деградації чи втраті вуглеводів,
- уникати утворення побічних продуктів, які пригнічують наступний гідроліз та процес ферментації,
- бути економічно ефективною.

Способи попередньої обробки можна умовно розділити на кілька категорій: фізичні (помел та подрібнення), фізико-хімічні (обробка паром, вуглекислим газом і мокро окислення), хімічні (луги, кислоти, органічні розчинники), біологічні, або їх комбінації. Короткий аналіз способів попередньої обробки рослинної біомаси, які є перспективними для рентабельного виробництва відновлювальних видів палива і хімічних речовин наведений в таблиці 1.

Труднощі вирішення проблеми за вказаними шляхами обумовлюються або великою енергоємністю відомих способів попередньої обробки рослинної біомаси, або утворенням хімічних сполук в процесі обробки, що є небажаними для подальшого процесу переробки біомаси. Також, вагомою перешкодою на шляху широкого впровадження біоконверсії рослинної біомаси в цінні види палива є досить висока вартість процесу попередньої обробки біомаси.

Одним із способів розв'язання зазначеної проблеми пропонується спосіб попередньої обробки рослинної біомаси імпульсним електричним полем. Цей спосіб передбачає прикладення коротких (приблизно 100 мкс) імпульсів високої напруги (10-40 кВ/м) до зразка, розміщеного між двома електродами [7, с.3726; 8, с.10996; 9, с.59]. Подача сильного зовнішнього електричного поля створює критичний потенціал впоперек стінки клітки, що призводить до швидкого електричного пробоя та локальних структурних змін в стінці клітки й, отже, рослинній біомасі. Електричне поле викликає суттєве збільшення проникності та, в деяких випадках, механічне руйнування рослинної біомаси.

*Висновки.* Дослідники з Каліфорнійського університету в Девісі експериментально підтвердили ефективність попередньої обробки рослинної біомаси імпульсним електричним полем при виробництві біопалив [8, с.11000]. В той же час, практичне застосування цього способу попередньої обробки потребує ретельного вивчення механізму дезінтеграції рослинної клітки під дією імпульсного електричного поля та обґрунтування оптимальних параметрів поля і камери обробки, а також режимів попередньої обробки рослинної біомаси.

Таблиця 1 – Способи попередньої обробки рослинної біомаси при виробництві біопалив [6, с. 676; 7, с. 3715; 10, с. 21; 11, с. 3; 12, с. 127; 13, с. 134; 14, с. 134; 15, с. 54; 16, с. 31]

Категорія способів	Назва способу	Діючий агент	Переваги	Недоліки
Фізичні	механічне подрібнення	комбінація різання, помелу та подрібнення	зменшує кристалічність целюлози	споживана потужність звичайно вище, ніж властиві енергії біомаси
	кислотний гідроліз	розбавлені або концентровані кислоти	гідролізує геміцелюлозу в ксилозу та інші цукри, змінює структуру лігніну	висока вартість, корозія обладнання, утворення токсичних речовин
Хімічні	лужний гідроліз	луги	видаляє геміцелюлозу та лігнін, підвищує доступну площу поверхні	потрібен тривалий термін обробки; нерозчинні солі утворюються і закріплюються в біомасі
	органічні розчинники	органічні розчинники або їх суміші з водою	гідролізує лігнін і геміцелюлозу	потрібно вилучати розчинники з реактора випарувати, конденсувати, і переробляти; висока вартість
	озоноліз	озон	знижує вміст лігніну, не дає токсичних залишків	потрібно велика кількість озону; висока вартість
Фізико-хімічні	вибух пара	насичена пара високого тиску, з наступним різким зниженням тиску – вибухова декомпресія	призводить до деградації геміцелюлози та трансформації лігніну; рентабельний спосіб	руйнування частини ксилану; неповне руйнування лігнін-вуглеводного комплексу; створення речовин що пригнічують мікроорганізми
	аміачний вибух волокон (AFEX)	рідкого аміаку при високій температурі і тиску з наступним різким зниженням тиску	збільшує доступну площу поверхні, видаляє лігнін і геміцелюлозу; не виробляє інгібіторів для подальших процесів	не ефективно для біомаси з високим вмістом лігніну
Біологічні	вибух CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> при високому тиску з наступним різким його зниженням	збільшує доступну площу поверхні; рентабельний спосіб, не викликає формування інгібіторів	не змінює лігнін і геміцелюлозу
		мікроорганізми	деградує лігнін і геміцелюлозу, низьке енергоспоживання	швидкість гідролізу дуже низька

## Література

1. *Fujimoto S.* Pinch analysis for bioethanol production process from lignocellulosic biomass / S. Fujimoto et al. // *Applied Thermal Engineering*. – 2011. – Vol. 31. – № 16. – P.3332–3336.
2. *Гелетуха Г.Г.* Енергетичний потенціал біомаси в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, М.М. Жовмір, Ю.Б. Матвєєв // *Науковий вісник НУБіП України*. – 2010. – Вип. 153. – 6 с.
3. *Wyman C.E.* Biomass ethanol: Technical progress, opportunities, and commercial challenges / Charles E. Wyman // *Annual Review of Energy and the Environment*. – 1999. – Vol. 24. – P.189–226.
4. *Сибірний А.* Біопаливний етанол з лігноцелюлози (рослинної біомаси): досягнення, проблеми, перспективи / А. Сибірний // *Вісник національної Академії наук України*. – 2006. – Вип. 3. – С.32–48.
5. *Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: A joint research agenda: [Report from the December 2005 Workshop, DOE/SC-0095].* – Washington: U.S. Department of Energy Office of Science, 2006. – 207 p.
6. *Mosier N.* Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass / Nathan Mosier et al. // *Bioresource Technology*. – 2005. – Vol. 96. – № 6. – P.673–686.
7. *Kumar P.* Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production / Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Michael J. Delwiche, Pieter Stroeve // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2009. – Vol. 48. – № 8. – P.3713–3729.
8. *Kumar P.* Pulsed electric field pretreatment of switchgrass and wood chip species for biofuel production / Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Delwiche, Pieter Stroeve // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2011. – Vol. – 50. – № 19. – P.10996–11001.
9. *Töpfl S.* Pulsed electric fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food- and bioprocessing – Applications, process and equipment design and cost analysis / Stefan Töpfl. – Berlin: Berlin University of Technology, 2006. – 180 p.
10. *Harmsen P.F.H.* Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass: [Report ECN-E--10-013] / P.F.H. Harmsen, W.J.J. Huijgen, L.M. Bermúdez López, R.R.C. Bakker. – BioSynergy, 2010. – 49 p.
11. *Brodeur G.* Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: A review / Gary Brodeur et al. // *Enzyme Research*. – 2011. – Vol. 2011. – P.1–17.
12. *Chundawat S.P.S.* Deconstruction of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals / Shishir P.S. Chundawat, Gregg T. Beckham, Michael

E. Himmel, Bruce E. Dale // *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*. – 2011. – Vol. 2. – P.121–145.

13. *Taherzadeh M.J.* Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review / Mohammad J. Taherzadeh, Keikhosro Karimi // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2008. – Vol. 9. – P.1621–1651.

14. *Maekawa E.* On an available pretreatment for the enzymatic saccharification of lignocellulosic materials / Eiichi Maekawa // *Wood Science and Technology*. – 1996. – Vol. 30. – P.133–139.

15. *Zheng Y.* Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production / Yi Zheng, Zhongli Pan, Ruihong Zhang // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2009. – Vol. 2. – № 3. – P.51–68.

16. *Yang B.* Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol / Bin Yang, Charles E. Wyman // *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. – 2008. – Vol. 2. – № 1. – P.26–40.

## **АНАЛИЗ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ РОСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ**

РЬЖКОВ А.А.

### *Аннотация*

**Рассмотрен анализ народнохозяйственной проблемы дезинтеграции растительной биомассы, приведены причины существования проблемы, негативные последствия от ее нерешенности, возможные пути его преодоления и трудности связанные с ними; предложен способ дезинтеграции растительной биомассы импульсным электрическим полем.**

## **ANALYSIS OF THE PROBLEM OF DISINTEGRATION OF PLANT BIOMASS**

A. Ryzhkov

### *Summary*

**The analysis of the economic problem of disintegration of plant biomass, causes of the problem, the negative effects of its pendency, possible ways of overcoming difficulties and associated with them are considered in the paper; a method for disintegration of biomass by a pulsed electric field is proposed.**

## ЗМІСТ

<i>Овчаров В.В.</i> Физические основы научных исследований в области электротехники .....	3
<i>Федюшко Ю.М., Федюшко М.П.</i> Аналіз та теоретичне дослідження можливості впровадження альтернативних джерел енергії північного Приазов'я України .....	11
<i>Овчаров С.В., Гончарова Н.В.</i> Аналитическое исследование перегрузочных характеристик асинхронных электродвигателей ...	16
<i>Квітка С.О., Безменнікова Л.М., Вовк О.Ю., Квітка О.С.</i> Пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи .....	23
<i>Журавель Д.П.</i> Оцінка зносу трибоспряжень в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів .....	28
<i>Гончарова Н.В., Нестерчук Д.М.</i> Систематизація та аналіз функцій перетворення первинних вимірювальних перетворювачів неелектричних величин .....	34
<i>Фурман І.А., Диордиев В.Т.</i> Теоретические аспекты математического описания автоматизированного объекта на основе проекционно-градиентного метода .....	41
<i>Попова І.О.</i> Пристрій захисту асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги мережі .....	47
<i>Овчаров С.В., Переверзев Д.Ю., Буряк А.В.</i> Методика определения удельной теплоотдачи от теплопередающей поверхности отопительной системы .....	51
<i>Вовк О.Ю., Квітка С.О., Безменнікова Л.М.</i> Періодичне діагностування механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом в експлуатації .....	54
<i>Козирський В.В., Герасименко В.П., Ковальов О.В.</i> Способи і засоби підвищення надійності захисту та попередження появи небезпечних струмів в мережах 0,38 кВ .....	59
<i>Островский А.В.</i> Безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя .....	66



<i>Овчаров С.В., Стребков А.А.</i> Аналитическое исследование расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период .....	73
<i>Саржан С.В., Постнікова М.В., Карпова О.П.</i> Визначення впливу енергетичних параметрів на енергоємність процесу помелу зерна .....	81
<i>Кувачов В.П., Куценко Ю.М., Ковальов О.В., Ігнат'єв Є.І.</i> Електрифікований агро модуль – ефективне рішення проблем механізації рослинництва .....	86
<i>Назар'ян Г.Н., Карпова А.П., Постнікова М.В.</i> Методология перестройки сложной математической модели объекта исследования методом планирования математического эксперимента для анализа и решения задачи оптимизации объекта .....	93
<i>Курашкин С.Ф.</i> Система дистанционного диагностирования режимов работы электродвигателей погружных насосов .....	106
<i>Постнікова М.В., Назар'ян Г.Н., Никифорова Л.Є., Михайлов Є.В., Карпова О.П.</i> Шляхи раціональних витрат електроенергії потокових ліній очищення зерна .....	111
<i>Овчаров В.В., Вовк О.Ю.</i> Дослідження електродвигуна – нагрівача рідини .....	117
<i>Саржан С.В., Постнікова М.В., Карпова О.П.</i> Вплив конструктивних параметрів робочих машин борошномельних агрегатів на потужність електродвигунів .....	124
<i>Петрович Э.А., Фрейдин М.З.</i> Экспортный потенциал в АПК Беларуси: состояние и перспективы .....	131
<i>Ибрагимов В.Р., Козлов В.Н., Касьянова Ю.В., Тиммербулатова Г.Р.</i> Влияние тиреостатических препаратов на гистоструктуру печени у крыс в эксперименте .....	141
<i>Муллагулов Р.Т., Мамцев А.Н., Бускунова Г.Г.</i> Содержание фенолкарбоновых кислот в некоторых лекарственных растениях ...	147
<i>Єрмоменко Д.О., Лебедєв І.М., Кіріченко В.О.</i> Пастеризація молока з використанням енергозберігаючих технологій .....	151

<i>Ковалишин Б.М.</i> Обґрунтування підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння	157
.....	
<i>Лисенко В.П., Котов Б.І., Комарчук Д.С., Калініченко Р.А.</i> Математичне моделювання нестационарних теплових процесів прес-екструдера з індукційним обігрівом як об'єкта з розподіленими параметрами	165
.....	
<i>Хворост М.В., Шніка М.І.</i> Натурне моделювання частотно-регульованого асинхронного електроприводу	170
.....	
	176
<i>Синявський О.Ю., Савченко В.В.</i> Передпосадкова обробка бульб картоплі у магнітному полі	182
.....	
<i>Желудков А.Л., Акуленко С.В.</i> Методика определения продолжительности куттерования	185
.....	
<i>Кирик И.М., Кирик А.В.</i> Экспериментальное исследование процесса тепловой обработки тестовых заготовок в пароконвектомате	185
.....	
<i>Евдохова Л.Н., Рукиан Л.Н.</i> Использование ячменной муки для создания мучных кондитерских изделий оздоровительной направленности	203
.....	
<i>Чиркин В.П., Богуслов С.В.</i> Определение времени загрузки бункера сыпучим материалом с помощью телескопического трубопровода с выходным клапаном-рассекателем	214
.....	
	225
<i>Янаков В.П.</i> Аналіз фундаментальних досліджень у технологічній операції заміс тіста	233
.....	
<i>Рижков А.О.</i> Аналіз народногосподарської проблеми дезінтеграції рослинної біомаси	233
.....	

Наукове фахове видання

Праці Таврійського державного агротехнологічного універ-  
ситету

Випуск 12. 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 02.02.2012 р. друк RIZO.  
Друкарня ТДАТУ 11,0 умов. друк. арк.; тираж 60 прим.

72312 ПП Верескун  
Запорізька обл., м. Мелітополь, вил. К. Маркса, 10  
тел. (06192) 6-88-38