



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного  
Кафедра «Електротехніка і електромеханіка  
імені професора В. В. Овчарова»



Національний  
технічний  
університет  
України  
«Київський  
політехнічний  
інститут імені Ігоря  
Сікорського»



Національний  
університет  
біоресурсів і  
природокористування  
України



Національний  
університет  
«Запорізька  
політехніка»



Харківський  
національний  
технічний  
університет  
сільського  
господарства імені  
Петра Василенка



Сумський  
національний  
аграрний  
університет

# Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем



## МАТЕРІАЛИ

І Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції  
пам'яті В. В. Овчарова

20 травня – 04 червня 2020 року

Мелітополь

# **МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка

Національний університет «Запорізька політехніка»

Сумський національний аграрний університет

## **СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

### ***МАТЕРІАЛИ***

І Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції  
пам'яті В. В. Овчарова

20 травня – 04 червня 2020 року

Мелітополь  
2020

Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (Мелітополь, 20 травня - 04 червня 2020 р) / ТДАТУ; орг. ком. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, І. П. Назаренко [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - 110 с.

У матеріалах конференції викладені результати досліджень, які присвячені сучасному стану та перспективам розвитку електротехнічних систем: питанням загальної електротехніки, електромеханічних комплексів і систем, електротехнологій та електротехнологічних систем, електроенергетичних систем і систем електропостачання, комп'ютерно-інтегрованих технологій та технічних інформаційних систем.

Видання розраховане для науковців, аспірантів, студентів, фахівців, які працюють за напрямками конференції.

Матеріали видані в авторській редакції. Відповідальність за зміст наданих матеріалів, точність наведених даних та відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори.

**Адреса організаційного комітету:** Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, факультет енергетики і комп'ютерних технологій, кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, ауд. 1.125 пр-т Богдана Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька область, Україна, 72310 e-mail: [dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua](mailto:dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua)

Сайт конференції: <http://www.tsatu.edu.ua/etem/internet-konferencija/>

© Колектив авторів, 2020

© Дизайн та макетування. Кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Голова організаційного комітету:**

*Кюрчев Володимир Миколайович* – ректор ТДАТУ, член-кореспондент НААН України, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Співголова:**

*Надикто Володимир Трохимович* – проректор з наукової роботи та міжнародної діяльності, директор НДІ механізації землеробства півдня України, член-кореспондент НААН України, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Науковий комітет конференції:**

*Назаренко Ігор Петрович* – декан факультету енергетики і комп'ютерних технологій, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

*Діордієв Володимир Трифонович* – завідувач кафедри електроенергетики і автоматизації, академік МААО, д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

*Квітка Сергій Олексійович* – завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

*Острроверхов Микола Якович* – завідувач кафедри теоретичної електротехніки, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*Козирський Володимир Вікторович* – директор Навчально-наукового інституту енергетики і автоматики, д.т.н., професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Мірошник Олександр Олександрович* – завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, д.т.н., професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

*Тиховод Сергій Михайлович* – завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки, д.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка»

*Яковлев Валерій Федорович* – професор кафедри енергетики та електротехнічних систем, к.т.н., професор, Сумський національний аграрний університет

*Соломаха Олександр Вікторович* – заступник технічного директора «НПП «Преобразователь-комплекс», к.т.н.

**Організаційний комітет конференції:**

*Квітка Сергій Олексійович* – к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

*Нестерчук Діна Миколаївна* – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

*Вовк Олександр Юрійович* – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

*Курашкін Сергій Федорович* – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

*Постнікова Марина Вікторівна* – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

*Попрядухін Вадим Сергійович* – к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, голова ради молодих вчених ТДАТУ

*Ковальов Олександр Вікторович* – старший викладач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова

## ЗМІСТ

### Секція 1. Загальна електротехніка

<b>Особливості моделювання електромагнітних процесів в трансформаторах</b>	
Тиховод С. М., Драпак К. М.	9
<b>Наноструктуровані плівкові гетероструктури як елемент сучасної напівпровідникової електроніки</b>	
Дяденчук А. Ф., Кідалов В. В.	11
<b>Метод розрахунку перехідних процесів з розкладанням похідної функцій за полиномами</b>	
Тиховод С. М., Паталах Д. Г.	13
<b>Застосування повного факторного експерименту для навчання нейронної мережі</b>	
Тиховод С. М., Олейніков М. О.	15
<b>Визначення параметрів активно-ємнісного фільтра напруги зворотної послідовності</b>	
Попова І. О.	18
<b>Боротьба з бур'янами за допомогою електричного струму</b>	
Чепак А. М., Вовк О. Ю.	20

### Секція 2. Електромеханічні комплекси і системи

<b>Two-zone speed control of hybrid excited synchronous machine</b>	
Mykola Ostroverkhov, Vadim Chumack, Yevhen Monakhov	22
<b>Оцінка нормальності розподілу струму витoku систем електроосвітлення в мережах 0,38 кВ тваринницьких приміщень</b>	
Козирський В. В., Герасименко В. П., Майбородіна Н. В.	24
<b>Перевірка розподілу струму витoku систем електроосвітлення мереж 0,38 кВ тваринницьких приміщень за критеріями нормальності</b>	
Козирський В. В., Герасименко В. П., Майбородіна Н. В.	26
<b>Автоматическая настройка параметров адаптивного регулятора тока в системе подчиненного управления электропривода постоянного тока</b>	
Соломаха А. В.	28
<b>Захист та діагностування асинхронного двигуна на основі інформаційної надлишковості</b>	
Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О., Сабо А. Г.	29



<b>Імітаційне моделювання роботи асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором</b>	
Кашкар'єв А. О., Сабо А. Г.	31
<b>Пристрій контролю і захисту групи асинхронних електродвигунів від аномальних режимів роботи</b>	
Квітка С. О.	33
<b>Структура питомих витрат електроенергії на елеваторах</b>	
Постнікова М. В.	35
<b>Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів за енергетичними показниками</b>	
Вовк О. Ю.	37
<b>Інформаційно-вимірювальна система діагностування трифазних низьковольтних асинхронних електродвигунів в процесі експлуатації</b>	
Нестерчук Д. М.	39
<b>Побудова пристрою захисту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором</b>	
Попова І. О.	41
<b>Обґрунтування діагностичних параметрів асинхронних електродвигунів для періодичного контролю</b>	
Вовк О. Ю.	43
<b>Характеристика і енергоємність технологічних процесів на елеваторах</b>	
Постнікова М. В.	45
<b>Електромеханічна система обробітку ґрунту на базі вентиляного електродвигуна</b>	
Ковальов О. В.	47
<b>Керування асинхронним електродвигуном за мінімумом витрати ресурсу ізоляції</b>	
Вовк О. Ю.	49
<b>Обґрунтування електроприводу ґрунтообробного агро модуля</b>	
Ковальов О. В.	51
<b>Технічний та енергетичний стан електромеханічної системи з трифазними асинхронними електродвигунами в умовах дії експлуатаційних впливів</b>	
Олійник В. Ю., Нестерчук Д. М.	53
<b>Підвищення енергетичних показників асинхронного двигуна шляхом суміщення схем з'єднання обмоток статора</b>	
Сідельников Б. Ю., Попова І. О.	55

<b>Аналіз методів діагностування асинхронних електродвигунів</b>	
Ревін О. М., Вовк О. Ю.	57
<b>Розробка температурно-струмового захисного пристрою асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором</b>	
Щербаков С. В., Попова І. О.	59
<b>Математична модель спожитої потужності електродвигунів тихохідних норій</b>	
Сідельников Б. Ю., Постнікова М. В.	62
<b>Система регулювання швидкості електродвигуна приводу ґрунтообробного мотоблоку</b>	
Ковальов О. В., Дьяченко Б. А.	64
<b>Аналіз енергоємності технологічного процесу калібрування насіння кукурудзи</b>	
Щербаков С. В., Постнікова М. В.	66

### *Секція 3. Електротехнології та електротехнологічні системи*

<b>Визначення коефіцієнта поглинання біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми при акустичному зондуванні</b>	
Яковлев В. Ф., Рясна О. В.	68
<b>Вибір способу ефективного застосування електроенергії в плодоовочевих сушарках</b>	
Сіренко В. Ф., Савойський О. Ю.	70
<b>Обґрунтування параметрів системи циліндричних електродів для пристроїв очищення рицинової олії в електричному полі</b>	
Назаренко І. П.	72
<b>Техніко-економічне обґрунтування використання електричної енергії для комбінованого способу сушіння яблук</b>	
Сіренко В. Ф., Савойський О. Ю.	74
<b>Обробка води ультрафіолетовим випромінюванням</b>	
Сапунов О. А., Журавель Д. П.	76
<b>Improving climate control efficiency by memristor air conditioners</b>	
Struchaiev N., Postol Y., Kvitka S.	78
<b>Обґрунтування технології знезараження води</b>	
Федоренко В. А., Журавель Д. П.	80
<b>Проблеми очищення стічних вод</b>	
Гулевський В. Б.	82

<b>Економічні методи збереження енергетичних ресурсів</b>	
Абраменко В. В., Славов В. В., Постол Ю. О.	84
<b>Експериментальні дослідження нагрівання біопального при обробці його надвисокочастотними хвилями</b>	
Риженко О. І., Струков В. С., Кушлик Р. В.	86
<b>Порівняльний аналіз резервуарного і термостатного технологій виробництва йогурту</b>	
Облещенко А. Д., Квітка С. О.	87
<b>Підвищення функціональних властивостей біопального обробленого ультразвуком</b>	
Струков В. С., Риженко О. І., Кушлик Р. В.	89
<b>Використання натрієвих ламп в спорудах захищеного ґрунту</b>	
Томілко Ю. С., Квітка С. О.	91

#### **Секція 4. Електропостачання та електроенергетичні системи**

<b>Підвищення ефективності електропостачання за рахунок структуризації ліній електропередачі</b>	
Черемісін М. М., Черкашина В. В.	93
<b>Теоретичні дослідження комбінованих енергосистем для вдосконалення способів керування електричними мережами електроенергетичних систем</b>	
Лисенко О. В., Дубініна С. В.	95
<b>Smart grid – розумна електросистема</b>	
Чернецький В. А., Курашкін С. Ф.	97
<b>Фактори впливу на роботу електротехнічних систем з комбінованою генерацією з боку відновлюваних джерел енергії</b>	
Лисенко О. В., Адамова С. В.	99
<b>Способи видалення льоду з проводів ліній електропередачі</b>	
Абраменко В. В., Курашкін С. Ф.	101
<b>Тенденції розвитку енергетичної галузі в світі</b>	
Чернецький В. А., Постнікова М. В.	103
<b>Результати застосування і використання сонячних теплових електростанцій</b>	
Тимофєєв С. О., Курашкін С. Ф.	105



## **Секція 5. Комп'ютерно-інтегровані технології та технічні інформаційні системи**



**Проектування автоматизованої системи поливу  
грунту на базі мікроконтролера Arduino**  
Лубко Д. В.

..... 107

## Секція 1. Загальна електротехніка

УДК 621.314:519.876.5

### ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Тиховод С. М., д.т.н.

[stikhovod@gmail.com](mailto:stikhovod@gmail.com)

Драпак К. М., студент

Національний університет «Запорізька політехніка»

Різка зміна режиму роботи силового трансформатора (наприклад, включення його під номінальну напругу, коротке замикання) призводить до перехідного процесу в його електромагнітній системі. Перехідний процес може протікати так, що магнітопровід входить в повне насичення, а кидок струму може в десятки разів перевищити номінальне значення.

Тому завдання оцінки перехідних процесів при різкій зміні режиму роботи силового трансформатора з феромагнітним осердям є актуальною.

В даний час таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітних процесів в схемах заміщення трансформатора і електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, що містить пов'язані між собою вітки різної природи. За електричним віткам протікає електричний струм, а по магнітним віткам - магнітний потік. Електричні струми, що протікають по обмотках, створюють відповідно до закону повного струму магніторушійні сили, і це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС). На даний момент таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітних процесів в схемах заміщення трансформатора та електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, що містить пов'язані між собою вітки різної природи. У електричних вітках протікає електричний струм, а по магнітним віткам - магнітний потік. Електричні струми, що протікають по обмотках, створюють відповідно до закону повного струму магніторушійні сили, і це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС).

Для моделювання динамічних електромагнітних процесів в таких схемах заміщення розроблена спеціалізована програма COLO. Останнім часом в трансформаторобудуванні знаходить широке застосування холоднокатана текстурована електротехнічна сталь. Ця сталь в порівнянні з гарячекатаною сталлю має більше значення магнітної проникності і більше значення магнітної індукції насичення. При цьому залежність  $B(H)$  холоднокатаної текстурованої сталі має вигляд функції, що різко змінюється від нуля до магнітної індукції насичення. Це призводить до появи тенденції розбіжності обчислювального процесу при моделюванні.

Поставлена задача вирішена за допомогою програмного комплексу COLO, розробленого за участю авторів цієї статті [1]. Програма COLO призначена для розрахунку часових залежностей струмів, магнітних потоків, електричних і магнітних напруг в будь-яких елементах взаємопов'язаних електричних та магнітних нелінійних кіл. Вебер-амперні характеристики нелінійних магнітопроводів задаються масивами опорних точок магнітних напруг і магнітних потоків. Тому визначення напруги по

заданому струму в проміжних точках в процесі обчислень виконується з використанням сплайн-інтерполяції. Масиви опорних точок кривих намагнічування отримують експериментально, а експериментальні точки завжди мають деякий розкид. Цей розкид може бути причиною розходження ітераційного процесу, який виконується на кожному кроці інтегрування. У програмі COLO характеристики нелінійних елементів обробляються спеціальними сплайн-функціями, що викликаються з Spline Toolbox системи Matlab.

У SplineToolbox передбачена робота не з самими характеристиками, а з їх pp-формами (наборами коефіцієнтів сплайн-інтерполяції), що спрощує апроксимацію і прискорює обчислення. Отримати pp-форму в системі Matlab можна за допомогою оператора:  $pp = csapi(MB, MH)$ , де MB, MH - вектора опорних точок для B і H кривої намагнічування сталі. У SplineToolbox є також можливість використання згладжує сплайна з заданим коефіцієнтом згладжування. Однак для функції, що різко змінюється використання згладжує сплайна призводить до неадекватного результату. Якщо згладжує сплайн застосувати до логарифму залежності  $\ln H(B)$ , то отримана апроксимація виконується адекватно і при цьому згладжується розкид експериментальних точок кривої намагнічування. Це призводить до поліпшення стійкості чисельного методу, що застосовується при моделюванні електромагнітного процесу.

#### **Список використаних джерел**

1. Тиховод С. М., Корнус Т. М., Паук Ю. И., Тарчуткин А. Л. Разработка алгоритма и программы расчета переходных процессов в нелинейных электрических цепях. *Электротехника и электроэнергетика*. 2003. № 1. С. 75-79.
2. Тиховод С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения. *Электротехника та електроенергетика*. 2014. № 2 . С. 59-68.

УДК [535.37+621.315.592+681.382.473]

## НАНОСТРУКТУРОВАНІ ПЛІВКОВІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ ЯК ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Дяденчук А. Ф.<sup>1</sup>, к.т.н.

[alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua](mailto:alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua)

Кідалов В. В.<sup>2</sup>, д.ф.-м. н.

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,

<sup>2</sup>Бердянський державний педагогічний університет

**Актуальність та постановка проблеми.** За останні роки інтерес до дослідження низькорозмірних напівпровідникових матеріалів істотно зріс, що пов'язано з широким використанням напівпровідникових гетероструктур у промисловому виробництві приладів оптоелектроніки та надвисокочастотної техніки. Із переходом від мікро- до нанотехнології складові елементи потребують постійного контролю і своєчасної модернізації. Для масового застосування бажаним є здешевлення виробництва таких приладів: заміна дорогих підкладок на більш дешеві, розробка дешевих технологій масового виробництва приладів тощо.

Одна із серйозних проблем, що виникає при епітаксійному нарощуванні плівок, полягає у значній розбіжності різниці сталих ґратокта різної величини коефіцієнтів розширення. Протягом останнього часу були перевірені найрізноманітніші способи усунення таких неузгодженостей. Однак ця проблема залишилася невирішеною, що зумовлює актуальність роботи.

Задля подолання даної проблеми пропонується вирішення плівкових покриттів проводити на поруватих підкладках. Скорочення структурних розмірів до нанометрової шкали призводить не тільки до мініатюризації функціональних блоків, але й до розробки нових матеріалів та систем з унікальними фізико-хімічними властивостями.

Плівки ZnO є активною областю досліджень протягом майже півстоліття завдяки різноманітним технологічним застосуванням унікального підходу. Практичний інтерес представляє вивчення і пошук оптимальних режимів процесу синтезу шарів на основі ZnO.

Метою дослідження є виготовлення напівпровідникових гетероструктур ZnO:Al/porous-CdTe/CdTe вивчення їх властивостей.

**Основні матеріали дослідження.** Гетероструктуру ZnO:Al/porous-CdTe/CdTe отримано нанесенням плівки ZnO методом золь-гель з наступним центрифугуванням на поверхню поруватого CdTe [1]. Порувата поверхня підкладки отримана методом електрохімічного травлення [2]. Для експериментів використовувалися зразки CdTe р-типу провідності, вирощені методом Бріджмена. Як електроліт використовували суміші плавикової, соляної та азотної кислот.

Отримання плівок ZnO відбувалося методом золь-гель з наступним центрифугуванням. Після дозрівання протягом 52 годин та ретельного перемішування розчину, який містив розчин 0,3 М ацетату цинку  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 12H_2O$ , абсолютний ізопропіловий спирт  $C_3H_8O$ , деметилформамід  $(CH_3)_2NCH_3$ , 2-метоксиетанол  $C_3H_8O_2$ , його було нанесено на отримані поруваті підкладки CdTe. По завершенню дослідні зразки були піддані відпалу при температурі 550° С.

Товщина утворених плівок складала порядку 1 мкм. Всі кристаліти в покриттях ZnO високо орієнтовані по осі с, перпендикулярної до поверхні підкладки. За результатами XRD встановлено параметром решітки ZnO. За положенням піку (002) згідно з

формулою Селякова-Шерера[3] розраховано середній розмір кристалітів утвореного покриття, який становить  $\approx 150$  нм, що погоджується з результатами скануючої електронної мікроскопії.

Із використанням моделі двовісної деформації в напрямку осі  $c$  [4] розраховано залишкову напругу  $\sigma$  в площині плівок. Отримана величина деформації становить 0.862 ГПа. Позитивне значення пов'язано з деформацією розтягу.

**Висновок.** У роботі методом золь-гель з наступним центрифугуванням на поверхні поруватого CdTe синтезовано плівки ZnO:Al. Рентгенівські дифрактометричні дослідження структури і фазовий склад електроосаджених шарів оксиду цинку виявили, що всі дифракційні піки, за винятком тих, що відносяться до підкладок porous-CdTe, відповідають гексагональній модифікації ZnO типу вюрцит.

1. Дяденчук А. Ф. Гетероструктури n-ZnO:Al/porous-CdTe/p-CdTe в якості фотоелектричних перетворювачів. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2017. Т. 15, № 3. С. 487-494.

2. Дяденчук А. Ф. Отримання поруватих напівпровідників методом електрохімічного травлення: монографія. Бердянськ: БДПУ, 2017. 111 с.

3. Уманский Я. С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Москва: Металлургия, 1982. 632 с.

4. Kim M. S. Thickness Dependence of Properties of ZnO Thin Filmson Porous Silicon Grownby Plasma-assisted Molecular Beam Epitaxy. *Journal of the Korean Physical Society*. 2001. V. 59. Pp. 2354-2361.



УДК 621.3.01:519.876.5

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ З РОЗКЛАДАННЯМ ПОХІДНОЇ ФУНКЦІЇ ЗА ПОЛІНОМАМИ

Тиховод С. М., д.т.н.

[stikhovod@gmail.com](mailto:stikhovod@gmail.com)

Паталах Д. Г., студент

Національний університет «Запорізька політехніка»

Моделювання перехідних процесів в електричних колах в даний час виконують шляхом складання і розв'язання рівнянь стану на підставі законів Кірхгофа або шляхом використання готових програм, в яких рівняння стану складаються автоматично за заданою схемою кола. Перехідні процеси можуть бути досить тривалими, що призводить до значного часу розрахунку при використанні сучасних обчислювальних засобів. В роботі [1] для пришвидшення обчислювальних процесів використано поліноміальну апроксимацію розв'язку. Обмеження методу дає похибка обчислення похідної розв'язку.

Мета даної роботи – розробка швидкодіючого методу розрахунку перехідних електромагнітних процесів, що використовує поліноміальну апроксимацію похідної розв'язку.

Для спрощення викладу розглянемо одноконтурне коло змінного струму, що містить резистивний ( $R$ ), індуктивний ( $L$ ) і ємнісний ( $C$ ) елементи, включені послідовно. Нехай до комутації конденсатор був заряджений до напруги  $u_c(t_0) = u_{c0}$ . При підключенні в момент  $t=t_0$  джерела змінної ЕРС  $e(t)$  в колі відбувається перехідний процес, який описується лінійним інтегро-диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами:

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

У запропонованому методі задаємо рішення для похідної струму, як функцію від часу, в інтервалі часу. Цю функцію від часу апроксимуємо алгебраїчним поліномом  $N-1$ -го ступеня [2]:

$$\frac{di(t)}{dt} \approx p(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_N t^{N-1} \quad (2)$$

Для апроксимуючого полінома (2) поставимо умову, що в точках  $t_k$  ділення інтервалу зміни аргументу значення похідної за часом струму збігаються з відповідними значеннями полінома:

$$i'(t_k) = p(t_k), \quad (3)$$

для  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .

Якщо умову (3) записати для кожної точки  $t_k$ , то отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь, якщо прийняти, що  $t_0 = 0$ . Віднімемо з усіх рівнянь системи перше рівняння і отримаємо скорочену систему, яка в матричній формі має вигляд:

$$\mathbf{D} \mathbf{A} = \mathbf{I} - \mathbf{I}'_0, \quad (4)$$

де  $\mathbf{D}$  - матриця Вандермонда [2] без першого рядка і першого стовпця;

$\mathbf{A} = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{N-1}]^T$  – вектор коефіцієнтів апроксимуючого полінома;

$\mathbf{I}' = [i'(h) \ i'(2h) \ \dots \ i'((N-1)h)]^T$  – вектор значень похідних струму в вузлових точках  $1, 2, \dots, N-1$ .

Проінтегруємо вираз (2) від нуля до  $k$ -ї точки при зміні номера  $k$  від 1 до  $N-1$ :

$$\begin{aligned} i(t_k) &= \int_0^{t_k} p(t)dt + i_0 = \int_0^{t_k} (a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_{N-1}t^{N-1})dt + i_0 = \\ &= a_0t_k + \frac{1}{2}a_1t_k^2 + \frac{1}{3}a_2t_k^3 + \dots + \frac{1}{N}a_{N-1}t_k^N + i_0 \end{aligned} \quad (5)$$

де  $t_k = kh$ .

Підстановка в інтеграл вираження (5) значень  $k$  від 1 до  $N-1$  дає систему рівнянь в матричній формі

$$\mathbf{I} = \mathbf{V} \mathbf{A} + \mathbf{\Gamma}' \otimes \mathbf{H} + \mathbf{I}_0 \quad (6)$$

де  $\mathbf{I}$  – вектор значень струму в опорних точках;  $\mathbf{I}_0 = [i_0, i_0, i_0, \dots, i_0]^T$ ;

$$\mathbf{H} = [h \quad 2h \quad \dots \quad (N-1)h]^T \quad (7)$$

де символ  $\otimes$  означає поелементне множення вектора на кожен стовпець матриці, а символ  $\Gamma$  означає транспонування.

Займімося тепер обчисленням напруги на конденсаторі (третє і четверте складові в виразі (1)).

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t)dt + u_c(0) = \frac{1}{C} \left[ \int_0^t (a_0t + \frac{1}{2}a_1t^2 + \frac{1}{3}a_2t^3 + \dots + \frac{1}{N}a_{N-1}t^N + i_0)dt \right] + u_c(0). \quad (8)$$

Обчислимо інтеграл у виразі (8) і розпишемо цей вислів для точок  $t = t_k = kh$ ,  $k = 1, 2, \dots, N-1$ . Отримаємо в матричній формі:

$$\mathbf{U}_c = \mathbf{B} \mathbf{W} \mathbf{A} + \mathbf{B} \left[ \mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2} \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2 \right] + \mathbf{U}_{c0} \quad (9)$$

де  $\mathbf{B}$  зворотна величина ємності конденсатора:  $\mathbf{B} = \frac{1}{C}$ ;

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \frac{h^3}{2 \cdot 3} & \frac{h^4}{3 \cdot 4} & \dots & \frac{h^{N+1}}{N \cdot (N+1)} \\ \frac{(2h)^3}{2 \cdot 3} & \frac{(2h)^4}{3 \cdot 4} & \dots & \frac{(2h)^{N+1}}{N \cdot (N+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{2 \cdot 3} ((N-1)h)^3 & \frac{1}{3 \cdot 4} ((N-1)h)^4 & \dots & \frac{1}{N \cdot (N+1)} ((N-1)h)^{N+1} \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} h^2 \\ (2h)^2 \\ \vdots \\ ((N-1)h)^2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{U}_{c0} = [u_{c0}, u_{c0}, \dots, u_{c0}]^T; \quad u_{c0} = u_c(0). \quad (11)$$

У рівняння (1) для опорних точок підставимо апроксимацію всіх доданків відповідно до виражень (4), (6), (9) і отримаємо матричне рівняння:

$$\mathbf{L} \mathbf{D} \mathbf{A} + \mathbf{L}'_0 + \mathbf{R} \mathbf{V} \mathbf{A} + \mathbf{R} (\mathbf{I}_0 + \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}) + \mathbf{B} \left[ \mathbf{W} \mathbf{A} + \mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2} \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2 \right] + \mathbf{U}_{c0} = \mathbf{e} \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (13):

$$(\mathbf{L} \mathbf{D} + \mathbf{R} \mathbf{V} + \mathbf{B} \mathbf{W}) \mathbf{A} = \mathbf{e} - \mathbf{L}'_0 - \mathbf{R} (\mathbf{I}_0 + \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}) - \mathbf{B} \left[ \mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2} \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2 \right] - \mathbf{U}_{c0} \quad (13)$$

де  $\mathbf{e}$  - вектор значень ЕРС джерела в точках 1, 2, ...,  $N-1$  тимчасового інтервалу  $\tau$ .

Рівняння (13) можна пояснити наступним чином. Нехай у вихідній вітці R-L-C протікає істинний струм  $i(t)$ . Тоді відповідно до рівняння (13) вихідної гілки відповідає вітка заміщення, в якій проходить так званий операційний ток  $A$ , який зображає вихідний струм  $i(t)$ . При цьому в галузі заміщення резистивний елемент має операторний опір  $R \cdot V$  і послідовно з ним назустріч току включається джерело ЕРС  $R(I_0 + I_0 \otimes H)$  (рис. 1):

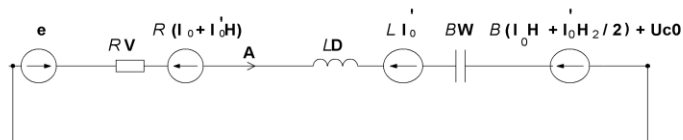


Рис. 1. Інтерпретація рівняння (13)

Індуктивний елемент має операторний опір  $L \cdot D$  і послідовно з ним назустріч току включається джерело ЕРС, а ємнісний елемент має операторний опір -  $BW$  і послідовно

з ним назустріч току включається джерело ЕРС  $B \left[ I_0 \otimes H + \frac{1}{2} I_0 \otimes H_2 \right] + U_{c0}$ .

Таким чином отримали другий закон Кірхгофа для зображень струмів  $A$  в схемі заміщення.

Можна довести, що в вузлах схеми заміщення для зображень  $A$  дотримується закон струмів Кірхгофа:

$$\sum_{k=1}^b A_k = 0 \quad (14)$$

При відомих значеннях струмів віток  $i_k$  і напруг на конденсаторах  $u_{Ck}$  в точці  $t_0$  початку інтервалу  $\tau$  система рівнянь, складена за законами Кірхгофа, для всіх вузлів без одного і для всіх головних контурів має єдине рішення. В результаті рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь отримуємо вектори поліноміальних коефіцієнтів  $A_k$  для всіх віток. Знаючи для будь-якої вітки коефіцієнти полінома і значення  $i_0$  в початковій точці  $t_0$ , ми можемо отримати значення струму згідно (6) і напруги на конденсаторі у всіх довільних точках будь-якого з  $N$  відрізків в інтервалі часу  $\tau$ .

Для випробування розробленої методики в системі GNU Octave [3] складено кілька комп'ютерних програм для розрахунку перехідних процесів в електричних колах. Розрахунки показали ефективність запропонованого методу.

### Висновки

1. Запропоновано методику побудови схем заміщення електричного кола, яка дозволяє безпосередньо обчислювати коефіцієнти поліноміальної апроксимації шуканих струмів в перехідних режимах.

2. Вектори поліноміальних коефіцієнтів задовольняють законам струмів і напруг Кірхгофа для схеми заміщення і є рішеннями системи алгебраїчних рівнянь.

3. Запропонована методика відрізняється тим, що в ній відсутня операція обчислення похідної рішення, що дозволяє значно підвищити точність розрахунків.

### Список використаних джерел

1. Бахвалов Н. С. Численные методы. Москва: Наука, 1987. 630 с.
2. Тиховод С. М. Метод численного расчета переходных процессов в электрических цепях и его схемная интерпретация. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2013. № 5. С. 85-92.
3. GNU Octave. URL: hg clone <https://www.octave.org/hg/octave> (дата звернення: 16.04.2020).

УДК 004.032.26

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Тиховод С. М., д.т.н.

[stikhovod@gmail.com](mailto:stikhovod@gmail.com)

Олейніков М. О., студент

Національний університет «Запорізька політехніка»

Основним завданням планування експерименту є розташування експериментальних точок в досліджуваній області факторного простору з метою отримання найбільш точного математичного опису об'єкта при мінімальній кількості експериментів, що встановлюється заданим критерієм оптимальності плану. До оптимізації приступають після аналізу апріорної інформації. В області експерименту встановлюють основні рівні та інтервали варіювання факторів. Основним або нульовим рівнем фактору називають його значення, прийняте за вихідне в плані експерименту, по можливості ближче до оптимального значення.

Мета роботи – розробити методика проведення серії повних факторних експериментів (ПФЕ) по створенню навчальних вибірок для навчання нейронної мережі адаптації.

В якості даних для навчання нейронних мереж адаптації використовуються дані об'єктів регулювання і, відповідні кожному набору даних, оптимальні параметри настройки регулятора.

При проведенні одного ПФЕ шляхом послідовного перебору всіх можливих поєднань рівнів варіювання складається повна матриця планування, що складається з 8 вхідних (параметри об'єкта регулювання) і 8 вихідних наборів (параметри налаштування відповідного регулятора) значень для навчання нейронної мережі.

Кількість наборів даних  $Z$  для навчання нейронної мережі можна розрахувати наступним чином:

$$Z = 2^x \cdot F \cdot M, \quad (1)$$

де  $x$  – кількість змінних параметрів об'єкта регулювання;

$F$  – кількість проведених факторних експериментів з різними коефіцієнтами інтервалів варіювання;

$M$  – кількість заданих частотних показників коливальності.

Навчальна вибірка, що складається з одного повного факторного експерименту і одного заданого частотного показника коливальності для відтворення параметрів налаштування ідеального ПД регулятора, в загальному вигляді представлена в таблиці 1.

Всі отримані реалізації перехідних процесів та відповідних їм імпульсних перехідних характеристик показані на рис. 1.

При навчанні нейронних мереж слід пам'ятати, що параметри налаштування регулятора  $\{k_p, T_w, T_d\}$  є групами чисел в різних діапазонах значень, тому для якісного навчання нейронної мережі необхідно провести нормування кожної групи параметрів в діапазоні дії обраної активаційної функції. Даний метод дозволяє звести до мінімуму вплив великих чисел на функцію мети навчання нейронної мережі та підвищити точність її навчання.

Таблиця 1 – Навчальна вибірка для тренування нейронної мережі адаптації

№ точки	Параметри об'єкта регулювання			Параметри налаштування ПІД-регулятора		
	$K_0$	$T_0$	$\tau_0$	$k_p$	$T_{И}$	$T_{Д}$
1	$K_0^{min}$	$T_0^{min}$	$\tau_0^{min}$	$k_p^1$	$T_{И}^1$	$T_{Д}^1$
2	$K_0^{max}$	$T_0^{min}$	$\tau_0^{min}$	$k_p^2$	$T_{И}^2$	$T_{Д}^2$
3	$K_0^{min}$	$T_0^{max}$	$\tau_0^{min}$	$k_p^3$	$T_{И}^3$	$T_{Д}^3$
4	$K_0^{max}$	$T_0^{max}$	$\tau_0^{min}$	$k_p^4$	$T_{И}^4$	$T_{Д}^4$
5	$K_0^{min}$	$T_0^{min}$	$\tau_0^{max}$	$k_p^5$	$T_{И}^5$	$T_{Д}^5$
6	$K_0^{max}$	$T_0^{min}$	$\tau_0^{max}$	$k_p^6$	$T_{И}^6$	$T_{Д}^6$
7	$K_0^{min}$	$T_0^{max}$	$\tau_0^{max}$	$k_p^7$	$T_{И}^7$	$T_{Д}^7$
8	$K_0^{max}$	$T_0^{max}$	$\tau_0^{max}$	$k_p^8$	$T_{И}^8$	$T_{Д}^8$

Нормування кожної групи параметрів проводиться згідно з формулою [1]:

$$x^{norm} = [(min - max) \cdot (x_i - max\{x\})] / [min\{x\} - max\{x\}] + max, \quad (2)$$

де  $x_i$  – поточне значення параметра регулятора;

$\{x\}$  – вектор значень нормованого параметра регулятора.

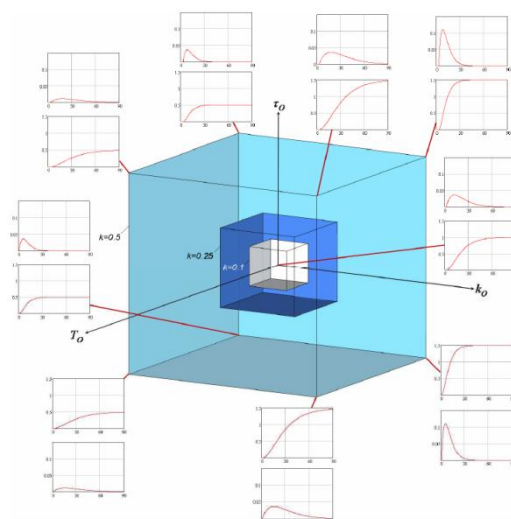


Рис. 1. Проведення ПФЕ та побудова графіків перехідних процесів та відповідних їм імпульсних перехідних характеристик для коефіцієнта інтервалу варіювання  $k = 0,5$

**Висновки.** Зроблений синтез тренувальних множин із застосуванням ПФЕ і спеціально введеним коефіцієнтом варіювання для навчання нейронних мереж адаптації. Досліджені можливості навчання адаптивних нейронних мереж декількома видами навчальних вибірок, що мінімізують критерії якості.

#### Список використаних джерел

Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. 290 с.



УДК 621.313.33

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АКТИВНО-ЄМНІСНОГО ФІЛЬТРА НАПРУГИ ЗВОРотної ПОСЛІДОВНОСТІ

Попова І. О., к.т.н.

[irirnapopova54@gmail.com](mailto:irirnapopova54@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Обмотка статора асинхронного двигуна (АД) є найбільш вразливою його частиною. Причин виходу з ладу обмотки статора АД багато, до них відносяться: струмові перевантаження обмотки статора збоку робочої машини (до 50 %), також заклинення ротору і руйнація підшипникового вузла, виникнення неприпустимої асиметрії напруги фаз мережі або обрив фазного проводу виходить з ладу до 45% статорних обмоток АД та інші. Таким чином, несиметричні режими напруги мережі і обрив фазного проводу АД є одними з головних причин його поламки [1].

Найбільш простими пристроями надійного контролю і діагностування несиметричних режимів трифазної напруги є фільтри симетричних складових, які розділяються на фільтрові датчики напруги: прямої, зворотної і нульової послідовностей. Але параметри складових елементів фільтрів напруги визначаються таким чином, щоб виділити ту, чи іншу симетричну складову напруги [2].

**Основні матеріали дослідження.** Активно-ємнісний фільтр напруги зворотної послідовності (ФНЗП) має два плеча, в кожному з яких послідовно резистор і конденсатор (рис. 1а). Вхідні затискачі *a*, *b*, *c* приєднуються до трифазної мережі живлення, а вихідні *m* та *n* – до захисного пристрою.

Якщо на вході ФНЗП симетрична трифазна напруга прямої складової, векторна діаграма якої наведена на рисунку 1б, під впливом напруги  $U_{ab}$  через ділянку R1-C1 тече струм  $I_1$ , який випереджає напругу  $U_{ab}$  на кут зсуву фаз  $\varphi_1$ .

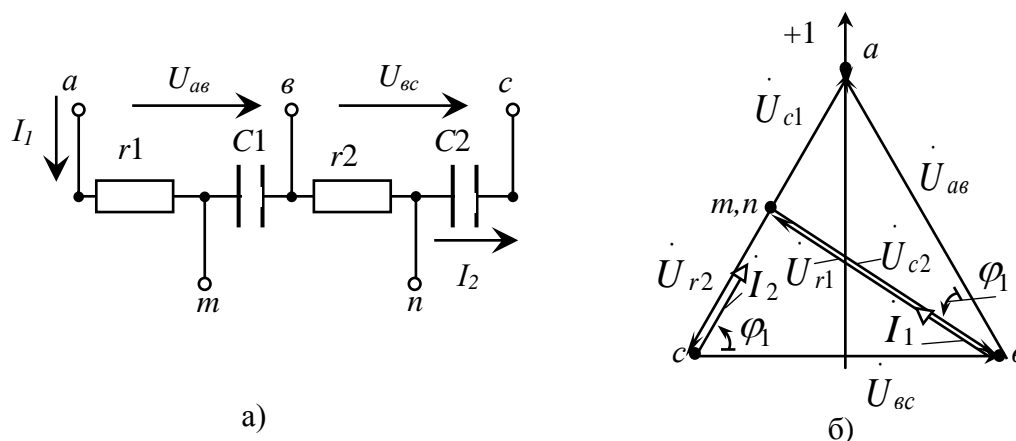


Рис. 1. Розрахункова електрична схема (а) і векторна діаграма (б) фільтра напруги зворотної послідовності

Струм  $I_1$  створює падіння напруги на резисторі R1 і конденсаторі C1, тобто визначає положення точки *m* на векторній діаграмі. Під дією напруги  $U_{bc}$  через ділянку R2-C2 тече струм  $I_2$ , які визначають положення точки *n* на векторній діаграмі.

Параметри елементів фільтра: активні опори резисторів R1, R2 і ємнісні опори конденсаторів C1, C2 обираються таким чином, щоб точки  $m$  і  $n$  співпадали на векторній діаграмі. Оскільки падіння напруги на опорах резисторів ФНЗП пропорційні цим опорам, тоді співвідношення опорів плечей ФНЗП визначаються наступним чином:

$$\frac{r_1}{x_{C1}} = \frac{x_{C2}}{r_2} = \sqrt{3}, \quad (1)$$

де  $r_1, r_2$  – активні опори резисторів, Ом;  
 $x_{C1}, x_{C2}$  – ємнісні опори конденсаторів, Ом.

Величина напруги плечей ФНЗП у симетричному режимі визначається за рівняннями:

$$U_{r1} = U_{C2} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Delta}}{2}, \quad (2)$$

$$U_{r2} = U_{C1} = \frac{U_{\Delta}}{2}. \quad (3)$$

Відповідно сили струмів плечей  $I_1$  і  $I_2$  визначаються за рівняннями:

$$I_{C1} = \frac{U_{\Delta}}{2 \cdot x_{C1}}, \quad (4)$$

$$I_{r2} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Delta}}{2 \cdot x_{C2}}. \quad (5)$$

Якщо на вхід ФНЗП подати симетричну напругу зворотної послідовності, тоді електрорушійна сила на вихідних затискачах ФНЗП  $E_{ф.н.}$  визначається співвідношенням

$$E_{ф.н.} = 1,5 \cdot U_2. \quad (6)$$

**Висновок.** Запропонований розрахунок параметрів елементів фільтра напруги зворотної послідовності дозволяє відстроїти захисний пристрій від несиметрії напруги мережі і підвищити його надійність.

#### Список використаних джерел

1. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 114-115.
2. Попова І. О. Мінкін О. В. Ресурсозберігаючий пристрій захисту від несиметричних режимів асинхронних двигунів двигуна. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку*: матеріали Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Переяслав-Хмельницький, 17 листопада 2018 р.). Переяслав-Хмельницький, 2018. Вип. 46. С. 495-499.
3. Попова І. О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрію напруг мережі: автореф. дис... к. т. н. Мелітополь, 2003. 20 с.

УДК 632.935.4

## БОРОТЬБА З БУР'ЯНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Чепак А. М., студент

[nastacepak349@gmail.com](mailto:nastacepak349@gmail.com)

Вовк О. Ю., к.т.н.

[oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Перед аграріями України стоїть задача збільшення виробництва сільськогосподарської продукції. Одним з критеріїв є висока культура землеробства, яка несумісна з засміченням полів бур'янами. Так як знищення бур'янів повністю неможливе, то завдання сільськогосподарського виробництва полягає в тому, щоб підтримувати рівень бур'янів на рівні, який би не чинив негативний вплив на врожай культурних рослин [1].

Застосування гербіцидів з метою зменшення чисельності бур'янів в наш час досить популярне, але такий метод негативно позначається на навколишньому середовищі і житті людини. Гербіциди належать до надзвичайно сильних біологічно активних речовин і мають різний період розпаду. Залишки деяких із них можуть зберігатися у ґрунті впродовж декількох років, впливаючи на наступні культури у сівозміні. Це явище має назву «післядія гербіцидів», під яким розуміється вплив залишків застосованого в попередні роки препарату на стан культурних рослин, ґрунт і ступінь засміченості посіву поточного року. Щодо ґрунту вона визначається в основному трьома чинниками: абсорбцією, розкладанням і міграцією (переміщенням), які залежать від ґрунтово-кліматичних, агротехнічних умов, а також від властивостей самого препарату [2].

**Основні матеріали дослідження.** Крім традиційних методів боротьби з бур'янами, найбільший науковий і практичний інтерес з точки зору екологічної чистоти та ефективності впливу представляють електрофізичні методи: СВЧ, змінний і імпульсний струм високої напруги [3].

Найбільш перспективні для винищення бур'янів – імпульси високої напруги, які дозволяють знизити енергоємність процесу і отримати екологічно чисту продукцію.

Технологія боротьби з бур'янами за допомогою імпульсів струму високої напруги передбачає такі три етапи [3]:

- вплив на насіння, яке знаходиться в верхньому шарі ґрунту для того, щоб запобігти або спровокувати їх проростання;
- знищення паростків бур'янів;
- знищення дорослих бур'янів.

Перший етап технології застосовується після збирання врожаю або перед посівом і передбачає очищення ґрунту від насіння бур'янів. Другий етап спрямований на знищення паростків бур'янів, а третій – дорослих бур'янів.

З точки зору енергоємності доцільніше знищувати молоді паростки бур'янів. Дослідження вчених показують, що на знищення 3-4 тижневих бур'янів потрібна менша напруга і потужність імпульсу, ніж при обробці насіння, що знаходяться в ґрунті.

Предбачувана технологічна схема приведена на рисунок 1.

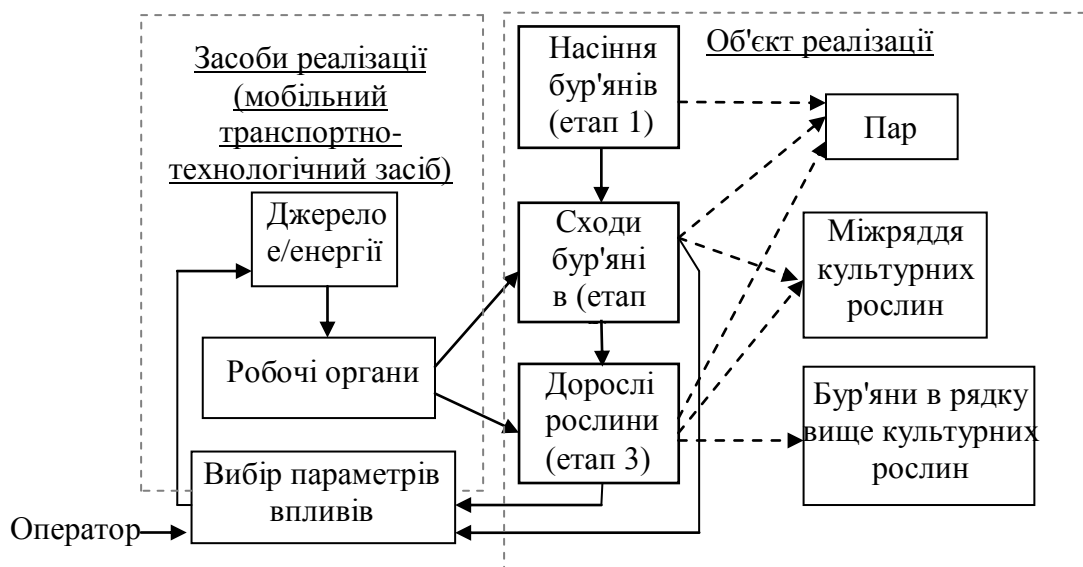


Рис. 1. Технологічна схема знищення бур'янів

**Висновок.** Застосування електричних імпульсів високої напруги при боротьбі з бур'янами допомагає уникнути механічного впливу на ґрунт при обробці (розпорошення ґрунту, посилення ерозії); знищувати бур'яни, які переросли культурні рослини в рядках, що неможливе при механічній обробці; виключити застосування гербіцидів та отримати екологічно чисту продукцію, можливість уникнення післядії гербіцидів, що позитивно позначиться на стані довкілля.

#### Список використаних джерел

1. Юдаев И. В., Махонин И. А., Плексачев Ю. Н. Электрическая прополка как элемент экологически чистого использования в системе Mini-Till. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2011. № 3(23). С.15-21.
2. Топорков В. Н., Королев В. А. Теоретические основы создания электроимпульсных культиваторов для борьбы с сорняками. *Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование*. 2016. № 3(35). С.46–55.
3. Топорков В. Н., Королев В. А. Электрическая энергия в борьбе с сорняками. *Энергетика і автоматика*. 2015. № 4. С.214–221.

## Секція 2. Електромеханічні комплекси і системи

УДК 621.3.078

### TWO-ZONE SPEED CONTROL OF HYBRID EXCITED SYNCHRONOUS MACHINE

**Mykola Ostroverkhov**, Doctor of Technical Sciences  
**Vadim Chumack**, PhD  
**Yevhen Monakhov**, PhD  
*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

[n.ostroverkhov@hotmail.com](mailto:n.ostroverkhov@hotmail.com)  
[chumack\\_kpi@ukr.net](mailto:chumack_kpi@ukr.net)  
[emonachov@gmail.com](mailto:emonachov@gmail.com)

**Introduction.** During last decades axial flux permanent-magnet machines gained interest due its high power – to – weight ratio at low rotation speed in comparison with radial-flux machines. In general, permanent magnet synchronous machines have high efficiency, reliability and simplicity of design due lack of brushes and excitation windings. The main disadvantage for electric drive application is inability to control the magnetic flux. It is well known the vector control allows to inject a negative  $d$ -axis current for magnetic flux weakening. Nevertheless, injection of negative current in this technique may effect on the permanent magnets and their properties. Another way to control magnetic flux in machine is usage the hybrid excited synchronous machines (HESM) that have two sources of excitation: permanent magnets and excitation winding. Permanent magnets create a fix magnetic flux. Electric drive based on HESM allows to provide two-zone motor speed control. In first zone while speed changes from zero to nominal value the control is carried out at constant torque. In second zone at the speeds higher than nominal value the control is carried out at constant power due to weakening of the magnetic field and limitation of voltage motor supply. The first zone of motor speed control is being characterized by maximum value of ex-citation current. In a case of 2nd zone the excitation current is being decreased, thus the magnetic field is being weakened. Due the made assumptions in design methodology or lack of initial information the miscalculations and errors during the determination of parameters of the equivalent circuit of the HEMS may appear. Another case of extra errors may be cause by changing of motor modes, for example, the resistance of armature winding will change due the process of heating. Thus, the evaluated and real motor parameters in electric drive will be different that leads to deterioration of quality control of any technological process. Naturally, the parameters of hybrid excited synchronous machine interrelated each other and depends upon many conditions, e.g. eddy currents. Thus, during operation the control system should estimate and compensate the influence of these coordinate perturbations, that is complicated task due uncertainties in a mathematical model. Analysis of methods for control law optimization showed that solutions can be found based on a concept of reverse task of dynamics in combination with minimization of local functionals of instantaneous values of energies. The aim of the paper is the identification of proper control laws which would allow a smaller sensitiveness of change the machines parameters and the simplicity of realization of the two-zone speed control of hybrid excited synchronous machine, and consequently ensure sufficient control performance.

**Materials and results obtained.** The control speed block diagram is depicted in the figure 1: PSS – position and speed sensor;  $CC_{i_d}$ ,  $CC_{i_q}$  and  $CC_{i_f}$  – current controllers; SC – speed controller; VC – voltage controller, CLARK/PARK – the Clark and Park transformation, IPARK – inverse Park transformation, AC/DC – controlled rectifier, DC/AC – three phase inverter. The speed control loop is external relatively to the internal loop of



current  $q$ -axis current  $i_q$ , which defines a value of the motor's electromagnetic torque. The loop of excitation field current  $i_f$  can be easily controlled that allows to extend the range of speed control with a constant power.

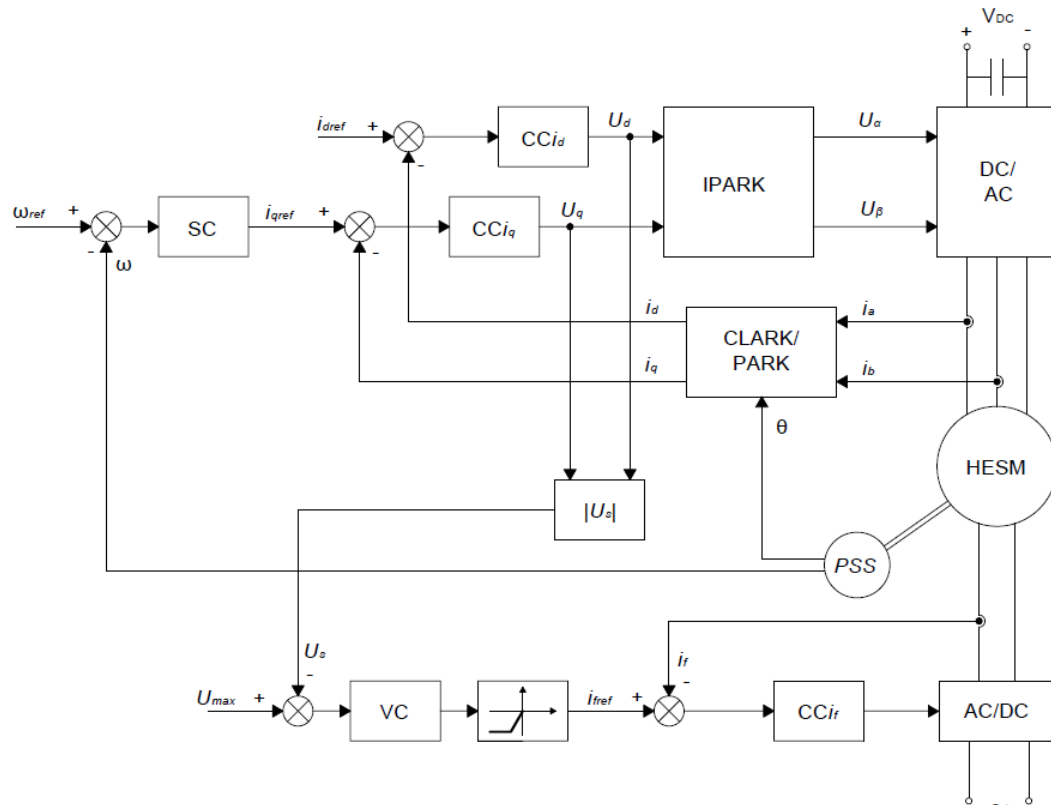


Figure 1. Block diagram of control system

The developed vector control system was investigated through simulation with the following parameters of the HESM:  $P=95$  W – rated power;  $U_n= 52$  V – rated phase voltage;  $I_n = 1,2$  A – rated phase current;  $n=750$  rpm – nominal rotation speed;  $U_{exc} = 8$  V – nominal excitation voltage;  $I_{exc}=1$  A – rated excitation current. The errors of referenced speed received for 2 different values of stator resistance:  $R_s=8.8$   $\Omega$  (nominal value) and  $R_s=13.2$   $\Omega$  (1.5 of nominal value); and for 2 different values of field excitation winding  $R_f=8$   $\Omega$  (nominal value) and  $R_f=12$   $\Omega$  (1.5 of nominal value). As seen, this parametric disturbance doesn't influence on the dynamic characteristics of the system – both transients are identical. Maximum value of dynamic speed error at the startup of the motor doesn't exceed more than 3 rpm.

**Conclusions.** The proposed electrical drive based on the HESM can be designed based on the relatively simple methodology, applying a concept of reverse task of dynamics in combination with minimization of local functionals of instantaneous values of energies. The system proposed in paper accomplish dynamic decomposition of interrelated control object, that allows to synthesize controllers of component current, excitation current and speed of motor by mathematical models of local loops. The synthesized control system provides weak sensitiveness to variations of hybrid excited synchronous machine parameters due the heating of machine or inaccurate identification of parameters of mathematical model by present methodologies. The results of research show astatic regulation in a case of speed change since zero till speeds in two times more than nominal. The high quality of control is kept in a case of change the resistance of armature winding into 1,5 times and winding excitation due the heating of machine.

УДК 631.22:628.9

## ОЦІНКА НОРМАЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ СТРУМУ ВИТОКУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ В МЕРЕЖАХ 0,38 КВ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Козирський В. В.<sup>1</sup>, д.т.н.

Герасименко В. П.<sup>2</sup>, інженер

Майбородіна Н. В.<sup>2</sup>, к. ф.-м. н.

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

<sup>2</sup>ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

**Постановка проблеми.** Відомо, що при аналізі експериментальних даних можна використовувати гістограми, що дозволяє візуально порівняти графіки з теоретичним і емпіричним розподілами випадкової величини.

**Основні матеріали дослідження.** На основі експериментально отриманих величин струму витоку систем електроосвітлення тваринницького приміщення [1, 2, 3] було побудовано гістограму, що наведена на рис. 1

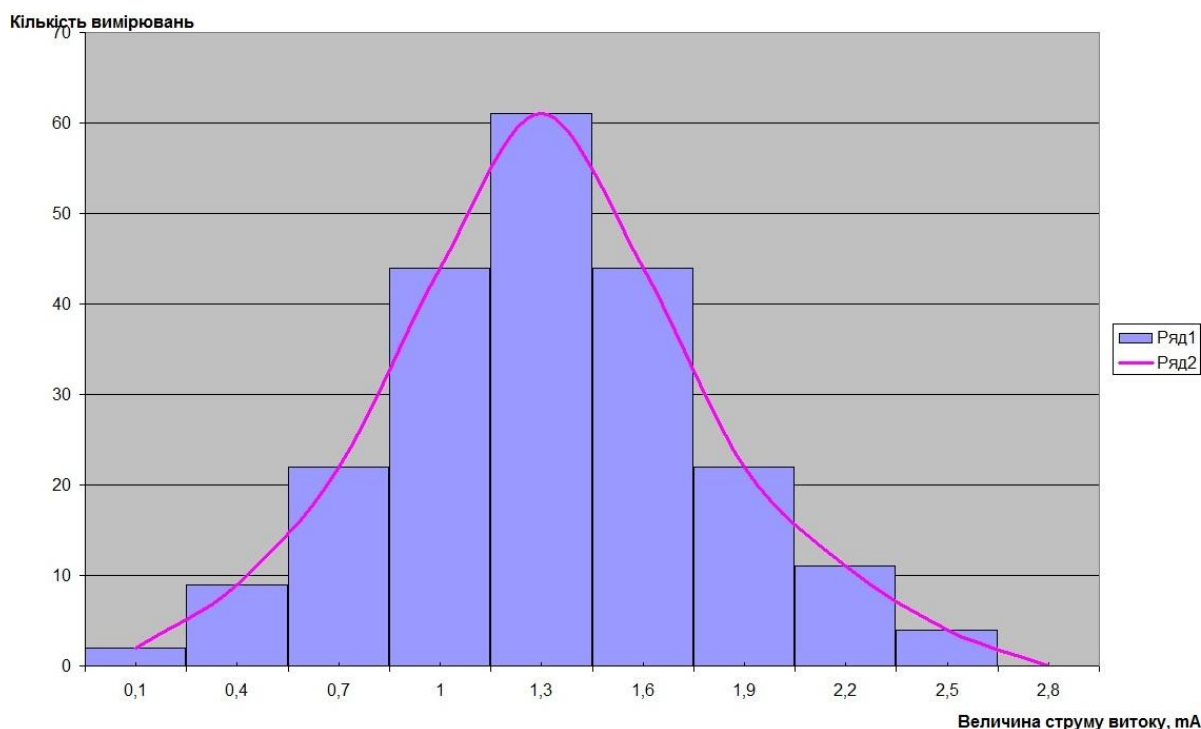


Рис. 1. Гістограма струму витоку струму витоку систем електроосвітлення тваринницького приміщення

Оцінка нормальності розподілу струму витоку при використанні гістограми дозволяє візуально порівняти графік випадкової величини із зображенням кривої, розподіленої за нормальним законом.

У разі неможливості однозначно зробити висновок про розподіл випадкової величини за критерієм гістограм можна скористатися іншими гіпотезами. Перевірка

гіпотези про закон розподілу вибірових даних заснована на оцінці розбіжності між теоретичним і емпіричним розподілами. Якщо отримана в результаті дослідження розбіжність перевищує деяке критичне значення, то воно вважається значимим і гіпотеза відкидається. Якщо розбіжність менше критичного значення, то результат випробування вважається не суперечить гіпотезі.

**Висновок.** Проаналізувавши дану гістограму і використавши критерії перевірки на нормальність можна стверджувати, що розподіл струму витoku близький до нормального закону розподілу випадкових величин.

#### Список використаних джерел

1. Герасименко В. П. Експериментальне дослідження струму витoku в мережах 0,38 кВ у тваринницьких приміщеннях // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК"*. К.: ВЦ НУБіП України, 2012. Вип. 174, ч.2. С. 190 – 199.
2. Козирський В. В. Моделювання струму витoku асинхронного двигуна в залежності від параметрів режиму роботи та опору ізоляції // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Т4, Вип. 13. С. 37 – 43.
3. Герасименко В. А. Исследование полученных результатов измерения тока утечки в низковольтных сетях напряжением 380 В животноводческих помещений // *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 16–17 окт. 2013 г.)*. В 3 т. Т. 3. Минск: Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. Том 3. С. 291-296.
4. Закс Лотар Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976.

УДК 631.22:628.9

## ПЕРЕВІРКА РОЗПОДІЛУ СТРУМУ ВИТОКУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ МЕРЕЖ 0,38 КВ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ ЗА КРИТЕРІЯМИ НОРМАЛЬНОСТІ

Козирський В. В.<sup>1</sup>, д.т.н.

Герасименко В. П.<sup>2</sup>, інженер

Майбородіна Н. В.<sup>2</sup>, к.ф.-м. н.

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

<sup>2</sup>ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

**Постановка проблеми.** Відомо, що при аналізі експериментальних даних можна використовувати критерії нормальності розподілу, що дозволяє порівняти теоретичні і емпіричні розподіли певної величини.

**Основні матеріали дослідження.** На основі експериментально отриманих величин струму витоку систем електроосвітлення тваринницького приміщення [1, 2] отримано масив даних. Якщо отримана в результаті досліду розбіжність перевищує деяке критичне значення, то воно вважається значимим, тоді гіпотеза про нормальність розподілу відкидається. Якщо розбіжність менше критичного значення, то результат вважається таким, що не суперечить гіпотезі.

### 1 критерій

Швидко перевірку гіпотези нормальності розподілу для широкого класу вибірок  $3 < n < 1000$  можна виконати за допомогою методу, описаного в [3], використовуючи розмах варіації  $R = \max - \min$ . Обчислимо відношення  $\frac{R}{S}$  і порівняємо отримане значення з критичними верхніми і нижніми межами цього відношення, які наведено в табл. Д.6.

Якщо  $\frac{R}{S}$  більше нижньої і менше верхньої, то розподіл нормальний.

$$\frac{R}{S} = \frac{2,4}{0,4686} = 5,1216.$$

При  $n = 219$  і при 5% рівні значущості  $p = 0,05$  нижня і верхня межі відповідно 4,78 та 6,39, тобто  $4,78 < 5,1216 < 6,39$ .

Отже, гіпотеза нормальності розподілу підтверджується.

### 2 критерій

Проведемо аналіз близькості емпіричного розподілу до нормального на основі показників симетрії та ексцесу.

Обчислимо асиметрію

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = 0,033$$

Маємо не значну лівосторонню асиметрію.

Незміщена оцінка для асиметрії

$$S_A = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} \cdot A = 0,034$$

Середнє квадратичне відхилення асиметрії

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} = 0,164$$

Обчислимо ексцес

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 = -0,112$$

Маємо більш пологішу вершину, ніж в нормальному розподілі.  
Незміщена оцінка для ексцесу

$$S_E = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)} \cdot ((n+1)E + 6) = -0,087$$

Середнє квадратичне відхилення ексцесу

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}} = 0,327$$

Якщо виконується умова

$$|S_A| \leq 3\sigma_A \quad \text{і} \quad |S_E| \leq 5\sigma_E,$$

то приймається гіпотеза нормальності розподілу.

Для нашого випадку

$$0,034 < 0,492 \quad \text{і} \quad 0,087 < 1,635.$$

Отже, гіпотеза нормальності розподілу приймається.

### 3 критерій

Перевіримо гіпотезу нормальності розподілу по  $\chi^2$ -критерію.

$$\chi_{розр}^2 = 3; \quad \chi_{табл}^2(5; 0,05) = 11,07.$$

Оскільки  $\chi_{табл}^2 > \chi_{розр}^2$ , то гіпотеза про нормальність розподілу приймається на достатньо високому 5% рівні значущості.

### 4 критерій

Для перевірки гіпотези нормальності розподілу за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова, обчислимо

$$D_{розр} = 0,016; \quad D_{табл}(219; 0,05) = 0,134.$$

Оскільки  $D_{табл} > D_{розр}$ , то гіпотеза про нормальність розподілу приймається на достатньо високому 5% рівні значущості.

**Висновок.** Використавши критерії перевірки на нормальність можна стверджувати, що розподіл струму витоку систем електроосвітлення тваринницьких приміщень близький до нормального закону розподілу випадкових величин.

### Список використаних джерел

1. Герасименко В. П. Експериментальне дослідження струму витоку в мережах 0,38 кВ у тваринницьких приміщеннях // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Сер. «Техніка та енергетика АПК». К.: ВЦ НУБіП України, 2012. Вип. 174, ч.2. С. 190 – 199.
2. Козирський В. В. Моделювання струму витоку асинхронного двигуна в залежності від параметрів режиму роботи та опору ізоляції // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Т4, Вип. 13. С. 37 – 43.
3. Закс Лотар Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976.

УДК 62-519

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА ТОКА В СИСТЕМЕ ПОДЧИНЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Соломаха А. В., к.т.н.

[a.solomaha@gmail.com](mailto:a.solomaha@gmail.com)

ООО «Научно-производственное предприятие «Преобразователь-комплекс», Запорожье

Сокращение затрат на пусконаладочные работы электропривода является актуальной задачей.

Настройка параметров регуляторов тока и скорости в системе подчиненного управления электропривода постоянного тока требует базовых знаний в теории автоматического управления, опыта наладчика и занимает немало времени.

Регулятор тока, который используется в электроприводах постоянного тока, имеет адаптивную структуру, которая изменяется в зависимости от рабочей зоны – непрерывных или прерывистых токов. При наладке необходимо подобрать коэффициенты регулятора тока для каждой зоны.

С целью сокращения времени наладки автором был разработан алгоритм автоматической настройки параметров адаптивного регулятора тока.

Для достижения этой цели, также был разработан алгоритм автоматического определения параметров электропривода постоянного тока, а именно эквивалентной постоянной времени цепи постоянного тока, снятие характеристики выпрямленного тока в функции угла управления тиристорами для зоны прерывистых и непрерывных токов.

Исходными данными для расчета параметров адаптивного регулятора тока являлись желаемое время переходного процесса в зонах прерывистых и непрерывных токов, коэффициент демпфирования для зоны непрерывного тока.

Вышеуказанные алгоритмы были реализованы на специализированном контроллере производства ООО «НПП «Преобразователь-комплекс» как сервисная программа.

Испытания проводились на стендовом оборудовании на активно-индуктивных нагрузках с различными эквивалентными постоянными времени цепи постоянного тока, а также на ряде объектов. Были исследованы режимы с различными коэффициентами демпфирования и временами переходных процессов. Испытания программы автоматической настройки параметров адаптивного регулятора тока в системе подчиненного управления электропривода постоянного тока показали хорошие результаты.

В настоящее время программа автоматической настройки параметров адаптивного регулятора тока используется как штатная сервисная программа в электроприводах постоянного тока, выпускаемых ООО «НПП «Преобразователь-комплекс» и сокращает время наладки на объектах.



УДК 621.313.33

## ЗАХИСТ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ

Діордієв В. Т., д.т.н.

[volodymyr.diordiiev@tsatu.edu.ua](mailto:volodymyr.diordiiev@tsatu.edu.ua)

Кашкар'єв А. О., к.т.н.

[anton.kashkarov@tsatu.edu.ua](mailto:anton.kashkarov@tsatu.edu.ua)

Сабо А. Г., к.т.н.

[andriy.sabo@gmail.com](mailto:andriy.sabo@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Проблема захисту та діагностування асинхронного двигуна як приводу технологічного обладнання на виробничих об'єктах з кожним роком стає все більш актуальною в Україні та в усьому світі [2, 4]. Основними факторами, які стримують розвиток економіки країн, що розвиваються, є фондоємність та енергоємність виробництва, а також багатфакторність та багатопараметричність виробничих процесів [3]. Слід відзначити, що кадрове забезпечення та застаріле технологічне обладнання (здебільшого використовується на малих та середніх підприємствах) дозволяють реалізовувати тільки базовий захист та обслуговування електродвигунів: захист від перевантаження, коротких замикань, неповнофазних режимів, поточне обслуговування. Задачі оптимізації завантаження, ефективності функціонування, планування виводу з експлуатації для обслуговування та діагностування електродвигунів майже не розв'язуються, або розв'язуються на інтуїтивному рівні.

Для забезпечення захисту та інформативності системи діагностування необхідно впроваджувати системи датчиків та певні алгоритми обробки даних, які можуть мати вартість, яка перевищує технічну складову діагностичного комплексу, що призводить до збільшення вартості системи захисту та діагностування [2, 4].

При впровадженні інтелектуальних датчиків та інформаційних технологій можливо досягти ряд позитивних результатів [3]: забезпечення захисту, підвищення інформативності системи діагностування; підвищення надійності системи керування, діагностування робочої машини та режимів її роботи. Тому задача пошуку напрямів діагностування електродвигунів технологічного обладнання, технологічного процесу, системи керування та об'єкту за рахунок впровадження інформаційних технологій є актуальною.

**Основні матеріали дослідження.** Виходячи з аналізу джерел інформації, можна зазначити, що захист електродвигунів розглянуто достатньо повно [2, 4]. При цьому все більш широко використовуються сучасні технічні засоби на мікропроцесорній базі [2]. Необхідно зазначити, що розглянуті засоби захисту та діагностування не приділена увага питанням самодіагностики технічної системи або стану технологічного процесу, а також питанню відображення факт аварії, що зокрема дозволяє завершити технологічний процес із мінімізацією збитків.

В основу запропонованої системи захисту та діагностування покладені хмарні технології. Досягнення поставленої мети відбувається за рахунок розробки та впровадження системи збору раціонально максимально можливої кількості даних про роботу електродвигуна, а реалізація функції моніторингу – протоколюванням даних та обробкою їх інтелектуальними алгоритмами на хмарних серверах (рис. 1) [3]. Такий підхід дозволяє реалізувати гнучкий алгоритм ідентифікації потенційно-аварійних ситуацій, отримати нову інформацію для діагностування режимів роботи електросилового і технологічного обладнання за різними методами. Нами пропонується контролювати (рис. 1): 1 – навантаження; 2 – витрата електроенергії; 3 – показники якості електричної енергії; 4, 5 – температура обмоток та магнітопроводу статора; 6 –

вібрація АД; 7, 8 – температура підшипників; 9 – вібрація ротора; 10 – швидкість обертання ротора.

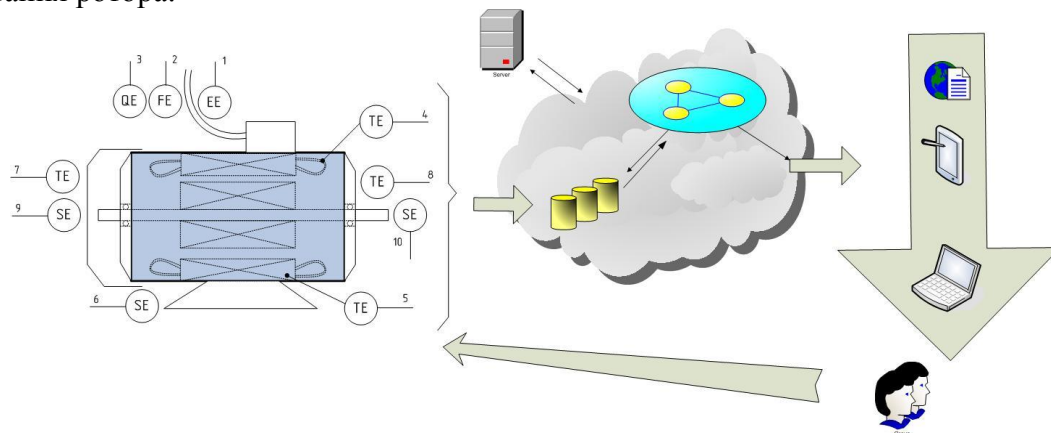


Рис. 1 – Структурна схема діагностування електродвигуна з використанням хмарних технологій

Основні підходи до подальшої обробки даних [1, 3]:

- шляхом побудови дерев послідовного пошуку або когнітивних карт;
- методами розпізнавання образів:
  - методи штучного інтелекту;
  - статистичні методи;
  - логічні методи:
  - детерміновані алгоритми;
  - статистичні алгоритми.

**Висновок.** Використання хмарних технологій для захисту та діагностування електродвигунів з інформаційною надлишковістю дозволяє побудувати математичну модель системи «електродвигун - робоча машина», що дає можливість запровадити захист та діагностування електросилового і технологічного обладнання, а також технологічний процес. Можна рекомендувати таку концепцію для встановлення на потужних електродвигунах, або тих які забезпечують функціонування найбільш важливої ділянки виробничого або технологічного процесу

#### Список використаних джерел.

1. Sabo A. G., PhD, Kashkarov A. O. [The prospect directions for cluster analysis applied to the tasks and problems of the agricultural production](#). Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції. 2019. 1. pp 191-193
2. Курашкін С. Ф. Комбінований струмовий захист асинхронного електродвигуна // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Технічні науки. Випуск 195 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків: ХНТУСГ, 2018. С. 108-109.
3. Кашкаръов А. О. Спосіб моніторингу та діагностування організаційно-технічних комплексів виробництва комбикормів // *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2012. Вип. 117. С. 125-128
4. Защита электродвигателя. Виды, схемы, принцип действия защиты электродвигателя. URL: [https://eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini\\_1580.html](https://eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini_1580.html)

УДК 621.313.33

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Кашкар'ов А. О., к.т.н.

[anton.kashkarov@tsatu.edu.ua](mailto:anton.kashkarov@tsatu.edu.ua)

Сабо А. Г., к.т.н.

[andriy.sabo@gmail.com](mailto:andriy.sabo@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Імітаційне моделювання роботи асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (АД) є одним з найбільш розповсюджених завдань моделювання у задачах народного господарства.

**Основні матеріали дослідження.** Розглянемо моделювання бібліотекою PowerSystemBlockset у Simulink/Matlab. Використовуємо Asynchronous Machine SI Units. Трифазне джерело напруги: три з'єднаних зіркою блоків AC Voltage Source (рис. 1): змінна напруга частотою 50 Гц, амплітуда 220 В, зсув фаз 120°, 0° та -120°. Machines Measurement вимірює струм статора, швидкість обертання та момент на валу ротора. Для реєстрації встановлено блоки Scope та To WorkSpace.

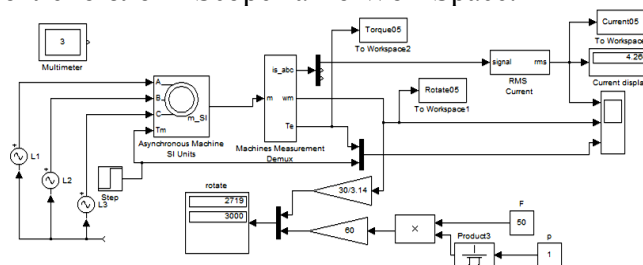


Рис. 1. Блок-схема моделювання пуску АД з короткозамкненим ротором

Для розрахунку параметрів схеми заміщення використовуємо методику розрахунку за паспортними даними [1]. Розрахунок проведемо для 5А80МА2:

вихідна потужність  $P_n=1,5$  кВт; коефіцієнт корисної дії  $\eta_n=81\%$ ,  
 Номінальне ковзання  $s_n=0,06$  коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0,85$  в.о  
 $k_i=I_n/I_n=6,5$   $\mu_n=2,5$   $\mu_{max}=2,6$  Момент інерції ротора  $J=0,0018$  кг·м<sup>2</sup>

Визначимо номінальний струм АД

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,81} = 3,31 \text{ A} \quad (1)$$

Визначимо кутову швидкість магнітного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{1} = 314 \text{ рад/с} \quad (2)$$

Визначимо кутову швидкість вибраного ЕД.

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - s_n) = 314 \cdot (1 - 0,06) = 295,16 \text{ рад/с} \quad (3)$$

Визначення номінального моменту ( $M_n$ ) вибраного ЕД:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{295,16} = 5,081 \text{ Н·м} \quad (4)$$

Визначимо критичне ковзання

$$S_k = S_n \frac{\mu_{max} + \sqrt{\mu_{max}^2 - 1 + 2 \cdot S_n \cdot (\mu_{max} - 1)}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot (\mu_{max} - 1)} = 0,06 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1 + 2 \cdot 0,06 \cdot (2,6 - 1)}}{1 - 2 \cdot 0,06 \cdot (2,6 - 1)} = 0,471 \quad (5)$$

Механічні втрати (менші втрати для потужних машин):

$$P_{мех} = (0,01 \div 0,05) \cdot P_n = 0,05 \cdot 1500 = 75 \text{ Вт} \quad (6)$$

Приведений активний опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_n + P_{\text{мех}}}{I_n^2 \cdot \frac{1 - S_n}{S_n}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1500 + 75}{3,31^2 \cdot \frac{1 - 0,06}{0,06}} = 3,058415734 \text{ Ом} \quad (7)$$

Визначимо фазну напругу мережі живлення, В.

$$U_{\text{нф}} = \frac{U_{\text{нл}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В} \quad (8)$$

Визначимо теоретичний коефіцієнт приведення  $C=1,05$ .

Визначимо активний опір статора

$$R_s = \frac{U_\phi \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{I_n} - C^2 \cdot R_r - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_n^2} =$$

$$= \frac{220 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,81)}{3,31} - 1,05^2 \cdot 3,058415734 - \frac{75}{3 \cdot 3,31^2} = 5,050576823 \text{ Ом} \quad (9)$$

Визначимо приведену індуктивність розсіювання ротора

$$L_{sr} = \frac{U_\phi}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot (1 + C^2) \cdot k_i \cdot I_n} = \frac{220}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,05^2) \cdot 6,5 \cdot 3,31} = 0,401673851 \text{ Гн} \quad (10)$$

Визначимо індуктивність розсіювання статора

$$L_s = \frac{U_\phi}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left( I_n \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{2 \cdot M_{\text{max}} \cdot S_n}{3 \cdot p \cdot U_\phi \cdot S_{\text{кр}}} \right)}$$

$$= \frac{220}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left( 3,31 \sqrt{1 - 0,85^2} - \frac{2 \cdot 13,2 \cdot 0,06}{3 \cdot 1 \cdot 220 \cdot 0,471} \right)} = 0,0077188 \text{ Гн} \quad (11)$$

Визначимо взаємну індуктивність

$$L_m = L_s - L_{sr}, L_m = 0,401673851 - 0,007718815 = 0,393955035 \text{ Гн} \quad (12)$$

Визначимо фактичний коефіцієнт приведення  $C_\phi$

$$C_\phi = 1 + \frac{L_{sr}}{L_m} = 1 + \frac{0,0077188 \text{ Б}}{0,393955035} = 1,01959 \quad (13)$$

Перевіримо значення коефіцієнту приведення:

$$\left| 1 - \frac{C_r}{C_\phi} \right| \cdot 100 = \left| 1 - \frac{1,05}{1,01959} \right| \cdot 100 = 2,98\% \leq 5\% \quad (14)$$

Статистично умова (14) виконується, але у відомій методиці [1], рекомендовано досягти найменшої різниці, яка досягається при  $C_{T \text{ min}} = 1,020197438$ .

**Висновок.** Параметри, при навантаженні АД номінальним моментом, дозволяють отримати точність за струмом 28,7%, а за швидкістю обертання – 3,7% (порівняно з номінальними параметрами). При  $C_{T \text{ min}}$  досягаються відповідні значення за швидкістю обертання ротора та струмом статора 30,6% та 3,9% відповідно. Максимальна точність була визначена методом підбору та досягнута при  $C_{T \text{ max}} = 1,6$  (13,1% та 1,1% відповідно). Це вимагає пошуку нового критерію для визначення оптимального підбору параметрів для розрахунку схеми заміщення, оскільки метод перебору займає багатс часу.

**Список використаних джерел.**

1. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер. 2008. 288 с.

УДК 621.313.33

## ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ І ЗАХИСТУ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВІД АНОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Квітка С. О., к.т.н.

[sergei.kvitka1965@gmail.com](mailto:sergei.kvitka1965@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

### **Актуальність та постановка проблеми.**

Одним з основних споживачів електричної енергії є електропривод на базі асинхронного електродвигуна (АД), від надійності якого залежить нормальне протікання будь-якого технологічного процесу. Експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, як у промисловості так і у сільському господарстві, залишається невисокою. Їх аварійність щорічно складає 20-25 % [1-5].

Існуючі технічні засоби контролю і захисту асинхронних електродвигунів не забезпечують достатню експлуатаційну надійність АД, мають низьку функціональність та ін. [1-6]. Тому дослідження, які спрямовані на подальший аналіз режимів роботи асинхронних електродвигунів, розробку технічних засобів контролю і захисту електродвигунів від аномальних режимів роботи, є актуальними.

**Основні матеріали дослідження.** Запропонований пристрій призначений для контролю і захисту групи асинхронних електродвигунів від аномальних режимів роботи (небезпечне відхилення напруги в мережі; небезпечне зростання споживаного АД струму; небезпечне перевищення температури ізоляції обмотки статора АД; небезпечне зниження опору ізоляції АД).

До складу пристрою входять блоки контролю електродвигунів 9, які складаються з наступних блоків та елементів: контролю споживаного струму 1, контролю фазної напруги 2, контролю температури ізоляції обмотки статора 3, контролю температури оточуючого середовища 4, контролю опору ізоляції 5, мікроконтролера 6, світлової сигналізації 7, виконавчих реле 8.

До складу пристрою також входять мікроконтролер 12, блок вводу даних 13, пристрій пам'яті 14, блок цифрової індикації 15, блок світлової сигналізації 16, блок звукової сигналізації 17, комутаційний порт 18. Обмін даними між елементами пристрою здійснюється за допомогою двонаправленої шини 11. Електричне живлення пристрою контролю і захисту електродвигунів від аномальних режимів роботи здійснюється від блоку живлення 15.

Призначенням блоків контролю електродвигунів є контроль струму, який споживається електродвигуном, напруги живлення на затискачах АД, температури ізоляції обмотки статора, температури оточуючого середовища, контроль опору ізоляції АД та керування електродвигуном.

Визначення вхідних контрольованих параметрів, порівняння їх з уставками, приймання та видача сигналів керування виконується за програмою.

**Висновок.** Запропонований пристрій контролю і захисту електродвигунів від аномальних режимів роботи дозволяє контролювати струм споживаний електродвигуном, фазну напругу, температуру ізоляції обмотки статора, опір ізоляції і, при небезпечному їх відхиленні від заданих значень, автоматично відключати електродвигун, що дозволяє захистити його від основних аномальних режимів роботи, підвищити експлуатаційну надійність і зменшити вихід електродвигунів з ладу до 5...8%.

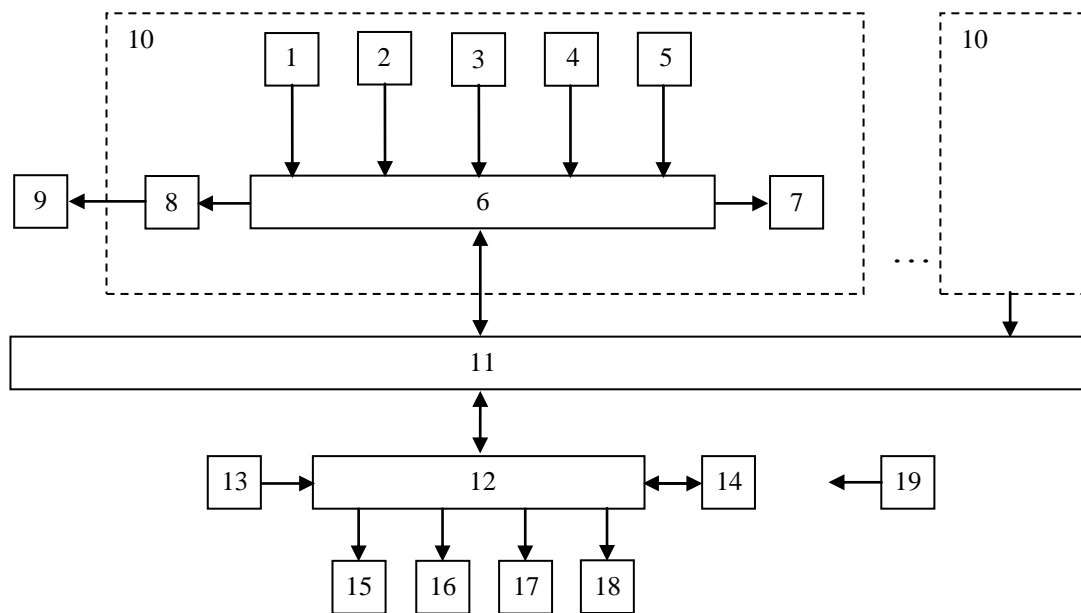


Рис. 1. Пристрій контролю і захисту групи асинхронних електродвигунів від анормальних режимів роботи

#### Список використаних джерел

1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. К.: УСХА, 1990. 168 с.
2. Квітка С. О. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Технічні науки. Вип. 153 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків: ХНТУСГ, 2014. С. 85-87.
3. Квітка С. О. Пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове вид.*; Вип. 12, Т. 2. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. С. 23-27.
4. Квітка С. О. Дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів під дією струмового навантаження та розробка пристрою захисту від аварійних режимів роботи // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове вид.*; Вип. 13, Т. 5. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. С. 172-177.
5. Квітка С. О. Пристрій контролю функціонального стану і захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Технічні науки. Випуск 186 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків: ХНТУСГ, 2017. С. 90-92.
6. Квітка С. О. Пристрій захисту трифазних асинхронних електродвигунів від анормальної напруги мережі // *Морские технологии: проблемы и решения* – 2011. Керч: КДМТУ, 2011. № 7. С. 12-13.



УДК [658.53:621.3]:631.24

## СТРУКТУРА ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕВАТОРАХ

Постнікова М. В., к.т.н.

[marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Питомі витрати електроенергії є показником, який характеризує енергоємність всього технологічного процесу, окремої виробничої операції або виробництва в цілому. Цей показник дозволяє порівняти результати використання електроенергії при різних змінних умовах роботи.

Наявність зв'язків в технології і енергетиці елеваторів є причиною, яка визначає не тільки техніко-економічні, але і чисто технологічні показники, а питомі витрати електроенергії – фактором, вивченню і нормуванню якого повинна бути приділена особлива увага.

**Основні матеріали дослідження.** Виробничий процес на елеваторах складається з окремих операцій, які відрізняються за призначенням, характеристикам і об'ємам, а також по енергоємності (від 0,15 до 15 кВт·год./т). Причому, окремі операції елеваторів можуть бути не пов'язані між собою і проходити окремо. Тому сумарні питомі витрати електроенергії в залежності від часу (доба, місяць) можуть коливатися в великих межах [1].

Одним з факторів, який викликає різницю в формуванні питомих витрат електроенергії на елеваторах, є режимні умови роботи [2].

Таким чином, структура питомих витрат електроенергії для будь-якої операції може бути представлена як сума питомих витрат окремих машин і механізмів, які входять в дану операцію. Наприклад, питомі витрати електроенергії на зерноочисні операції  $W_3$  складаються з витрат електроенергії на коливання сит  $W_{кc}$ , віднос відходів повітряним потоком  $W_{пов}$ , транспортування відходів з бункерів  $W_{тр}$ , а також з пускових витрат  $W_{п}$  [3]:

$$W_3 = W_{кc} + W_{пов} + W_{тр} + W_{п} = W_T + W_{ел} + W_x, \quad (1)$$

де  $W_T$  – технологічні витрати електроенергії,  $W_T = W_{кc} + W_{пов} + W_{тр}$ , кВт·год./т;

$W_{п}$  – пускові витрати, кВт·год./т,  $W_{п} = W_{ел} + W_x$ ;

$W_{ел}$  – електричні витрати електроенергії, кВт·год./т;

$W_x$  – витрати електроенергії на холостий хід обладнання, кВт·год./т.

Розрахункова продуктивність визначається конструкцією зерноочисної машини, культурою зерна та якісними показниками зерна.

Однією з енергоємних операцій на елеваторах є процес сушки. Питомі витрати електроенергії на процес сушки формуються з витрат на вентиляцію сушильної і охолоджувальної камер  $W_B$ , дуття топки  $W_{д.т}$ , на автомати випуску зерна  $W_{в.з}$ , транспортуючі машини зерносушарки  $W_{тр}$ , процес пуску і холостого ходу  $W_{х.х}$

$$W_c = W_B + W_{д.т} + W_{в.з} + W_{тр} + W_{х.х}. \quad (2)$$

Таким чином, структура питомих витрат електроенергії для будь-якої операції на елеваторах може бути представлена як сума питомих витрат окремих, які входять в дану операцію, машин і механізмів.

Для оцінки правильності ведення технологічного процесу і контролю за додержанням режимів використання електричної енергії необхідні технологічні норми. Це важливо в умовах системи планування і економічного стимулювання.

На основі аналізу енергетичного балансу на елеваторах пропонується структура норм питомих витрат електроенергії по операціям (табл. 1).

Таблиця 1 - Структура норм

Види норм	Операції і статті витрат електроенергії	Питомі витрати електроенергії	
Технологічна норма $W_T$	1 Транспортування зерна		
	а) елеватори		
	б) механізовані башти		
	в) немеханізовані склади		
	1.1 Корисні витрати електроенергії	$W_{тр}$	
	1.2 Втрати холостого ходу обладнання при стаціонарному режимі	$\Delta W_{тр х}$	
	1.3 Змінні (навантажувальні) втрати	$\Delta W_{тр зм}$	
	1.4 Пускові і налагоджувальні втрати	$\Delta W_{тр пн}$	
	$W_{T тр} = W_{тр} + \Delta W_{тр х} + \Delta W_{тр зм} + \Delta W_{тр пн}$		
	2 Очищення зерна		
	2.1 Корисні витрати електроенергії	$W_o$	
	2.2 Втрати холостого ходу обладнання при стаціонарному режимі	$\Delta W_{o х}$	
	2.3 Змінні (навантажувальні) втрати	$\Delta W_{o зм}$	
	2.4 Пускові і налагоджувальні втрати	$\Delta W_{o пн}$	
$W_{T o} = W_o + \Delta W_{o х} + \Delta W_{oр зм} + \Delta W_{o пн}$			

### Висновок.

1. Дослідження в технологічних процесах очищення та зберігання зернових культур енергетичного фактора та параметрів, які його визначають, представляє проблему, яка має важливе народногосподарське значення. Відомо, що 1 одиниця зекономленої електроенергії може зекономити не менш 5 одиниць первинних енергоресурсів.

2. Встановлено, що витрати електричної енергії в технологічних процесах очищення і зберігання зерна на одиницю продукції в 2-3 рази перевищують аналогічні витрати в розвинених країнах.

### Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Анализ энергозатрат технологических процессов очистки зерна на триерах. *Вестник аграрной науки Дона*. 2015. № 2 (30). С. 18-29.
2. Постнікова М. В. Дослідження енергоємності транспортних операцій на зернопунктах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 2. С. 295-300.
3. Постнікова М. В. Вплив факторів на енергоємність транспортерів зернопунктів. *Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.*, (м. Мелітополь, 7-14 квітня 2015 р.). Мелітополь, 2015. Т. 4: Технічні науки, ч. 1. С. 8-12.

УДК 621.313.33-533.7

## ПЕРІОДИЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Вовк О. Ю., к.т.н.

[oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Асинхронні електродвигуни в електроприводі застосовують у близько 95 % випадків через їх порівняно не коштовне виготовлення та високу конструкційну надійність [1, 2], але у процесі експлуатації щорічно спостерігаються відмови в середньому 20 – 25 % наявного парку електродвигунів (при іспитах на надійність за цей час відмовляє 2 – 3 %) [3, 4], що призводить до незапланованих матеріальних витрат, пов'язаних з раптовою зупинкою технологічних ліній, а також на ремонт асинхронних двигунів. Причина існування такої проблеми – недостатній рівень експлуатації означених електродвигунів, зокрема – відсутність достатньої інформації про їх стан [5, 6]. Тому одна із складових підвищення рівня експлуатації асинхронних електродвигунів – це їх своєчасний повний контроль як системи взаємопов'язаних вузлів, для чого необхідно розроблення і впровадження раціонального методу діагностування зазначених електродвигунів. Аналіз існуючих методів діагностування [7, 8] виявив наступні недоліки: високу вартість технічної реалізації, неповний контроль стану електродвигуна, спрямованість виключно на пошук пошкоджень із значною витратою часу на діагностування, відсутність контролю роботоздатності електродвигуна при роботі в заданому режимі. Отже, розроблення і впровадження методу діагностування асинхронних електродвигунів, який забезпечить всебічну оцінку їх стану, а також спростить практичну реалізацію діагностування в порівнянні з існуючою, є актуальною задачею.

**Основні матеріали дослідження.** Для розв'язання поставленої задачі було розроблено метод діагностування асинхронного електродвигуна на базі дослідів холостого ходу та короткого замикання. При проведенні дослідів короткого замикання запропоновано з'єднувати обмотки статора електродвигуна за схемою відкритого трикутника. Внаслідок такого з'єднання обмоток опори асинхронного електродвигуна збільшуються в 3 рази, що дозволяє проводити дослід короткого замикання при номінальній напрузі. Крім того, при з'єднанні обмоток статора відкритим трикутником і подачі на них фазної напруги в обмотках будуть протікати синусоїдні струми, які призведуть до утворення в електродвигуні пульсуючого магнітного поля, тому ротор буде нерухомий і загальмовувати його не має потреби.

З метою відмови від регулятора напруги в досліді холостого ходу були отримані емпіричні вирази для розрахунку коефіцієнту потужності та струму холостого ходу асинхронного електродвигуна у межах від номінальної напруги і нижче, які дозволяють розраховувати значення вказаних величин з похибкою не більше 1...3 %. Вони мають наступний вигляд:

$$\cos\varphi_x = \frac{\cos\varphi_{x.H}}{k_u(1 + \cos\varphi_{x.H})}; \quad I_x = I_{x.H} \cdot (k_u)^a; \quad (1)$$

$$a = 1 + k_u + \left(k_u\right)^{\frac{k_u}{\cos\varphi_x}} - \left(\cos\varphi_x\right)^{\left(1 - \cos\varphi_{x.H}\right)}, \quad (2)$$

де  $k_u$  – кратність напруги на затискачах електродвигуна (дорівнює відношенню поточного значення до номінального);  $\cos\varphi_{x.H}$  – коефіцієнт потужності електродвигуна у досліді холостого ходу при номінальній напрузі.

За результатами дослідів короткого замикання і холостого ходу визначається поточне значення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна при номінальному навантаженні, яке порівнюється з допустимим значенням. На підставі порівняння робиться висновок про можливість подальшої експлуатації електродвигуна.

**Висновок.** У роботі запропоновано здійснювати періодичне діагностування асинхронних електродвигунів за їх коефіцієнтами корисної дії при номінальному навантаженні, які визначаються з модернізованих дослідів короткого замикання і холостого ходу.

#### Список використаних джерел

1. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Періодичне діагностування механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом в експлуатації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 54-58.
2. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Теплова модель асинхронного електродвигуна в стаціонарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2015. Вип. 164: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 118-120.
3. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Обґрунтування параметрів функціонального стану асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2008. Вип. 8, т. 9. С. 129-137.
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Експлуатаційний контроль функціонального стану осердя та механічної системи асинхронних електродвигунів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. Мелітополь, 2017. С. 85-93.
5. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Оцінка економічної ефективності періодичного діагностування асинхронних електродвигунів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2016. Вип. 175: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 125-127.
6. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 126-134.
7. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 4. С. 39-46.
8. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 3. С. 80-88.

УДК 621.313.33

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ТРИФАЗНИХ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Нестерчук Д. М., к.т.н.

[dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua](mailto:dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** У зв'язку з загостренням проблеми енергоресурсозбереження в Україні розробка та впровадження систем технічної діагностики трифазних низьковольтних асинхронних електродвигунів (АД), як складових електромеханічних систем (ЕМС) промислового електроприводу має в наш час важливе народногосподарське значення. Надійність роботи АД залежить від умов експлуатації, яка супроводжується багаторазовими ремонтами, а реальні експлуатаційні показники значно нижчі, ніж задекларовані заводом-виробником, тому то це й призводить до необхідності вирішення задач ідентифікації електромеханічних параметрів АД. В процесі тривалої експлуатації АД ізоляція обмоток підпадає під дію різноманітних експлуатаційних чинників, а, саме, температура та вологість навколишнього середовища [1].

**Основні матеріали дослідження.** Тому стає актуальною розробка автоматизованої інформаційно-виміральної системи (ІВС) діагностування АД в процесі експлуатації, яка завдяки сукупності технічних засобів вимірювання та контролю забезпечує визначення технічного стану АД, виявлення причини та місця несправності, та на постійній основі взаємодіє з електродвигуном за алгоритмом діагностування.

На рис. 1 наведена структурна схема запропонованої ІВС.

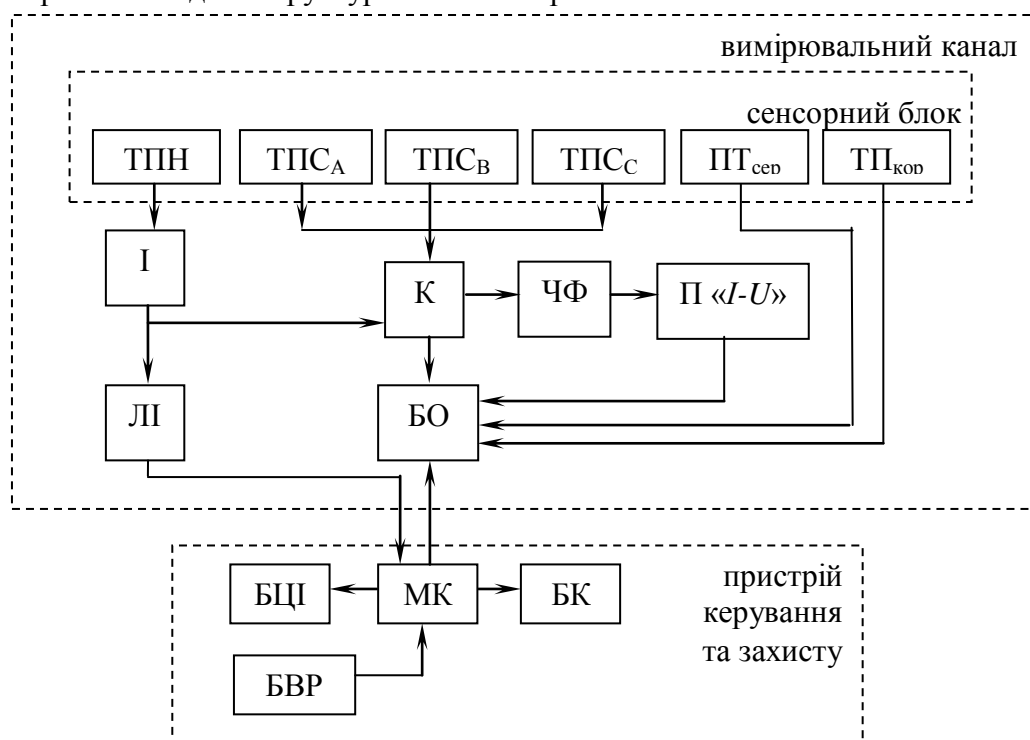


Рис. 1. Структурна схема запропонованої ІВС трифазних низьковольтних асинхронних електродвигунів

На рис. 1 наведені такі позначення: ТПН – трансформаторний перетворювач напруги; ТПС<sub>А</sub>, ТПС<sub>В</sub>, ТПС<sub>С</sub> - трансформаторні перетворювачі струму; ПТ<sub>сер</sub> – перетворювач температури обмотки; ПТ<sub>кор.</sub> - перетворювач температури корпусу; І – інвертор; ЛІ – лічильник імпульсів; К – комутатор; ЧФ – частотний фільтр; П «I-U» - перетворювач «струм-напруга»; БО – блок обробки на базі мікроконтролера; МК – мікроконтролер; БК – блок керування АД; БЦІ – блок цифрової індикації; БВР – блок вибору режиму роботи.

Розглянемо принцип дії ІВС діагностування. При першому пуску АД в блоці блок вибору режиму роботи обирається режим налагоджувальний, при цьому мікроконтролер надає електричний сигнал через спеціальний інтерфейс до блоку обробки на базі мікроконтролера. До блоку через комутатор надходить сигнал з трансформаторного перетворювача напруги, який в інверторі перетворюється із синусоїдної форми в прямокутну.

Мікроконтролер блоку обробки фіксує значення з перетворювачів температури навколишнього середовища та корпусу електродвигуна, періодично визначає значення фазних струмів від трансформаторних перетворювачів струму та надає їх до мікроконтролера для визначення пускового струму електродвигуна та струму спрацювання відсічки.

До мікроконтролера подається значення напруги мережі зі вторинної обмотки ТПН. З вторинних обмоток трансформаторних перетворювачів струму сигнал вимірювальної інформації щодо значень фазних струмів через комутатор, частотний фільтр надходить на вхід перетворювача «струм-напруга», де здійснюється формування потенціальних сигналів для функціонування мікроконтролера.

При відсутності сигналу хоча б з однієї фази блок БО формує сигнал до мікроконтролера, при цьому спрацьовують блок цифрової індикації та блок керування АД.

В блоці БВР обирається режим «Робота», при цьому активізується захист від обриву фази, струмова відсічка, захист від заклинювання ротора та від перевантаження. Спрацьовування будь-якого захисту призведе до зупинки електродвигуна. При перевищенні номінального струму АД спрацьовує захист від перевантаження. В МК за вимірювальними даними, які надходять з ТПС та ТПН, визначається опір обмоток, також сигнали з перетворювачів температури подаються на БО та МК, де й формується та оброблюються дані щодо початкових температур елементів електричної машини, при перевищенні яких МК надає сигнал керування на вхід БК та БЦІ, це дозволяє своєчасно здійснити захист електродвигуна від процесів, які виникли внаслідок перевантаження за струмом.

**Висновок.** Впровадження та технічна реалізація розробленої інформаційно-вимірювальної система діагностування трифазних асинхронних електродвигунів дозволить вирішити задачу підвищення експлуатаційної надійності електроприводу робочих машин технологічних ліній.

#### Список використаних джерел

1. Нестерчук Д. М., Квітка С. О. Система моніторингу технічного стану ізоляції групи трифазних асинхронних електродвигунів. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції*: матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (м. Мелітополь, 21-22 червня 2019 р.): у 2-х ч. Мелітополь. 2019. Ч. 1. С. 256-258.



УДК 621.313.33

## ПОБУДОВА ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Попова І. О., к.т.н.

[irnapopova54@gmail.com](mailto:irnapopova54@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором розрахований на термін роботи до 20 років за умови його експлуатації відповідно до номінальних параметрів, що вказані у паспорті двигуна, але у реальному режимі експлуатації мають місце відхилення від номінального режиму експлуатації. Основна причина - низька якість напруги мережі і порушення умов технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови оточуючого середовища (підвищена вологість, температура), зниження опору ізоляції, порушення охолодження. Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД. В результаті аварій щорічно виходить з ладу до 15-20 % електродвигунів, працюючих в АПК [1]. Зменшити відсоток несправностей АД допоможе використання ефективних пристроїв захисту від аварійних режимів роботи [1,2].

**Основні матеріали дослідження.** Найбільш вразливою в АД є обмотка статора і її ізоляція. Частіше за все обмотки АД виходять з ладу через несиметрію напруги мережі (перекіс і обрив фаз) та роботу технологічного обладнання з перевантаженням. В обох випадках значно підвищується сила струму в обмотках статора, збільшуються втрати активної потужності в них, збільшується перевищення температури обмотки по відношенню до температури оточуючого середовища.

Зараз існує велика кількість програмованих мікропроцесорів, які дозволяють аналізувати фізичні процеси в АД на базі математичної моделі, робити розрахунки, аналізувати стан двигуна, приймати рішення про можливість роботи АД або його відключення від електромережі.

Особливістю програмованих мікропроцесорів є те, що вони працюють за певною програмою, складеною для певного пристрою захисту на основі математичної моделі, що аналізує вплив факторів на роботу АД і алгоритму рішення задач, які задають строго визначену послідовність операцій.

Пристрій будуємо на мікроконтролері і мікроконтролерному датчику температури. Якщо відбувається виникнення аварійних режимів в кожній фазі і виникають перевищення температури обмотки двигуна, то це супроводжується включенням відповідних сигнальних світло діодів [3]. На основі алгоритму роботи пристрою захисту розроблена структурна схема пристрою, яка показана на рис. 2 структурна схема складається з наступних блоків:

1.1, 1.2, 1.3 – блок випрямлення напруги фаз А, В, С; 2.1, 2.2, 2.3 – блоки дільників напруги фаз А, В, С; 3.1, 3.2, 3.3 – згладжуючі фільтри; 4 – первинний перетворювач температури фаз; 5 – датчик температури; 6 – блок підстроювання; 7 – мікроконтролер; 8 – блок світлової індикації напруги і температури; 9 – гальванічна розв'язка кіл; 10 – виконавчий орган; 11 – блок живлення мікросхем пристрою захисту.

Виміряна напруга фазах А, В, С АД спочатку випрямляється блоком випрямлення 1.1, 1.2, 1.3, потім знижується за допомогою дільників напруги (блок 2.1, 2.2, 2.3). Згладжуючим конденсаторним фільтром (блок 3.1, 3.2, 3.3) прибираються вищі гармоніки напруги. Напруги далі поступають на мікроконтролер типу PIC16F676, де

відбуваються порівняння напруги згідно алгоритму. Блок світлової сигналізації 8 спрацьовує в разі аварійної ситуації (відсутності напруги на фазі АД або невідповідності напруги заданим граничним значенням, тощо). На виході МК через гальванічну розв'язку кіл 9, виконану на оптосимістрі, включається виконавчий орган 11. Його контакти включають і відключають АД від трифазної мережі живлення. В схемі передбачено кнопку «Скидання» для перезапуску МК і включення АД після усунення аварійної ситуації.

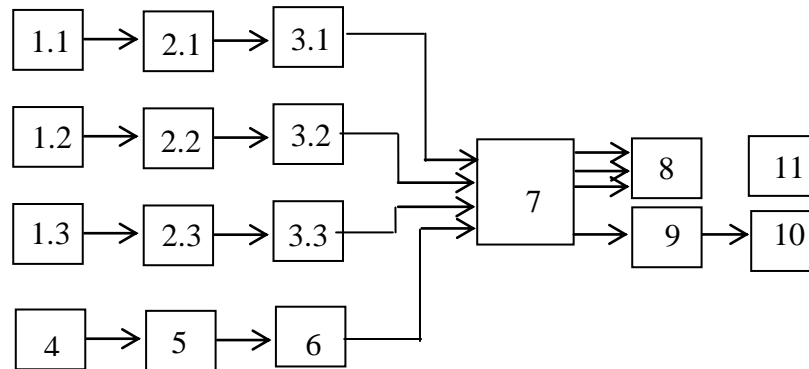


Рис. 1. Структурна схема пристрою захисту

Для контролю температури фаз АД передбачений мікроконтролерний датчик температури 5 з первинними перетворювачами температури 4 (терморезисторами), які вбудовані в обмотки. Для настройки величини температури фази, що контролюється, передбачений блок підстроювання 7.

**Висновок.** Розроблений пристрій захисту дозволить підвищити експлуатаційну надійність асинхронного електродвигуна за рахунок безперервного діагностування експлуатаційних режимів роботи.

#### Список використаних джерел

1. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 114-115.

2. Попова І. О., Мінкін О. В. Ресурсозберігаючий пристрій захисту від несиметричних режимів асинхронних двигунів. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф.*, (м. Переяслав-Хмельницький, 17 листопада 2018 р.). Переяслав-Хмельницький, 2018. Вип. 46. С. 495-499.

3. Попова І. О., Грищенко О. К. Аналіз впливу асиметрії напруги на процес теплового зносу ізоляції асинхронного електродвигуна. *Труди Таврической государственной агротехнической академии*. Мелитополь, 1998. Вип. 1, т. 8. С. 14-18.

УДК 621.313.33

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЯ

Вовк О. Ю., к.т.н.

[oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** У процесі експлуатації асинхронних електродвигунів їх відмови відбуваються, головним чином, внаслідок ушкодження обмотки статора (до 90% відмов) або підшипників (до 10% відмов) [1, 2]. Існуючі технології періодичного контролю асинхронних електродвигунів передбачають проведення декількох діагностичних операцій, спрямованих на визначення у кожній з них певних діагностичних параметрів [3, 4]. Такий підхід до періодичного діагностування передбачає значну витрату часу на встановлення несправного вузла електродвигуна. Тому необхідна розробка такого методу діагностування, який би скоротив час на діагностування та забезпечив комплексну оцінку функціонального стану асинхронного електродвигуна. Для розробки такого методу потрібно обґрунтувати діагностичні параметри асинхронних електродвигунів для періодичного контролю, які можна було б визначати за допомогою незначної кількості діагностичних впливів.

**Основні матеріали дослідження.** Аналіз несправностей асинхронних електродвигунів, що відмовили, показав наступне: у них, окрім ушкоджень обмоток або підшипників, спостерігались обриви стрижнів обмотки ротора, порушення ізоляції магнітопроводу, вигин валу та інше [5, 6]. Зазначене свідчить про те, що до ушкоджень обмотки статора або підшипників призводять не тільки несправності в самій обмотці або підшипнику, але й несправності в інших елементах конструкції електродвигуна. Більшість таких несправностей супроводжуються підвищеним виділенням тепла в несправному вузлі в порівнянні з номінальним станом: виткові або міжфазні замикання в обмотці статора призводять до збільшення її нагрівання; руйнування міжлистової ізоляції осердя статора призводить до його підвищеного нагрівання; обрив стрижня обмотки ротора призводить до зростання її нагрівання; руйнування сепаратора, кульок або роликів у підшипниках кочення призводить до збільшення сили тертя й, як наслідок, до зростання нагрівання підшипників і т.д.

Підвищене нагрівання активного вузла електродвигуна означає збільшення втрат активної потужності у цьому вузлі, тому що кожний вид втрат локалізований у визначених ділянках об'єму асинхронного двигуна: в обмотці статора, в обмотці ротора, у магнітопроводі, у підшипниках. Тому зміни окремих втрат активної потужності в порівнянні з базовими значеннями є діагностичними параметрами тих вузлів електродвигуна, де вони локалізовані.

Діагностичний параметр функціонального стану обмотки статора ( $\delta_{E1}$ ):

$$\delta_{E1} = \frac{P_1}{P_{1Б}}, \quad (1)$$

де  $P_1$  – поточні електричні втрати в обмотці статора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт;  $P_{1Б}$  – базові електричні втрати в обмотці статора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт.

Діагностичний параметр функціонального стану обмотки ротора ( $\delta_{E2}$ ):

$$\delta_{E2} = \frac{P_2}{P_{2B}}, \quad (2)$$

де  $P_2$  – поточні електричні втрати в обмотці ротора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт;  $P_{2B}$  – базові електричні втрати в обмотці ротора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт.

Діагностичний параметр функціонального стану магнітопроводу ( $\delta_{MG}$ ):

$$\delta_{MG} = \frac{P_{MG}}{P_{MG.B}}, \quad (3)$$

де  $P_{MG}$  – поточні втрати в магнітопроводі при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт;  $P_{MG.B}$  – базові втрати в магнітопроводі при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт.

Діагностичний параметр функціонального стану підшипників ( $\delta_{MX}$ ):

$$\delta_{MX} = \frac{P_{MX}}{P_{MX.B}}, \quad (4)$$

де  $P_{MX}$  – поточні механічні втрати при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт;  $P_{MX.B}$  – базові механічні втрати при роботі електродвигуна в контрольному режимі, Вт.

**Висновок.** У роботі запропоновано параметри, які характеризують функціональний стан вузлів асинхронного електродвигуна та можуть бути використані при періодичному контролі.

#### Список використаних джерел

1. Овчаров В. В., Вовк О. Ю. Теоретичні передумови комплексного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2001. Вип. 1, т. 21. С. 4-6.
2. Вовк О. Ю. Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів в експлуатації. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2005. Вип. 32. С. 74-85.
3. Вовк О. Ю., Квітка С. О. Технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 3. С. 80-88.
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 4. С. 39-46.
5. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Безменнікова Л. М. Періодичне діагностування механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом в експлуатації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 54-58.
6. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Експлуатаційний контроль функціонального стану осердя та механічної системи асинхронних електродвигунів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 85–93.

УДК 621.31:631.24

## ХАРАКТЕРИСТИКА І ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЕЛЕВАТОРАХ

Постнікова М. В., к.т.н.

[marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Одним з важливих факторів, які впливають на ефективність використання електроенергетичних ресурсів, є норми витрат електроенергії, які служать критерієм в оцінці електровикористання. Дослідження в технологічних процесах на елеваторах енергетичного фактора представляє проблему, яка має важливе народногосподарське значення.

**Основні матеріали дослідження.** Виробничий процес на елеваторах складається з операцій, які відрізняються за призначенням, характеристикам, об'ємам. За технологічними ознаками всі операції з зерном слід розділити на чотири категорії: транспортування зерна в елеваторах, механізованих баштах, складах і на відкритих площадках, включаючи прийом та відвантаження зерна; очищення зерна в зерноочисних машинах; сушка зерна в зерносушарках; активне вентилявання зерна [1, 2].

Перша категорія операцій є найбільш багаточисельною, різноманітною і із-за великого різноманіття транспортних технологічних схем слід чекати різницю в енергоємності окремих операцій [3].

Однак, існує така думка, що можна проводити дослідження, оцінювати енергетичні показники і нормувати витрати електроенергії на тонну вантажообігу незалежно від характеру і специфіки операцій, які проводяться на елеваторі. Невідповідність такої точки зору витікає з наступних міркувань:

1. Величина питомих витрат, яка отримана шляхом ділення загальних витрат електроенергії за деякий час на загальний вантажообіг без урахування характеру операцій, не буде відображати дійсну величину енергоємності технологічних процесів, а отже, не може бути прийнята за основу при розробці норми.

2. В питомих витратах електроенергії, які одержані шляхом ділення витрат електроенергії за деякий час на загальний вантажообіг, можуть бути приховані неполадки в технологічному процесі, який складається з багатьох операцій за проміжок часу (холості пробіги, недовантаження, змушені зупинки з наступними пусками). Наявність цього не дозволяє дати об'єктивну оцінку енергоємності процесу.

В результаті математичної обробки матеріалів досліджень були одержані рівняння зв'язку між питомими витратами електроенергії і продуктивності для транспортних операцій.

Одержані середні укрупнені питомі витрати електроенергії на транспортні операції складають для: важкого зерна  $W_{\text{сер}} = 0,332$  кВт·год/т; легкого зерна  $W_{\text{сер}} = 0,493$  кВт·год/т; соняшника  $W_{\text{сер}} = 0,745$  кВт·год/т.

Ці питомі витрати можуть служити в якості орієнтовних нормативів, так як відображають оптимально-можливі за технологічними міркуваннями витрати електроенергії на 1 т зерна.

Однією з важливих операцій при обробці зерна є його очистка від бур'янистої і зернової домішок в зерноочисних машинах різного типу. Найбільше розповсюдження отримали зерноочисні машини, в яких домішки відділяють на спеціальних ситах і

повітряним потоком [2]. В табл. 1 приведені питомі витрати електроенергії на зерноочисні операції при різній продуктивності машин, різній вологості (10-26 %) і засміченості (до 20 %) зерна. Вказані дані отримані в результаті обробки матеріалів проведених експериментальних досліджень.

Таблиця 1 - Питомі витрати електроенергії на зерноочисні операції

Коефіцієнт на культуру, вологість, засміченість	Продуктивність машин, т/год.					
	60	50	40	30	20	10
1,0	0,292	0,320	0,360	0,432	0,572	1,00
0,9	0,307	0,339	0,386	0,464	0,615	1,08
0,8	0,327	0,362	0,416	0,504	0,680	1,21
0,7	0,352	0,393	0,453	0,555	0,757	1,37
0,6	0,386	0,433	0,504	0,620	0,910	1,57
0,5	0,433	0,490	0,573	0,717	0,998	1,85
0,4	0,504	0,574	0,680	0,856	1,210	2,27
0,3	0,622	0,715	0,860	1,090	1,560	2,98
$W_{\text{ср}}$	0,403	0,453	0,528	0,663	0,915	1,665

З приведених даних видно, що середня енергоємність зерноочисних операцій може бути оцінена при продуктивності 60-50 т/год. відповідно в 0,403-0,453 кВт·год/т, при продуктивності 40-30 т/год. в 0,528-0,663 кВт·год/т, при продуктивності 20-10 т/год. в 0,915-1,665 кВт·год/т.

Середній із середніх питомих витрат електроенергії на зерноочисні операції складає

$$W_{\text{ср}} = \frac{\sum W}{n} = \frac{37,026}{48} = 0,772 \text{ кВт·год/т.}$$

Ця величина може бути мірою енергоємності процесу очищення зерна.

**Висновок.** Питомі витрати електроенергії на елеваторах є показником, який відображає енергоємність кінцевого продукту, технологічного процесу, а також ефективність використання електроенергетичних ресурсів.

#### Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Дослідження електропривода централізованої повітряної системи зерноочисних агрегатів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки.* Харків, 2014. Вип. 153: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 96-97.
2. Постнікова М. В. Розрахунок мінімальних питомих витрат електроенергії на очищення посівного зерна на зернопунктах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки.* Харків, 2016. Вип. 175: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 134-136.
3. Постнікова М. В. Дослідження електроприводу скребкового транспортера зерноочисного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 2. DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-32.



УДК [621.313.2:631.3]

## ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Ковальов О. В., інженер

[alekstdaty1979@gmail.com](mailto:alekstdaty1979@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Використання електромеханічних перетворювачів індукторного типу в мобільній ґрунтообробній техніці та деяких видах транспорту пояснюється високою надійністю, простотою конструкції, технологічністю виготовлення і низькою вартістю [1,2]. Вентильні індукторні електромеханічні перетворювачі міцно завоювали позиції як джерела механічної енергії в автотранспортних засобах та малогабаритній ґрунтообробній техніці (електрифікованих мотоблоках, агро модулях та ін.), завдяки простоті конструкції і відсутності ковзних контактів, що істотно підвищує їх надійність і термін служби [3,4].

**Основні матеріали дослідження.** Функційна схема для режиму вентильного двигуна приводу мотоблоку представлена на рис. 1. Обмотки фаз двигуна 2 за допомогою силових ключів інвертора 1 по чергово підключаються до джерела постійної напруги  $U_0$ . Комутація обмоток вентильного індукторного двигуна здійснюється схемою управління 3 в залежності від положення ротора, яке визначається за допомогою датчика положення ротора 4.

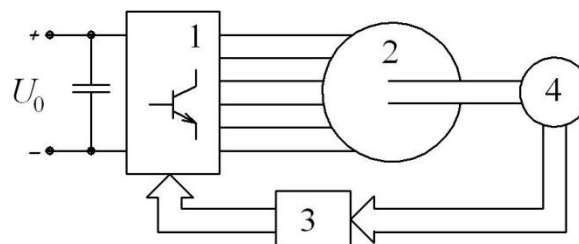


Рис. 1. Функціональна схема моделі вентильного індукторного двигуна приводу мотоблоку

На основі функціональної схеми (рис. 1) для трифазного вентильного індукторного двигуна електроприводу руху мотоблоку запропонована імітаційна математична модель [5]. Блок живлення формує вихідну характеристику джерела залежно від споживаного струму.

Електромагнітні процеси в вентильній індукторній машині описуються системою рівнянь Кірхгофа, яка в загальному вигляді в  $j$ -му контурі має вигляд

$$U_j = \sum_{j=1}^n i_j \cdot R_j + \sum_{j=1}^n \frac{d\psi_j}{dt}, \quad (1)$$

де  $U_j$ ,  $i_j$ ,  $R_j$  - напруга, струм і опір елемента контуру;

$\psi_j$  - потокозчеплення обмоток  $j$ -го контуру.

При формуванні напруги, що подається на фазну обмотку враховується падіння напруги на вентильних напівпровідникових перетворювачів (у вигляді функціональних резисторів).

За допомогою запропонованої імітаційної моделі досліджувалися режими пуску двигуна приводу руху мотоблоку з різними кутами включення, з навантаженням і при

відсутності навантаження на валу. Графік перехідного процесу при пуску вентильного індукторного двигуна показаний на рис. 2, а.

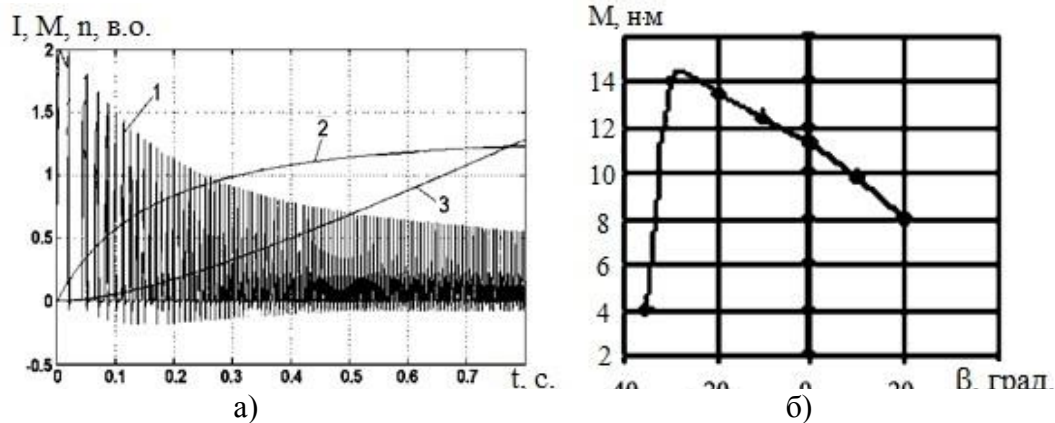


Рис. 2. Перехідний процес пуску вентильного двигуна приводу мотоблоку з кутом включення  $\beta = 0$  (а) та залежність моменту від кута включення фази (б)

Досліджувався вплив кута включення фази при незмінній тривалості включення (120 електричних градусів) на електромагнітний момент, що розвивається вентильною індукторною машиною. Результати моделювання показали (рис. 2, б), що максимальне значення електромагнітного моменту досягається при куті управління – 27 електричних градусів. Модель використовувалася також для розрахунку механічної характеристики вентильного індукторного двигуна, при цьому розходження з дослідними даними не перевищило 10-15%.

**Висновок.** Обґрунтовано параметри імітаційної моделі вентильної індукторної машини приводу мотоблоку, що враховує параметри вентилів напівпровідникових перетворювачів, комбіноване збудження, насичення магнітного кола машини. Імітаційна модель дозволила дослідити вплив параметрів електромеханічної системи індукторного типу на її робочі характеристики в динамічних і статичних режимах.

#### Список використаних джерел

1. Ковальов О. В. Розрахунок потужності та вибір тягового електродвигуна приводу мотоблоку. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 8. С. 228-238.
2. Ковальов О. В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД. *Вісник Національного технічного Університету «Харківський політехнічний інститут»*. Харків, 2008. №30. С. 509-510.
3. Ковальов О. В., Катюха А. А., Назар'ян Г. Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 93-99.
4. Кувачов В. П., Куценко Ю. М., Ковальов О. В., Ігнат'єв Є. І. Електрифікований агрономодуль – ефективне рішення проблем механізації рослинництва. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 86-92.
5. Чихняев В. А., Нестерин В. А., Ваткин В. А., Бабак А. Г. Математическое исследование вентильно-индукторного привода. *Автоматизированный электропривод*. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2003. С. 152 – 161.

УДК 62-533.7

## КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЗА МІНІМУМОМ ВИТРАТИ РЕСУРСУ ІЗОЛЯЦІЇ

Вовк О. Ю., к.т.н.

[oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** На сьогодні більше 50 % електричної енергії, що виробляється у світі, споживається асинхронними електродвигунами [1]. Таке розповсюдження ці електродвигуни отримали завдяки високій конструкційній надійності та порівняно незначній вартості виготовлення. В той же час експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів у всіх галузях промисловості невисока: щорічно виходять з ладу та ремонтуються близько 30 % зазначених електродвигунів [2], що обумовлено зношенням їх ізоляційної конструкції, яка перебуває під дією різноманітних конструкційних та експлуатаційних впливів. Одним з таких впливів, який значно сприяє зношенню ізоляції електродвигуна, є навантаження з боку робочої машини [3]. Воно носить змінний характер і може коливатись від значного недовантаження на холостому ході робочої машини до суттєвого перевантаження [4]. У всіх випадках навантаження на затискачі електродвигуна, як правило, подається номінальна напруга живлення, що не є раціональним з точки зору витрати ресурсу його ізоляції [5], тому що при зниженні навантаження на електродвигун напруга на його затискачах теж може бути зменшена [6]. Тому у роботі поставлена задача обґрунтування закону зміни напруги на затискачах асинхронного електродвигуна при зниженні його навантаження нижче номінального.

**Основні матеріали дослідження.** Для розв'язання поставленої задачі було складено рівняння швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції ковзання  $s$  та коефіцієнта зниження напруги  $k_u$ :

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot \exp \left[ B \left( \frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta_n} \right) \right]; \quad (1)$$

$$\theta = \tau_n \cdot \frac{a + \left[ \left( r_1' + \frac{r_2''}{s_n} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right] / \left[ \left( r_1' + \frac{r_2''}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right] \cdot k_u^2}{a + 1 - \alpha \tau_n \left( \left[ \left( r_1' + \frac{r_2''}{s_n} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right] / \left[ \left( r_1' + \frac{r_2''}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right] \cdot k_u^2 - 1 \right)} + \vartheta_{сер} + 273, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_n$  – номінальна швидкість витрати ресурсу ізоляції обмотки статора;  $B$  – коефіцієнт, що характеризує клас ізоляції;  $\theta_n$ ,  $\theta$  – відповідно номінальна і поточна усталена температури обмотки;  $\tau_n$  – номінальне перевищення температури обмотки;  $a$  – коефіцієнт втрат;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору матеріалу обмотки;  $s_n$  – номінальне ковзання;  $r_1'$ ,  $x_1'$ ,  $r_2''$ ,  $x_2''$  – параметри Г-подібної схеми заміщення електродвигуна;  $\vartheta_{сер}$  – температура навколишнього середовища.

Аналіз механічної характеристики асинхронного електродвигуна та механічних характеристик різного типу робочих машин дозволив отримати залежності поточного

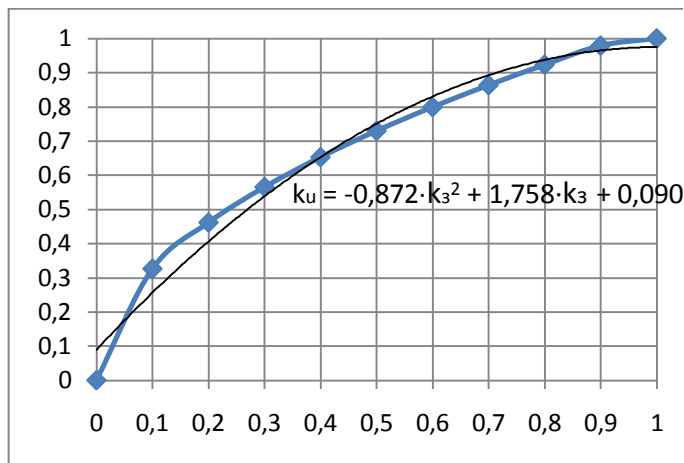


Рис. 1. Залежність  $k_u = f(k_3)$ .

ковзання від конструктивних параметрів електродвигуна, робочої машини, завантаження електродвигуна і коефіцієнта зниження напруги. Чисельне розв'язання усіх отриманих рівнянь, виходячи з  $\varepsilon \rightarrow \min$ , наприклад, для електродвигуна АИР250М4 приводу насосу дозволило отримати рівняння та графічну залежність коефіцієнта зниження напруги  $k_u$  у функції коефіцієнта завантаження  $k_3$  електродвигуна - рис.1.

**Висновок.** У роботі запропоновано здійснювати

скалярне керування асинхронними електродвигунами за допомогою прикладеної напруги в залежності від їх завантаження за попередньо встановленими залежностями.

#### Список використаних джерел

1. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2014. Вип. 153: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 79-81.
2. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Вплив відхилення напруги живлячої мережі на втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2015. Вип. 164: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 121-123.
3. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Дідур В. А. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів потокових технологічних ліній. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 2. URL : <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/174/169> (дата звернення : 22.04.2020).
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Контроль витрати ресурсу ізоляції асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги живлячої мережі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 2. С. 154 – 159.
5. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Волошина А. А., Стребков О. А. Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна. *Енергетика і автоматика*. Київ: НУБіП, 2016. № 4(30). С. 89-97.
6. Вовк О. Ю. Ресурсозберігаюче управління асинхронними електродвигунами. *Енергозабезпечення технологічних процесів : мат. наук.-практ конф....(13-14 червня 2019 р., Мелітополь)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С.12.

УДК 631.37

## ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРОМОДУЛЯ

Ковальов О. В., інженер

[alekstdaty1979@gmail.com](mailto:alekstdaty1979@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Відносна простота регулювання швидкості та підтримки тягового зусилля на заданому рівні визначило застосування в електрифікованих ґрунтообробних машинах електродвигунів постійного струму послідовного збудження (ДПСЗ) [1,2]. Однак дані двигуни при експлуатації мають ряд недоліків: низькі ресурс та надійність колекторного вузла, якірних та полюсних обмоток двигуна, підвищена трудомісткість їх обслуговування. В свою чергу, простоті обладнання, викликані ремонтними роботами, знижують ефективність технологічного процесу обробітку ґрунту [3].

Вищенаведені недоліки обумовлюють необхідність пошуку альтернативних рішень при створенні регульованого електроприводу електрифікованого ґрунтообробного агро модуля. Одна з альтернатив – це побудова електропривода на базі вентильного двигуна змінного струму, що має деяку схожість механічних характеристик, та виключає недоліки двигуна постійного струму із-за відсутності колекторного вузла

**Основні матеріали дослідження.** Класичною формою тягової характеристики є характеристика з трьома ділянками: жорсткою, м'якою та ділянкою постійної потужності. Характеристика представляє собою так звану «тягову область», що обмежує можливі режими роботи привода. Максимальне значення швидкості обмежують вимоги безпеки та технологічності роботи, а також обмеження по зчепленню з ґрунтом [4].

Перспективним варіантом побудови тягового електроприводу агро модуля є застосування безколекторного двигуна постійного струму (БДПС) – магнітоелектричної синхронної машини з трапеційдальним розподіленням магнітного поля з використанням датчика положення ротора (ДПР) та напівпровідникового комутатора.

В операторному вигляді динамічна модель ВД описується системою рівнянь

$$\begin{cases} u_{1d} = (T_s p + 1) i_{1d} - \omega L_1 i_{1q}; \\ u_{1q} = (T_s p + 1) i_{1q} - \omega L_1 i_{1d} + \omega \Phi_f; \\ M = \frac{3}{2} n \Phi_f i_{1q}; \\ J p \omega = M - M_c. \end{cases} \quad (1)$$

де  $n$  – кількість пар полюсів двигуна;

$\Phi_f$  – потік ротора від постійних магнітів, Вб;

$\omega$  – кутова швидкість обертання магнітного поля ротора, рад/с;

$T_s = L_1 / R_1$  – постійна часу двигуна;

$M_c$  – момент опору, Н·м;

$J$  – момент інерції ротора, кг·м<sup>2</sup>.



З системи (1) виходить, що при  $\Phi_f = const$  електромагнітний момент двигуна однозначно визначається складовою струму  $i_{1q}$ , що відповідає найменшому значенню струму, що споживається електродвигуном. Найбільш сприятливим для наших умов є такий режим ВД, при якому кут між напругою статора та ЕРС ротора складає  $\psi = 0$ . При цьому проявляється тільки поперечна реакція якоря (ротора), і машина споживає реактивну складову потужності, утворюючи максимальний момент, пропорційний струму статора.

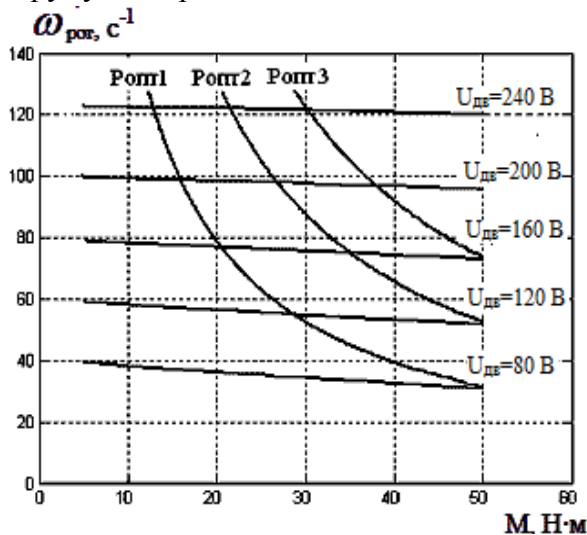


Рис. 1 – Механічні характеристики вентильного двигуна агро модуля

Штучні механічні характеристики ВД при використанні системи керування з підлеглим регулюванням достатньо жорсткі (рис. 1), тобто застосовуючи оптимізацію по струму завдання на регуляторі струму за допомогою блоку обмеження струму, отримаємо штучні механічні характеристики, аналогічні механічним характеристикам двигуна постійного струму послідовного збудження. Враховуючи вимоги до системи керування розглянуті вище, доцільно реалізувати її на базі мікропроцесорної техніки. Для цього слід використати мікроконтролер з ШИМ-функціями.

**Висновок.** Найбільш перспективним варіантом побудови силового електроприводу ґрунтообробного агро модуля є використання вентильного двигуна на базі синхронної машини із збудженням від розташованих на роторі постійних магнітів. В області моментів, близьких до номінальних, його характеристики досить наближені до характеристик двигуна постійного струму. Для його керування необхідно регулювати напругу живлення (вихідну напругу інвертора), тобто система досить близька до системи керування двигуном постійного струму – підлеглому регулювання по швидкості та струму, але при цьому потужність, споживана двигуном, повинна залишатися незмінною при різному навантаженні на валу двигуна.

#### Список використаних джерел

1. Ковальов О. В., Куценко Ю. М., Назар'ян Г. Н. Розрахунок потужності та вибір тягового електродвигуна приводу мотоблока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 8. С. 228-238.
2. Кувачов В. П., Куценко Ю. М., Ковальов О. В., Ігнат'єв Є. І. Електрифікований агро модуль – ефективне рішення проблем механізації рослинництва. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 2. С. 86-92.
3. Ковальов О. В., Катюха А. А., Назар'ян Г. Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 93-99.
4. Ковальов О. В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД. *Вісник Національного технічного Університету «Харківський політехнічний інститут»*. Харків, 2008. №30. С. 509-510.



УДК 621.316.92:621.313

## ТЕХНІЧНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СТАН ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ТРИФАЗНИМИ АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ В УМОВАХ ДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ

Олійник В. Ю., студент

[vlad.oleinick@gmail.com](mailto:vlad.oleinick@gmail.com)

Нестерчук Д. М., к.т.н.

[dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua](mailto:dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Електропривод (ЕП) – це електромеханічна система (ЕМС) для приведення до руху виконавчих органів робочої машини та керування цим рухом для здійснення технологічного процесу. Підвищення якості та забезпечення надійності складових ЕМС є важливою та актуальною проблемою сучасності [1]. Згідно [2] складовою ЕМС є електродвигун, тому необхідно постійно контролювати параметри, їх коливання, зміни та взаємовплив складових ЕМС «мережа – перетворювач – електродвигун» в процесі експлуатації. Прогнозування технічних та енергетичних станів (ТС) ЕМС, аналіз причин їх відмов є актуальними задачами діагностування ЕМС. Експлуатація ЕМС з АД має такі особливості: технічний стан і надійність їх роботи спричиняють критичний вплив на рівень виробничих ризиків; АД використовуються не в номінальних режимах роботи, як наслідок, високий рівень виходу АД з ладу; висока вартість нового устаткування, тривалі терміни пуско-налагоджувальних робіт; завищена встановлена потужність електродвигунів. Ці обставини призводять до зниження ефективності електромеханічного перетворення енергії та коефіцієнта корисної дії.

**Основні матеріали дослідження.** Технічний та енергетичний стан ЕМС з АД підпадають під дію різноманітних експлуатаційних чинників, які умовно поділяються на чотири групи: конструктивні, виробничі, монтажні та експлуатаційні [2, 3], серед них найбільший вплив мають: якість напруги живлення; технологічні режими навантаження; умови експлуатації; дефекти технологічного походження; відповідність застосування електродвигуна його виконанню. Відхилення вказаних чинників від допустимих або номінальних значень призводить до погіршення енергетичних показників, технічного і теплового стану, як наслідок, до зменшення ресурсу роботи. В рисунку 1 наведені експлуатаційні чинники, які впливають на технічний та енергетичний стан ЕМС з АД.

Проведені дослідження показали, що найбільший вплив на технічний та енергетичний стан ЕМС надають показники якості електроенергії. Їх відхилення від нормованих значень призводить до збільшення втрат в АД та до зміни величини моменту, знакозмінні складові якого є причиною додаткових вібрацій елементів конструкцій електродвигунів, при цьому прискорюється й старіння ізоляції. В результаті зростає аварійність, знижуються такі показники як ККД, коефіцієнт потужності та строк служби АД [2, 3]. В умовах дії несиметрії напруг АД не може працювати з номінальним навантаженням на валу через небезпеку аварійної ситуації внаслідок надмірного перегрівання статорної обмотки. Перевищення припустимої температури призводить до передчасного руйнування ізоляції та до істотного скорочення терміну роботи електродвигуна.

В експлуатації АД існують режими роботи, які відповідають нормованим стандартам, так найбільш характерним є режим зі швидкозмінним навантаженням, коли АД періодично входить у режим перевантаження, повертаючись потім до номінального, або входячи у режим роботи з навантаженням меншим номінального [3].

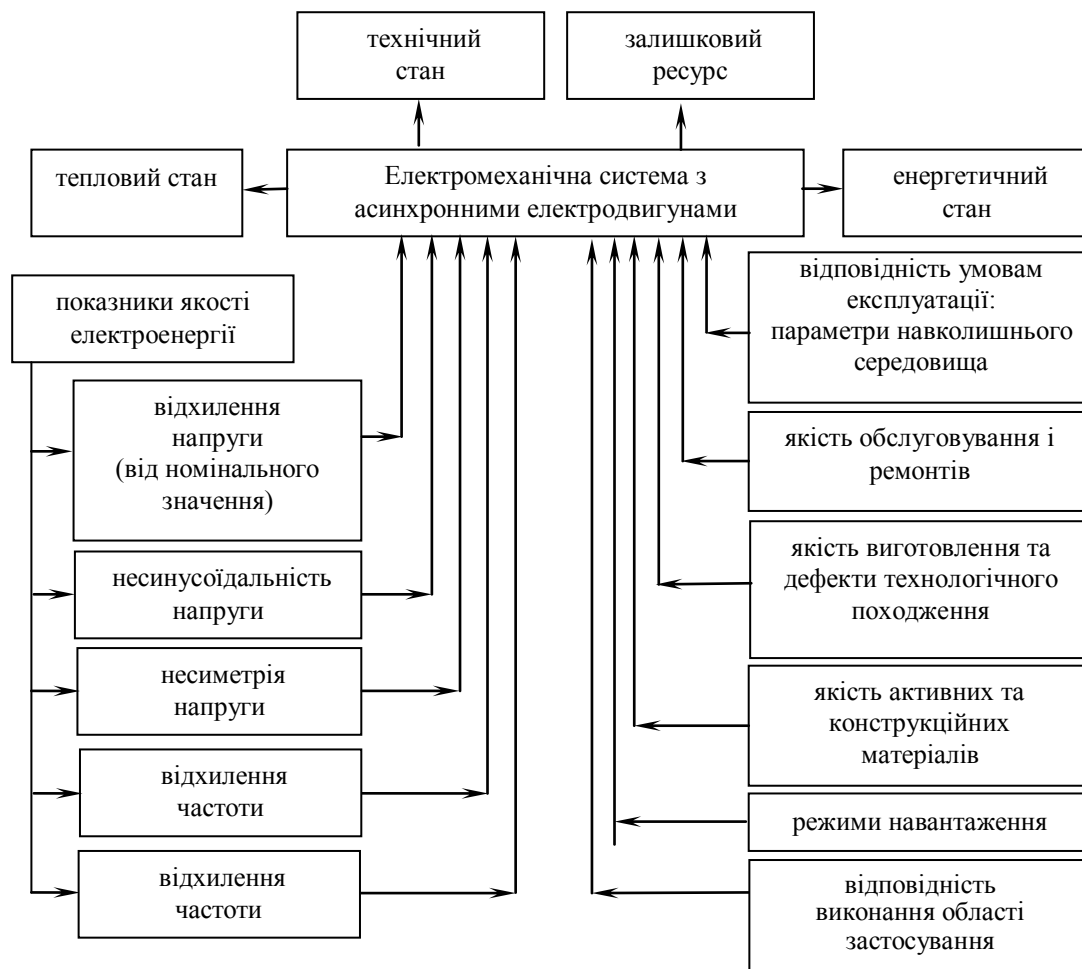


Рис. 1. Експлуатаційні чинники, які впливають на технічний та енергетичний стан електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами

Характер навантаження двигуна залежить від механізму, який він приводить у рух. Робота ЕМС з АД в недовантаженому режимі призводить до значних втрат, зниження ККД та коефіцієнта потужності. Технічний та енергетичний стан АД залежать від умов його експлуатації, а саме, від сукупності зовнішніх факторів, що істотно впливають на працездатність електропривода, до яких належать температура довкілля, вологість, тиск, вібрації, удари зі сторони робочої машини.

**Висновок.** Впровадження методів прогнозування та моніторингу технічного та енергетичного стану ЕМС з АД дозволить підвищити експлуатаційну надійність електропривода та знизить відсоток виходу електродвигунів з ладу.

#### Список використаних джерел.

1. Халіман Л. Г., Братусь О. О., Нестерчук Д. М. *Систематизація та аналіз методів прогнозування технічних станів електромеханічних систем*. Збірник тез доповідей Всеукр. науково-технічної конф. магістр. і студ. ТДАТУ (присвячується 80-річчю Запорізької обл.). Мелітополь, 2018. С.66.
2. Овчаров В. В. *Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве* Киев: Изд-во УСХА, 1990. 168 с
3. Закладний О. О. *Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем: монографія*. Київ: Видавництво «Лібра», 2013. 195 с.

УДК 621.313.13

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ СУМІЩЕННЯ СХЕМ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК СТАТОРА

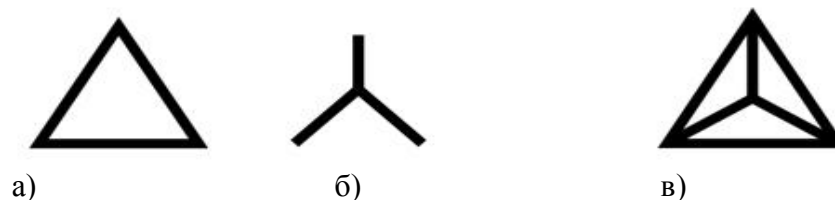
Сідельников Б. Ю., студент  
Попова І. О., к.т.н.

[bogdansidelnikov@gmail.com](mailto:bogdansidelnikov@gmail.com)  
[irirnapopova54@gmail.com](mailto:irirnapopova54@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Енергоефективні двигуни, що представлені на зовнішньому ринку України і країн СНГ – це асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. У двадцятому столітті були спроби модернізувати обмотки статора асинхронних двигунів (АД): за рахунок збільшення маси активних матеріалів, їхньої якості, а також за рахунок спеціальних прийомів проектування удавалося підняти на 1-2 % (для потужних двигунів) та на 4-5 % (для двигунів невеликої потужності) номінальний коефіцієнт корисної дії при незначному збільшенні ціни двигуна. Цей підхід може приносити користь, якщо навантаження змінюється мало, регулювання швидкості не потребується і параметри двигуна обрані вірно [1]. Якщо навантаження асинхронного двигуна часто змінюється в процесі роботи, то необхідно або змінювати частоту його обертання за рахунок частотного перетворювача, які недешеві, або доцільно використовувати асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором з суміщеними обмотками (АДСО). Ці АД в різний час мали різні назви: ортогональні, сумісні комбіновані. В свій час двошарові рівносекційні обмотки, розроблені в США, були названі у нашій країні «американка», а розроблений росіянами новий тип обмотки назвали «Слов'янка» [1].

**Основні матеріали дослідження.** Сутність розробки полягає в тому, що для покращення характеристик магнітного поля в двигуні, суміщають дві схеми: «зірка» і «трикутник» одночасно в одній обмотці статора - рисунок 1 [2].



а) трикутник; б) зірка; в) суміщені обмотки статора

Рис. 1. Схеми з'єднань обмоток асинхронного двигуна

Тобто в АД вкладені шість обмоток, які з'єднані зіркою і трикутником одночасно, бо суміщені обмотки виконуються по схемам укладки шестифазних обмоток, що потребують перерахунку обмоточних даних, за якими перші три фази з'єднуються у зірку, а четверта, п'ята, шоста у трикутник [3]. Відповідно до трифазної мережі можна підключити асинхронний двигун, що має не трифазну, а шестифазну обмотку. При підключенні обмотки до трифазної мережі можна отримати дві системи струмів, які утворюють між векторами магнітної індукції  $30^\circ$  Сумісництво двох схем в одній обмотці дозволяє покращити форму магнітного поля в робочому зазорі двигуна і, як наслідок, значно покращити основні характеристики двигуна. Магнітне поле в робочому зазорі стандартного АД лише умовно можна назвати синусоїдним, бо воно ступінчасте - рисунок 2.а. В результаті цього в АД виникають вищі гармоніки, вібрації і

гальмівні моменти, що погіршують його характеристики. Суміщені обмотки АДСО дозволяють зменшити рівень магнітної індукції полів від непарних гармонік, що приводить до суттєвого зниження загальних втрат активної потужності в елементах магнітопроводу і підвищенню його переважувальної здатності і питомої потужності, що дозволяє виконувати АДСО для роботи на більш високій частоті живлячої напруги при використанні сталі, розрахованої для роботи на частоті 50 Гц. АДСО менше викривляють форму живлячої напруги, що має суттєве значення для цілого ряду об'єктів, що оснащені складною електронікою і персональними комп'ютерами - рисунок 2.б. АДСО мають меншу кратність пускових струмів при більш високих пускових моментах. Це має суттєве значення для обладнання, що працює з частими і зтяжними пусками, а також для обладнання, підключеного до довгих і високо навантажених мереж з високим рівнем падіння напруги.

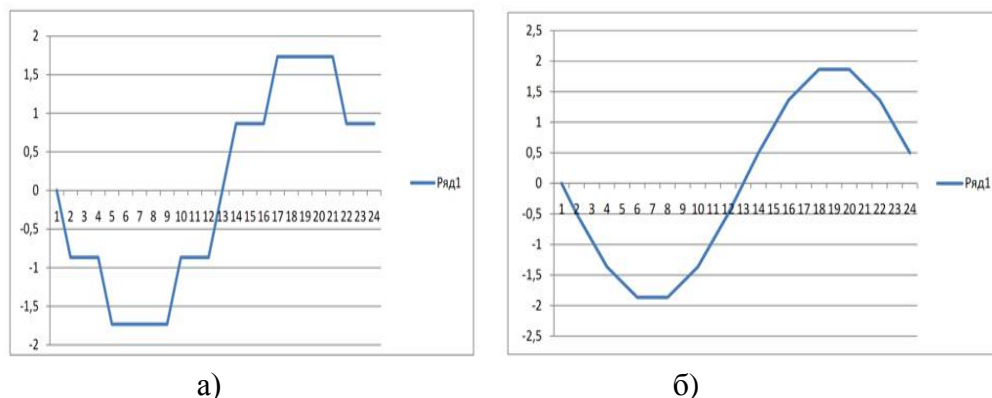


Рис. 2. Форма магнітного поля в робочому зазорі а) стандартного АД на 24 паза і б) АДСО

На відміну від відомих раніше методів підвищення енергетичної ефективності АД, запропоноване рішення обмоток найменше затратне і реалізуємо не тільки при виробництві нових АДСО, але і при капітальному ремонті і модернізації існуючого парку АД. В порівнянні з частотними приводами, запропонована технологія АДСО дозволяє отримати велику економію електроенергії при значно менших капітальних вкладеннях. При сучасних тенденціях зниження впливу промисловості на оточуюче середовище, АДСО буде потрібен, оскільки при значному зменшенні електроспоживання, кількість корисної роботи остається такою же.

#### Список використаних джерел

1. Попова І. О., Мінкін О. В., Понятих М. О. Модернізований асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. *Актуальні проблеми сучасної енергетики – 2019: тези IV Всеукр.наук.-практ. Інтернет-конференції ... (22-24 травня 2019 р. м. Херсон)*. Херсон: ХНТУ, 2019. С. 144-147.
2. Загрядцкий В. И. Совмещенные электрические машины. [Б.и.], 1971. 164 с. URL: <https://rucont.ru/efd/13944> (дата звернення : 12.05.2020).
3. Асинхронный двигатель с совмещенными обмотками. URL: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=372](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=372) (26.04.2020).

УДК 62-533.7

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Ревін О. М., студент

[revinsanekthe36@gmail.com](mailto:revinsanekthe36@gmail.com)

Вовк О. Ю., к.т.н.

[oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного,*

**Актуальність та постановка проблеми.** Асинхронні двигуни широко застосовуються у різних галузях господарства, що обумовлено їх високою надійністю, значною перевантажувальною здатністю і високою ефективністю, але на практиці спостерігається вихід з ладу до 30 % асинхронних електродвигунів через експлуатаційні впливи, які не було враховано при їхньому проектуванні [1, 2]. Крім того, після ремонту з розбиранням і заміною деталей надійність роботи цих електродвигунів теж знижується [3]. Разом із цим доведено, що своєчасно виявлене пошкодження дозволяє уникнути подальшого розвитку процесу руйнування, зменшити час відновлення, скоротити витрати на обслуговування, уникнути простоїв обладнання, підвищити ефективність роботи двигунів і виробничих механізмів [4]. Тому розробка і впровадження методу діагностування асинхронних електродвигунів, який забезпечить всебічну кількісну оцінку їхнього функціонального стану, є актуальним завданням. Отже, в роботі поставлене завдання – проаналізувати існуючі методи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів з метою виявлення можливості їх впровадження.

**Основні матеріали дослідження.** Такий аналіз виконаний на підставі [5 – 7], в результаті чого встановлено наступне. До першої групи відносяться методи, які засновані на аналізі вібрацій окремих елементів агрегату. Суть методів полягає в контролі вібраційних параметрів в різних точках електродвигуна, аналіз яких дозволяє робити висновок про стан електродвигуна. До недоліків методів вібродіагностики відносяться: 1) необхідність безпосереднього доступу до діагностуючого агрегату, що не завжди можливо; 2) методи пристосовані до діагностики механічних пошкоджень як двигуна, так і пов'язаного з ним механізму, тому електричні пошкодження не завжди можуть бути своєчасно виявлені по зміні вібраційних параметрів, що призводить до не виявлення пошкодження або до помилкового висновку в залежності від порогових значень прийнятих в діагностичній моделі.

До другої групи відносяться методи, засновані на вимірюванні і аналізі магнітного потоку в зазорі двигуна та на аналізі вторинних електромагнітних полів машини. Вони, як правило, застосовуються для високовольтних електродвигунів (від 6 кВ і вище). До їх недоліків відносяться: 1) установка датчиків магнітного поля вимагає безпосереднього доступу до об'єкту діагностування і можлива тільки при виготовленні електродвигуна або при його капітальному ремонті; 2) датчики вторинних електромагнітних полів дуже чутливі до дії зовнішніх електромагнітних випромінювань.

Третя група включає методи діагностування стану ізоляції, які широко застосовуються при діагностиці електрообладнання. Як правило, їх використання можливе тільки при знятій напрузі, що виключає діагностування працюючих машин в реальному часі в нормальному режимі їх роботи. Проте існує метод діагностування стану ізоляції працюючого електрообладнання, який ґрунтується на реєстрації часткових розрядів, але на сьогодні він розроблений лише для високовольтного обладнання. Крім того,



діагностування ізоляції не дає інформації про стан інших елементів конструкції електродвигуна.

Четверта група методів діагностування заснована на аналізі електричних параметрів асинхронних електродвигунів. Найбільш розповсюдженими методами є такі, що ґрунтуються на аналізі таких електричних параметрів працюючого обладнання, як струм, напруга і споживана потужність. В якості діагностичних параметрів використовуються: гармонійні складові спектра струму статора, гармонійні складові спектра споживаної потужності, спектральні складові амплітуди і фази вектора Парку. Недоліками даних методів є необхідність врахування впливу на електричні параметри характеристик мережі живлення, характеру навантаження, впливу зовнішніх електромагнітних полів, перехідних процесів в приводі, тощо. Крім того, у регульованому електроприводі на основі силових напівпровідникових перетворювачів в спектрах струмів виникають частоти, обумовлені комутацією вентилів, що також необхідно враховувати.

**Висновок.** Таким чином, якщо розглядати наведені методи діагностування з точки зору «вартість – достовірність», то на сьогодні відсутній такий метод діагностування, який дозволяє контролювати функціональний стан працюючих в експлуатації асинхронних електродвигунів з не дуже коштовною технічною реалізацією, забезпечуючи при цьому отримання достовірної інформації про електродвигун. Тому подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію існуючих методів діагностування або на розроблення нових, які будуть позбавлені вказаних недоліків.

#### **Список використаних джерел**

1. Вовк О.Ю. Періодичне діагностування асинхронних електродвигунів в експлуатації / О.Ю. Вовк // Праці Таврійського державної агротехнічної академії: наукове фахове вид., Вип. 32.–Мелітополь: ТДАТА, 2005.–С. 74-85.
2. Вовк О.Ю. Обґрунтування параметрів функціонального стану асинхронних електродвигунів / О.Ю. Вовк, С.О. Квітка, Л.М. Безменнікова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 8. Т. 9. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 129-137.
3. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів / О.Ю. Вовк, С.О. Квітка, Л.М. Безменнікова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 10. Т. 4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 39-46.
4. Вовк О.Ю. Технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів / О.Ю. Вовк, С.О. Квітка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове вид., Вип. 11, т. 3 – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 80 – 88.
5. Овчаров В.В. Теоретичні передумови комплексного діагностування асинхронних електродвигунів / В.В. Овчаров, О.Ю. Вовк // Праці Таврійського державної агротехнічної академії: наукове фахове вид., Вип. 1, Т.21. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 4-6.
6. Сидельников Л.Г. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации / Л.Г. Сидельников, Д.О. Афанасьев // Весник ПНИПУ. – №7., 2013. – С.127 – 137.
7. Квітка С.О. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 153. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С. 85-87.



УДК 621.313.33

## РОЗРОБКА ТЕМПЕРАТУРНО-СТРУМОВОГО ЗАХИСНОГО ПРИСТРОЮ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Щербаков С. В., студент

[sherbak16032000@gmail.com](mailto:sherbak16032000@gmail.com)

Попова І. О., к.т.н.

[irirnapopova54@gmail.com](mailto:irirnapopova54@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** В агропромисловому комплексі у технологічних процесах виробництва найбільш часто використовують асинхронні двигуни загального призначення потужністю від 0,75 кВт до 7,5 кВт, що складають 50 % всього парку [1]. Тому питання підвищення надійності і довготривалої роботи асинхронного електродвигуна, як найбільш відповідальної ділянки в комплексі технологічного обладнання, є актуальним. Як відомо, найбільш вразливим елементом конструкції електродвигуна, що обумовлює значну кількість виходів його з ладу, є обмотка і її ізоляція з причини її пошкодження в результаті перевантаження за струмом і теплового зносу її ізоляції, що є наслідком майже всіх аварійних експлуатаційних режимів. Це призводить до простою технологічного обладнання і пов'язаних з цим суттєвих фінансових збитків. У зв'язку з цим розробка сучасних, недорогих електронних пристроїв захисту є актуальною задачею.

**Основні матеріали дослідження.** Пристрої захисту від аварійних режимів можна розподілити на декілька видів: теплові, струмозалежні, термочутливі, комбіновані та інші. Струмові захисні пристрої реагують на силу струму, що тече в обмотці статора електродвигуна, яка підлягає захисту. Недоліком струмових захистів є різна чутливість к зміні перевантажень. Найбільшу чутливість вони мають у діапазоні великих перевантажень, пов'язаних з різким зростанням струму у обмотках статора асинхронного електродвигуна. А в діапазоні малих перевантажень чутливість їхня знижується, що є основним недоліком струмових захистів. Температурні захисні пристрої реагують на температуру нагріву ізоляції обмоток електродвигуна і дозволяють захищати двигун від багатьох складних типів перевантажень, як збільшення механічних втрат, тривалих невеликих перевантажень і інше. При досягненні небезпечної для обмотки температури, захист відключає двигун незалежно від причин, що викликали перегрів. Однак цей вид захисту погано діє при великих поштовхових перевантаженнях, оскільки теплова інерція ізоляції обмоток статора, через яку тепло передається від обмотки чутливому елементу захисного пристрою, призводить до спізнення спрацювання захисту. В наслідок цього температурний захист неефективний при загальмованому роторі електродвигуна, що є суттєвим недоліком захисту [2].

Тому доцільно розробити комбінований захисний пристрій, яким будуть поєднувати контроль двох діагностичних параметрів: сили струму в обмотках статора асинхронного двигуна і температури ізоляції статорних обмоток. Пристрій повинен мати наступні блоки: первинні вимірювальні перетворювачі фазних струмів у напругу (~/-); згладжуючі фільтри; операційні підсилювачі на основі компараторів; логічні елементи «АБО» і «НІ»; світлову сигналізацію при перевищенні допустимого значення фазного струму або температури обмотки; підсилюючі елементи; звукову сигналізацію при перевищенні допустимого значення фазного струму або температури обмотки;

елемент затримки часу включення діагностуючого пристрою на час запуску асинхронного двигуна; виконавчий орган; стабілізоване джерело напруги; котушку проміжного реле. В якості первинного вимірювального перетворювача фазного струму у напругу можна використати датчики Холла ( $\sim/-$ ), це три мікросхеми, кожна з яких вимірює змінний синусоїдний фазний струм і перетворює сигнал на виході мікросхеми у постійну напругу, пропорційну фазному струму. В якості первинних перетворювачів температури можна застосувати три послідовно з'єднані терморезистори (позистори), що мають позитивний динамічний опір, які вкладені в лобові частини обмоток статора двигуна. Згладжуючими фільтрами можна обрати три конденсатори (по одному в кожній фазі), які будуть фільтрами для вищих гармонік напруги. Для обмеження величини сигналу напруги, що подається на електронні операційні підсилювачі, можна використати потенціометри. Для завдання граничного значення контрольованого фазного струму будуть служити теж потенціометри, підключені до інвертованих входів компараторів. Світлову сигналізацію аварійного відключення асинхронного двигуна виконує світлодіод. Для живлення операційних підсилювачів і створення опорної напруги на них використане стабілізоване джерело постійної напруги, виконане на базі знижуючого трансформатора напруги, діодного мосту, мікросхеми, двох біполярних транзисторів і випрямляючих діодних мостів, які видають напругу +15 В і -15 В. В схемі для подачі сигналу на входи логічного елемента DD1 «АБО» використані транзистори, що виконують функцію ключа. Якщо присутній сигнал хоча б на одному ввіді логічного елемента «АБО», наприклад при перевищенні фазного струму граничного значення у обмотках асинхронного електродвигуна, з'являється сигнал на виході логічного елемента. Транзистори, що стоять на виході логічного елемента «АБО» відкриваються і подається напруга на світлодіод і звукову сигналізацію, а також на котушку проміжного реле, яке своїм розмикаючим контактом, що включений в колі котушки магнітного пускача асинхронного двигуна, відімкне асинхронний двигун від мережі напруги. При збільшенні значення фазного струму в результаті аварійного експлуатаційного режиму хоча б в одній фазній обмотці статора, збільшується величина напруги на виході датчика Холла. Якщо величина вимірюваного струму обмотки (напруги датчика Холла) досягає граничного значення, заданого резисторами-здатчиками, на виході операційного підсилювача (компаратора) з'являється напруга, яка відчиняє транзистори, через які подається напруга на світлодіод, звукову сигналізацію і котушку проміжного реле, а вже реле своїми розмикаючими контактами, що включені в колі котушки магнітного пускача асинхронного двигуна відімкне асинхронний двигун від мережі напруги. При тривалому перевантаженні або порушенні теплообміну асинхронного двигуна в наслідок ускладнень технологічного процесу, збільшується температура фазної обмотки і величина опору терморезистора (позистора), тому підвищується падіння напруги на ньому. При досягненні на неінвертованому вході операційного підсилювача (компараторі) напруги спрацювання, тригер (виконаний на транзисторі) відкривається і на вході логічного елемента «НІ» з'являється рівень логічного нуля, тому на вході логічного елемента «АБО» – рівень логічної «1» і подається сигнал на логічний елемент «АБО», на виході якого з'являється сигнал. Транзистори відкриваються, спрацьовує світлова, звукова сигналізація і котушка проміжного реле. Розмикаючий контакт реле знеструмлює котушку магнітного пускача двигуна, а силові контакти пускача розмикаються і відключають асинхронний двигун від мережі живлення. Для запобігання хибних спрацювань захисного пристрою під час пуску асинхронного двигуна, передбачений

нормально розімкнутий контакт реле часу, включений в колі стабілізованого джерела живлення. Величина затримки в часі залежить від умов пуску асинхронного двигуна.

**Висновок.** Розроблений температурно-струмовий захисний пристрій дозволяє підвищити експлуатаційну надійність асинхронного електродвигуна і збільшити термін його служби у сільськогосподарчому виробництві.

#### Список використаних джерел

1. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 114-115.

2. Popova I. A., Kurashkin S. F., Nesterchuk D. N., Kvitka S. A. Three-phase motor protection device. *Perspectives of world science and education: abstracts of the 2nd International scientific and practical conference*. Osaka, 2019. P. 556-559. URL: <http://sci-conf.com.ua> (дата звернення: 03.04.2020).

УДК [621.313:621.86]:519.87

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СПОЖИТОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТИХОХІДНИХ НОРІЙ

Сідельников Б. Ю., студент

[bogdansidelnikov@gmail.com](mailto:bogdansidelnikov@gmail.com)

Постнікова М. В., к.т.н.

[marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Як відомо, в наш час при обробці зерна, а саме при його транспортуванні до зерноочисних машин, використовують швидкохідні норії, що призводить до значного травмування зерна. Цих недоліків позбавлені тихохідні норії. При більших габаритах і масі ці норії мають переваги: вони не подрібнюють зерно, травмування зерна і насіння мінімальні. В порівнянні із звичайними норіями, вони знижують травмування насіння вівса в 6 разів, ячменю – в 4 рази і практично не травмують пшеницю [1].

Електроспоживання цих норій менше. Ступінь використання норій за продуктивністю є основним критерієм, який визначає найважливіші техніко-економічні показники зернопункту [2]. У зв'язку з цим досягнення економічності роботи електроприводів норій є актуальним завданням.

**Основні матеріали дослідження.** В результаті аналізу відомих конструкцій ківшевих норій виявлено, що в сучасних зерноочисних лініях використовуються як швидкохідні, так і тихохідні ківшеві норії. Згідно наукових досліджень, швидкісний режим роботи норії досить значно впливає на пошкодження зерна в процесі його транспортування по технологічній лінії. Так, наприклад, зменшення швидкості руху стрічки ківшевого елеватора на 1 м/с зменшує пошкодження зерна на 1 %. Із збільшенням швидкості руху стрічки збільшується ступінь впливу робочих органів норії на зерно, а також при співударянні зерна при розвантаженні ковша виникає зворотне зсіпання. Зерно, що зсіпається з великої висоти, окрім безкорисної витрати енергії на підйом матеріалу, призводить до пошкодження цього зерна за рахунок ударів його об елементи норії.

Тому для зниження травмування зерна, особливо майбутнього посівного матеріалу, часто використовують тихохідні ківшеві норії. В табл. 1 наведені паспортні дані швидкохідної норії НЗ-10 та тихохідної норії НЗ-10 Клен [3].

Таблиця 1 - Паспортні данні норій НЗ-10 та НЗ-10 Клен

Технічна характеристика	Тип норії	
	НЗ-10	НЗ-10 Клен
Продуктивність (по пшениці вологістю до 15 %), т/год.	10	10
Встановлена потужність, кВт	2,2	1,1
Швидкість руху стрічки, м/с	2,25	0,8
Шаг ківшів, мм	340	164

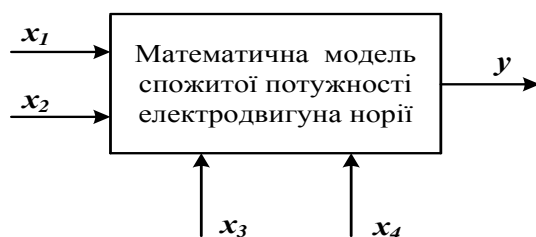
Як видно з табл. 1, встановлена потужність електродвигуна тихохідної норії НЗ-10 Клен в два рази менша потужності електродвигуна швидкохідної норії НЗ-10. Отже, при однаковій продуктивності норій витрата електроенергії у норії НЗ-10 Клен буде значно меншою.

Часто величина встановленої потужності електродвигунів необґрунтовано підвищена в процесі проектування норій. Існуюча методика визначення потрібної потужності для приводу норій базується на так званому тяговому розрахунку або використовує емпіричні формули, які дають розрахункові значення потужності норій з великим розходженням [4].

Найбільш правильний вибір типу і потужності електродвигуна можна здійснити при умові, коли відомі величина і характер фактичних завантажень на валу норії. Вони визначаються експериментальним шляхом за навантажувальними діаграмами і іншими даними, які характеризують норію як робочу машину (механічна характеристика, момент зрушення). Але в теперішній час такі дані відсутні [4].

Питомі витрати електроенергії являються показником, який характеризує енергоємність технологічного процесу. Цей показник дозволяє порівняти результати використання електричної енергії при різних змінних умовах праці і органічно зв'язаний з режимами роботи обладнання, його ритмічністю, структурно-механічними характеристиками зерна і іншими технологічними факторами. З іншого боку стійкість, стабільність технологічного процесу, визначається як кількісною, так і якісною стороною енергетичного фактора.

Математична модель спожитої потужності електродвигуна норії представлена на рис. 1 [4]:



В математичній моделі (рис. 1) прийнято:

$x_1$  – продуктивність норії, т/год.;

$x_2$  – висота підйому продукту, м;

$x_3$  – ККД норії і передачі, в.о.;

$x_4$  – ККД електродвигуна, в.о.;

$y$  – спожита потужність електродвигуна, кВт.

Рис. 1. Математична модель спожитої потужності електродвигуна норії

**Висновок.** Детально вивчити всі фактори, які впливають на питомі витрати енергії, практично неможливо. Застосування багатофакторного планування експерименту при дослідженні впливу конструктивних параметрів на питомі витрати електроенергії дозволяє при невеликій кількості дослідів визначити оптимальні умови роботи і видати рекомендації з удосконалення норій.

#### Список використаних джерел

1. Гехтман А., Кремнев А., Турищев Н. Нории тихоходные . *Сельский механизатор*. 2003. № 7. С. 9.
2. Постнікова М. В. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти. *Оцінка енергетичної ефективності робочих машин поточкових ліній очищення зерна: колективна монографія* / за ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава: Астроя, 2019. С. 201-206.
3. Нория тихоходная НЗ-10. URL: <https://xn---8sbjfygplr.xn--p1ai/noriya-tixohodnaua-nz-10.html> (дата звернення: 03.04.2020).
4. Постнікова М. В. Дослідження впливу висоти норій елеваторів на енергоємність транспортування. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Суми, 2016. Вип. 10/1(29). С. 161 - 163.

УДК 621.313.2

## СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИВОДУ ҐРУНТОБРОБНОГО МОТОБЛОКУ

Ковальов О. В., інженер  
Дьяченко Б. А., студент

[alekstdaty1979@gmail.com](mailto:alekstdaty1979@gmail.com)  
[diatchienko74@gmail.com](mailto:diatchienko74@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** В останні роки електропривод постійного струму почав витіснятися приводом на асинхронних двигунах як на більш надійних та дешевих. Проблемою асинхронного приводу є складність у його регулюванні. В свою чергу електропривод постійного струму має більш прості алгоритми регулювання. Використання ДПС у приводі підйомних механізмів, транспортних засобів та ґрунтообробних мотоблоків дозволяє змінювати струмову та потокову складові незалежно одне від одного, а з використанням широтно-імпульсної модуляції електропривод став більш точним і показує вищі динамічні показники при регулюванні [1-3]. Також збільшилася економічність, надійність та простота електроприводу ґрунтообробного мотоблоку[4].

**Основні матеріали дослідження.** Запропонована система регулювання швидкості ДПС приводу мотоблоку дозволяє здійснювати регулювання у діапазоні від  $0,05\omega_{ном}$  до  $1,5\omega_{ном}$ . Регулювання буде відбуватися у двох зонах.

Для моделювання перехідних процесів системи керування електроприводом постійного струму використано середовище Simulink програмного комплексу MatLab. Побудована система має наступний вигляд.

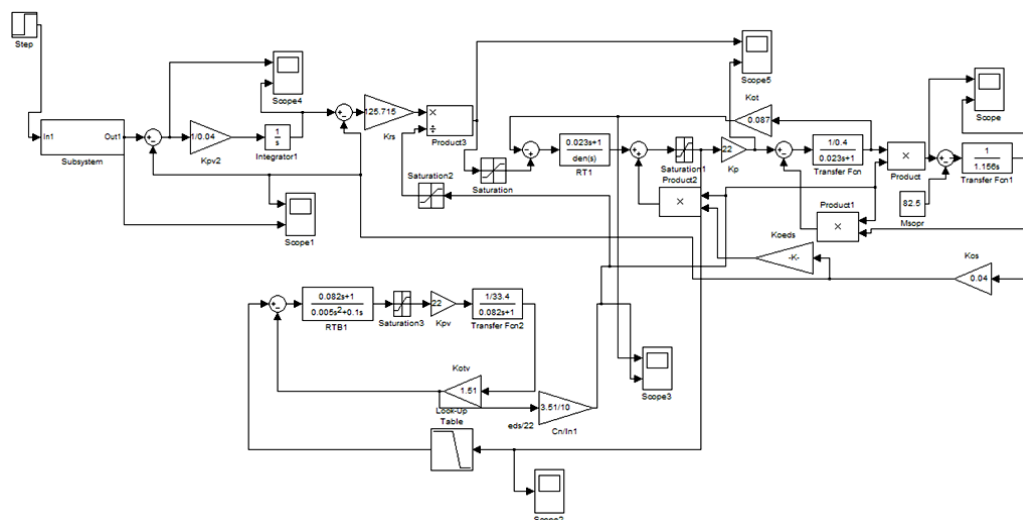


Рис. 1. Система керування електроприводом ґрунтообробного мотоблоку для комплексу MatLab.

Варто зазначити, що в запропонованій системі використовується двохпороговий задавач інтенсивності, тобто до напруги 4,8 В швидкість зростання сигналу складає 26 В/с, при переході за напругу 4,8 В швидкість знижується до 6В/с. Застосування такого пристрою обумовлене великими коливаннями, виникаючими через більш повільний контур збудження.



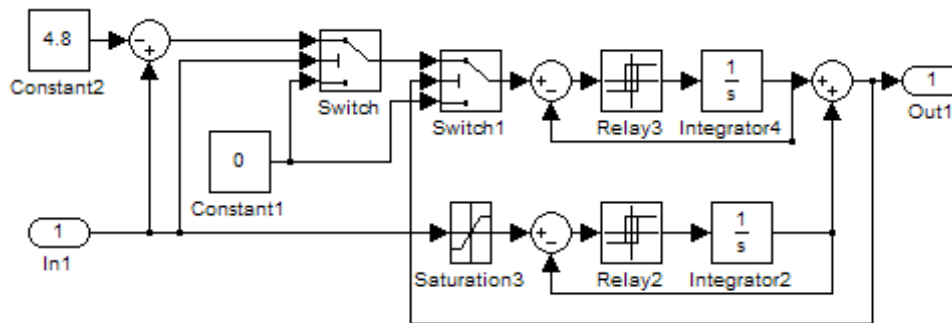


Рис. 2. Схема задавача інтенсивності для комплексу MatLab.

Результати моделювання при зміні напруги задавача на швидкість від  $0,05\omega_{ном}$  до величини  $1,5\omega_{ном}$  виглядають наступним чином.

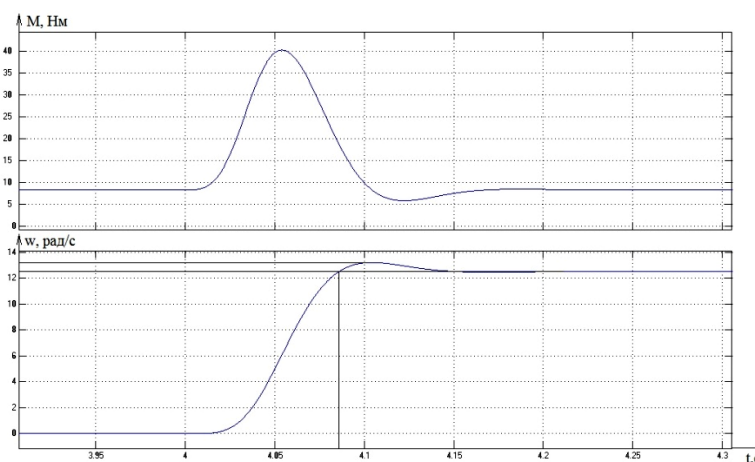


Рис. 3. Залежність кутової швидкості та моменту двигуна постійного струму мотоблоку від часу

**Висновок.** Моделювання системи керування електродвигуном постійного струму приводу мотоблоку показало, що показники якості регулювання відповідають завданню. А саме перегулювання не перевищує 5%, а статична похибка дорівнює нулю, так як система налаштована з астатизмом по навантаженню.

#### Список використаних джерел.

1. Ковальов О. В., Квітка С. О. Обґрунтування способу керування ДПС приводу мотоблоку. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки.* Харків, 2016. Вип. 175. С. 146-147.
2. Квітка С. О., Ковальов О. В. Обґрунтування системи керування електроприводом ґрунтообробного мотоблоку. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів.* Суми, 2016. Вип. 10/1 (29). С. 183-186.
3. Назаренко І. П., Ковальов О. В., Герасименко В. П. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблоку. *Енергетика і автоматика: зб. наук. праць.* Київ: НУБіП, 2018. № 5(39). С. 48-58.
4. Ковальов О. В., Катюха А. А., Назар'ян Г. Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2007. Вип. 7., т. 3. С. 93-99.

УДК 631.362.3:633.15

## АНАЛІЗ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КАЛІБРУВАННЯ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ

Щербаков С. В., студент  
Постнікова М. В., к.т.н.

[serjik347555@gmail.com](mailto:serjik347555@gmail.com)  
[marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Кукурудза - друга за значимістю культура в структурі посівних площ. Її обробляють для продовольчих (приблизно 20 % світового обсягу), кормових (60-65 %) і технічних цілей (15-20 %). Різні частини цієї рослини використовуються в виробництвах борошна, круп, пластівців, консервів, крохмалю, масла, лікарських препаратів, волокна, паперу (паперової тари), клею, фарби, мила, замінника гуми, синтетичних речовин, комбікорми. Також вона затребувана в поживних і повторних посівах. Очищення і калібрування насіння кукурудзи дозволяє розділити посівний матеріал на класи по схожості (1 клас 96 %, другий – 92 %).

Сучасні сівалки дозволяють рівномірно висівати насіння різної крупності, але використання каліброваного насіння дозволяє забезпечувати більш одночасні сходи і, як правило, більш високу врожайність. Питання енергозбереження при технологічному процесі калібрування насіння кукурудзи є актуальними і своєчасними [1].

**Основні матеріали дослідження.** Для очищення, сортування і калібрування кукурудзи на етапі товарного насінництва як зарубіжними, так і вітчизняними виробниками розроблені десятки машин продуктивністю від 1,5 до 30 т/год. Відзначимо деякі з них, які зарекомендували себе в цьому сегменті ринку сільськогосподарської техніки.

Калібрувальник насіння кукурудзи КСК-1,5 (КСК-3) (табл. 1) призначений для калібрування насіння кукурудзи на чотири фракції в технологічних лініях перед сівбою або для очистки і сортування на пневмосортувальних столах. Також можливе очищення і калібрування соняшнику, сої та інших культур. Вихідний матеріал: насіння кукурудзи після сушки і обробки на повітряно-решітних машинах. Схема технологічного процесу калібрувальника представлена на рис. 1.

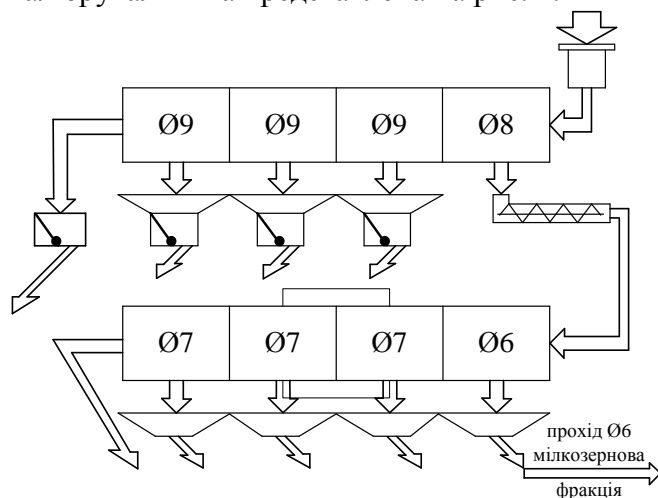


Рис. 1. Схема технологічного процесу роботи калібрувальника КСК-1,5

Насіння кукурудзи поступають в верхній циліндр на перше решето Ø8. Схід з решета Ø8 переміщується на наступні три Ø9. Прохід через решето Ø8 поступає в шнек і завантажується на перше решето нижнього циліндра Ø6 і наступні три Ø7.

Перша фракція – схід з трьох решіт Ø9; друга фракція – прохід через три решета Ø9; третя фракція – схід з трьох решіт Ø7; четверта фракція – прохід через три решета Ø7 [3].

Таблиця 1 - Технічні характеристики калібрувальників КСК

Показник	КСК-1,5	КСК-3
Продуктивність, т/год.	1,5	3
Встановлена потужність, кВт	1,5	3 (2 по 1,5)
Частота обертання трієрних циліндрів, об/хв.	27; 31; 34; 39	

Енергоємність операції калібрування кукурудзи залежить від технологічної схеми і характеристики обладнання.

Зв'язок між питомими витратами електроенергії в функції продуктивності калібрувальних машин КСК може бути виражений кореляційним рівнянням [2]

$$W = 0,164 + \frac{0,294}{Q}$$

де  $Q$  - продуктивність, т/год.

За даним рівнянням побудовані залежності  $W = f(Q)$  для калібрувальних машин КСК (рис. 1).

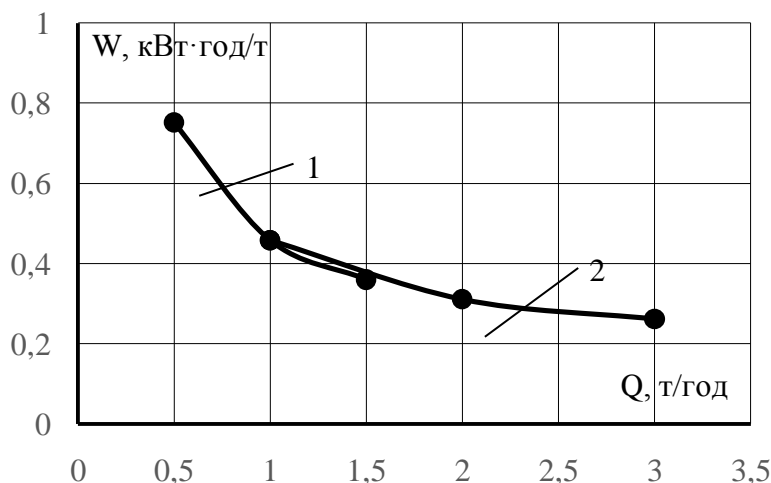


Рис. 2. Залежність  $W = f(Q)$ : 1 – КСК-1,5; 2 – КСК-3,0

З рис. 2 видно, що з ростом продуктивності зменшуються питомі витрати електроенергії.

**Висновок.** Пошук оптимального значення енергоємності дозволить розробити науково-обґрунтовані норми технологічного процесу.

### Список використаних джерел

1. Постнікова М. В. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти. *Оцінка енергетичної ефективності робочих машин поточкових ліній очищення зерна*: колективна монографія / за ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава: Астрія, 2019. С. 201-206.
2. Методика энергетического мониторинга сельскохозяйственных объектов, выявление резервов и потенциала экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Москва: ФГНУ Росинформагротех, 2001. 100 с.
3. Самурганов Е. Е. Параметры и режимы работы калибровщика семенного материала кукурузы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Краснодар, 2017. 181 с.

### Секція 3. Електротехнології та електротехнологічні системи

УДК 631.53.027.34

#### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОГЛИНАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПРИ АКУСТИЧНОМУ ЗОНДУВАННІ

Яковлєв В. Ф., к.т.н.

[vyakov@gmail.com](mailto:vyakov@gmail.com)

Рясна О. В., інженер

Сумський національний аграрний університет

**Актуальність та постановка проблеми.** Одним з найважливіших показників рівня розвитку сільськогосподарського виробництва є якість продукції, що йде як на реалізацію населенню, так і в якості початкової сировини для технологічної переробки.

Позитивне вирішення цієї задачі можливо тільки при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю стану продукції. В цьому сенсі, одним із перспективних напрямків експресного аналізу якісних ознак продуктів є використання енергії пружних хвиль, особливо при не руйнівному контролі: наявності внутрішніх пошкоджень, оцінки ступеню зрілості, цілісності плодів та інше. Із сукупності існуючих методів найбільш раціональним є метод акустичного зондування, який дозволяє оцінювати, вище названі якісні ознаки, по параметрам акустичного поля при імпульсному збудженні плодів, а саме по коефіцієнту поглинання вільних коливань [1,2]. При цьому виникає необхідність у проведенні експериментальних досліджень по встановленню зв'язків між коефіцієнтом поглинання вільних коливань і фізико-механічними властивостями біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеня зрілості при їх імпульсному збудженні та визначення їх кількісних значень.

**Основні матеріали дослідження.** При проведенні експериментальних досліджень, для встановлення ступеню зв'язку між коефіцієнтом поглинання і фізико-механічними властивостями об'єктів різного ступеню стиглості при їх імпульсному збудженні, було досліджено зв'язок між наступними параметрами:  $\delta_j$  - коефіцієнтом поглинання вільних коливань  $j$ -ої фракції,  $s^{-1}$ ;  $D_{ij}$  -  $i$ -им діаметром плоду  $j$ -ої фракції якості, м;  $\rho_{mj}, \rho_{kj}$  - щільністю компонентів структури (м'якоті і кори, відповідно) плоду  $j$ -ої фракції якості,  $kg/m^3$ ;  $E_j$  - модулем пружності першого роду (модуль Юнга) кори плодів  $j$ -ої фракції, Па;  $K_{mj}$  - модулем об'ємної пружності м'якоті плодів  $j$ -ої фракції, Па, як внутрі, так і між фракціями по ступеню стиглості. Для отримання кількісних значень, вище названих параметрів, було використано експериментальні дані попередніх досліджень амплітудно-частотного спектру вільних коливань біооб'єктів [2,3].

Для встановлення зв'язків між перерахованими параметрами було визначено парні коефіцієнти кореляції та кореляційні відношення, проведено оцінку їх достовірності по визначеній методиці. Також побудовані залежності коефіцієнту поглинання вільних коливань від фізико-механічних параметрів плодів в залежності від ступені їх стиглості, як між фракціями, так і в межах кожної фракції.

Проведені експериментальні дослідження показали, що між коефіцієнтом поглинання  $\delta$  і розміром  $D$ , а також щільністю компонентів структури плода  $\rho_m$  і  $\rho_k$

для кожної фракції і коефіцієнтом поглинання при зміні якості плодів існує зв'язок. Це свідчать про те, що для однозначного визначення коефіцієнта поглинання в залежності від якісного стану плодів необхідно враховувати його геометричний розмір (діаметр).

На рис. 1 показана залежність коефіцієнта поглинання від ступеня зрілості з урахуванням зміни діаметра плодів (в межах можливого мінімального і максимального варіювання) для дослідженого сорту. Ця залежність близька до лінійної (коефіцієнт нелінійності  $\gamma_{\delta i} = 5,01 \dots 8,02 \%$ ). Для кожної фракції по зрілості коефіцієнт поглинання варіює залежно від його розмірно-масової характеристики.

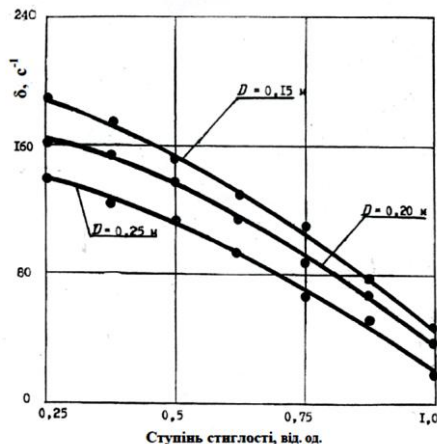


Рис. 1. Залежність коефіцієнта поглинання від діаметра та зрілості біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеня зрілості при акустичному зондуванні

### Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що на вихідні інформативні параметри розділення партії плодів на фракції по якості суттєвий вплив оказують фізико-механічні властивості компонентів структури плодів. Тому, вихідний сигнал післядії імпульсного збудження плодів має складну форму.

2. Між коефіцієнтом поглинання та діаметром плодів існує тісний кореляційний зв'язок:  $r_{\delta D} = - 0,927$  с<sup>-1</sup>. Тому при реалізації цього інформативного параметру для оцінки якості плодів, необхідно обов'язково враховувати їх розмірні характеристики.

3. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між коефіцієнтом поглинання та фізико-механічними властивостями компонентів структури плодів, які, безпосередньо, пов'язані з якісним станом об'єкта контролю. Нелінійність залежності коефіцієнту поглинання від зміни діаметру для кожної із фракцій плодів, з урахуванням можливого мінімального і максимального варіювання, знаходиться в межах  $\gamma_{\delta i} = 5,01 \dots 8,02 \%$ .

### Список використаних джерел

1. Іноземцев Г. Б., Яковлев В. Ф., Козирський В. В. Застосування акустичних технологій в агарному виробництві: навчальний посібник. Київ, 2013. 171 с.
2. Яковлев В. Ф. Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом. *Вісник СНАУ. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Суми, 2018. Вип. 5 (33). С. 66–73.
3. Jakovlev V. F., Terechov A. N. Kontrola jakosci owocow. *Ekologiczne aspekty, mechaniracji nawozenia ochrony roslin i uprawy gleby*: 111 Miedzynarodowe sympozjum (Warszawa, 25 wrzesnia 1996). P. 231-235.

УДК 631.17:66.047.41

## ВИБІР СПОСОБУ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПЛОДООВОЧЕВИХ СУШАРКАХ

Сіренко В. Ф., к.т.н.

Савойський О. Ю., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

[snaumen105@ukr.net](mailto:snaumen105@ukr.net)

[o.savoiskyi@gmail.com](mailto:o.savoiskyi@gmail.com)

**Актуальність постановки проблеми.** Вибір способу сушіння і сушильного устаткування визначається низкою факторів: видом і сортами овочів та фруктів, що готуються до тривалого зберігання, вартістю енергоносіїв, необхідною продуктивністю, умовами й інвестиційними можливостями споживачів.

Сушарки такого призначення найчастіше мають невелику продуктивність і тому їх теплове навантаження не перевищує 50 кВт. При таких потужностях недоцільно влаштовувати окремий підвод рідкого або газоподібного палива для роботи теплогенераторів, а все технологічне енергозабезпечення виконувати електричним струмом.

З розвитком електротехнологій значно розширилось коло способів дії електричної енергії на висушуваний рослинний матеріал безпосередньо електричним полем та протікаючим струмом, а також після перетворення в інші види енергії (електромагнітну, світлову, інфрачервоне випромінювання, акустичну) для термічної обробки сільськогосподарських біологічних об'єктів та продукцію.

Пропонується на початковій стадії розробки енергозберігаючої технології проводити аналіз кількості і ступеню перетворень електричної енергії та теплових потоків в сушильному апараті.

**Основні матеріали досліджень.** В найбільш розповсюджених конвективних сушарках процес видалення вологи є найбільш наближеним до природних умов, а апарати мають доволі просту конструкцію [1]. Низка перетворень енергії досить складна: Виділення теплової енергії при проходженні струму в електронагрівальних елементах --- тепловіддача від поверхні елементів до повітря --- переміщення нагрітого повітря ---тепловіддача від повітря до поверхні об'єкта --- передача енергії теплопровідністю всередину висушуваного матеріалу --- випаровування вологи (7 стадій).

Основними термічними опорами є тепловіддача на межі повітря-тверда поверхня. І як наслідок, питомі енергозатрати досить високі: від 1,6 до 2,5 кВт·год/кг, при необхідних затратах на випаровування 1 кг вологи – 0,7 кВт·год/кг.

В радіаційних сушарках висушують тонколистий матеріал із значною витратою енергії - 1,6 до 2,5 кВт·год/кг, що пояснюється довгим переліком перетворень: Розжарення теплових елементів --- інфрачервоне випромінювання --- поглинання та відбивання променевої енергії --- проникнення теплового фронту всередину матеріалу - --випаровування вологи (5 стадій).

Для висушування товстолистого матеріалу використовують електромагнітні поля високої ВЧ та надвисокої частоти НВЧ. Схема перетворень: Джерело живлення --- електронний генератор високої частоти --- хвилевід --- випромінювач --- поглинання і відбивання ВЧ енергії --- нагрівання товщі діелектричного матеріалу і води --- випаровування вологи (7 стадій).



Сушка таким способом є дуже енергозатратною (2,5—5 кВт•год на 1 кг видаленої вологи), що в декілька разів перевищує показники конвективної та кондуктивної. Обладнання також має високі експлуатаційні затрати та значну капітальну вартість [2].

Акустична, або ультразвукова обробка має такі ж стадії генерування та опромінення, що і струмами НВЧ. При застосуванні УЗ слід також очікувати низьку енергоефективність.

У вищенаведених технічних вирішеннях електровикористання ланцюжки перетворень в сушарках мають 5 - 7 ланок, в яких неминуче виникають шкідливі опори та втрати.

Окремо вирізняється спосіб одностадійного прямого нагріву електропровідного матеріалу пропусканням електричного струму, що широко застосовується в промисловій електротермії. Плодова сировина, що потребує сушіння в широкому діапазоні вологості – від початкової і до кінця першого періоду сушіння має невеликі значення електричних опорів. Вони достатні для резистивного нагріву при прийнятних значеннях градієнтів напруги [3]. У запропонованому нами комбінованому способі [4] маємо лише два етапи: при пропусканні електричного струму у вологому середовищі виділяється джоулеве тепло, а волога випаровується у всьому об'ємі.

**Висновок.** Проведений аналіз показує, що технічна реалізація процесу прискореного видалення вологи із висушуваних об'єктів полягає у введенні необхідної кількості електричної енергії для наступного перетворення в теплову по всьому об'єму вологого зразка за мінімальної кількості перетворень.

#### Список використаних джерел

1. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник. 2-е видання, доп. та випр. Харків: Світ Книг, 2014. 495 с.
2. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок: учебник. Москва: Госэнергоиздат, 1962. 320 с.
3. Савойський О. Ю., Яковлев В. Ф., Сіренко В. Ф. Дослідження величини питомого електричного опору яблучної сировини в процесі сушіння. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2019. Вип. 203: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 107-110.
4. Спосіб комбінованого сушіння біологічних об'єктів: пат. 127324 Україна: МПК (2018.01) F26B 7/00, F26B 5/0.2 (2006.01). № u 2018 02036; заявл. 27.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14. 4 с.

УДК 621.359.2

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ОЧИЩЕННЯ РИЦИНОВОЇ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Назаренко І. П., д.т.н.

[igor.nazarenko@tsatu.edu.ua](mailto:igor.nazarenko@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Технологія виробництва рицинової олії передбачає процес її очищення від рослинних механічних домішок та води. Застосування електричного поля для здійснення цього процесу є перспективним у зв'язку з високою технічною, економічною та екологічною ефективністю.

Технологія очищення рицинової олії в електричному полі включає: додавання до олії води (до 2 %), перемішування для утворення стійкої емульсії, нагрівання до 80...90°C і виділення зважених домішок і води з олії під дією електричного поля [1]. Вода в олію додається для гідратації зв'язаних з рідиною колоїдних частинок фосфатидів, білків та інших рослинних речовин з метою вивільнення і подальшого вилучення з олії. Суть процесу очищення в електричному полі полягає в направленому русі зважених гідратованих частинок та крапель залишкової вологи до електродів під дією діелектрофоретичної сили, утворенні на поверхні електродів парогазових бульбашок за рахунок локального нагріву поблизу електродів та флотацію домішок на поверхню рідини парогазовими бульбашками. На кінетику процесу впливають температура олії, вміст води, форма електродів та напруга. В роботі [2] показано, що для стійкого процесу електроди повинні розташовуватися паралельно в одній площині і мати форму циліндрів невеликого діаметру (1-3 мм). Для розрахунку електричних та енергетичних параметрів процесу достатньо знати електричний опір рідини в такій системі електродів. Цей опір визначається питомим опором рідини та геометричними параметрами електродної системи. Для такої складної системи електродів як паралельні циліндри немає аналітичного виразу для розрахунку опору [3]. Визначення взаємозв'язку між питомим опором рицинової олії та опором циліндричної системи електродів є актуальним завданням для електротехнічного і енергетичного обґрунтування процесу очищення в електричному полі.

**Основні матеріали дослідження.** Енергія електричного поля витрачається на нагрів олії і води та утворення пару. Якщо температура олії не змінюється, то відповідно до теплового балансу енергія електричного поля перетворюється в теплову енергію за законом Джоуля-Ленца і витрачається на пароутворення. На підставі такого балансу можна розрахувати потужність, яка забезпечить випарування потрібної кількості води за певний час. З іншого боку для забезпечення такої потужності при заданій напрузі на електродах (повинна бути нижчою за напругу пробою рідини) можна визначити геометричні параметри електродної системи. До таких параметрів відносяться діаметр електродів, відстань між електродами та довжина електродів. Рекомендований діаметр електродів може бути 2 мм, рекомендована відстань - 10 мм. Відповідно до цього можна записати:

$$R = \frac{k\rho}{l}, \quad (1)$$

де  $R$  – опір електродної системи, Ом;

$k$  – геометричний коефіцієнт форми електродів,  $m^{-2}$ ;

$\rho$  – питомий опір олії,  $\Omega \cdot m$ ;

$l$  - довжина електродів, м.

Для визначення величини геометричний коефіцієнт форми електродів використано моделювання електричного поля в циліндричній системі електродів за допомогою програмного комплексу ELCUT (плоска задача розтікання струмів в провідниковому середовищі). Була обрана система з 12 електродів. На рис. 1 показані електроди та вектори розтікання струмів.

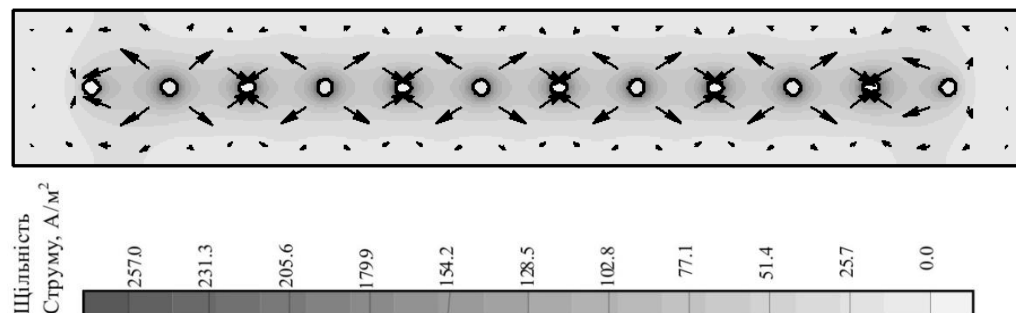


Рис. 1. Результати моделювання розтікання струмів в програмному комплексі ELCUT

При моделюванні напруга між електродами приймалась 1 В, а величина питомого опору - 1  $\Omega \cdot m$ . Результати моделювання дали змогу визначити струми, які витікають з кожного електроду, а сумарний струм склав 8,8 А. При напрузі на електродах 1 В це відповідає опору 0,114  $\Omega \cdot m$ . Тоді з формули (1) геометричний коефіцієнт форми електродів буде дорівнювати 0,114.

Перерахунок на іншу кількість електродів може проводитись за формулою:

$$k_n = \frac{nk}{12l} = \frac{0,0095n}{l}, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість електродів.

**Висновок.** Моделювання в програмному комплексі ELCUT розтікання струмів в провідниковому середовищі в системі з 12 циліндричних електродів дозволило отримати значення величини коефіцієнту форми електродів 0,114 та формули для визначення опору рідини в системі довільної кількості електродів.

#### Список використаних джерел

1. Спосіб очищення рослинної олії: пат. 127279 Україна: МПК C11B 3/00, B03D 1/008 (2006.01). № U201801594. заяв.19.02.2018, опубл. 25.07.2018, Бюл. № 4.
2. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації / В. В. Дідур, В. А. Дідур, І. П. Назаренко, О. П. Назарова, О. В. Діденко. *Техніка та енергетика*. 2018, Т. 9, вип. 3. С. 91-96.
3. Методы расчета электростатических полей / Н. Н. Миролубов, М. В. Костенко, М. Л. Левинштейн, Н. Н. Тиходеев. Москва: Высшая школа, 1963. 416 с.

УДК 66.047.41:634.11

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ СУШІННЯ ЯБЛУК

Сіренко В. Ф., к.т.н.

[snaumen105@ukr.net](mailto:snaumen105@ukr.net)

Савойський О. Ю., к.т.н.

[o.savoiskyi@gmail.com](mailto:o.savoiskyi@gmail.com)

*Сумський національний аграрний університет*

**Актуальність постановки проблеми.** Сушіння – найпростіший, найдешевший та найменш трудомісткий процес консервування овочів та фруктів. Висушені продукти добре зберігаються, не потребують спеціальних приміщень для зберігання та займають небагато місця. Останнім часом при розробці технологій та обладнання для термічного зневоднення харчових продуктів в основному приділяється увага поліпшенню їх споживчих властивостей за рахунок ускладнення виробництва, а високий рівень придатності підтримується маркетинговими ходами.

Устаткування, що застосовується для сушіння, розрізняється між собою способами підведення теплоти до об'єктів зневоднення: конвективним, кондуктивним (або контактним), термовипромінюванням (за допомогою інфрачервоних променів) та струмами високої і надвисокої частоти. Для сушіння плодоовочевої продукції застосовують також сублимаційний метод. Перераховані способи сушіння овочів та плодів базуються на використанні чистого виду енергії - електричної. Але мають великі питомі енергетичні затрати порівняно із кількістю тепла, що потрібні на випаровування одного кілограма вологи і досить тривалий час ведення процесу.

**Основні матеріали досліджень.** Основним способом підвищення коефіцієнту використання високо потенціальної електроенергії та підвищення економічності виробництва є інтенсифікація процесу сушіння. Технічна реалізація прискорення процесу видалення вологи із висушуваних об'єктів полягає у введенні необхідної кількості електричної енергії, для наступного перетворення в теплову, по всьому об'єму вологого зразка із мінімальною кількістю перетворень.

Найбільший ефект досягається при використанні комбінованих способів сушіння [1]. В нашому випадку прямий електричний нагрів доповнюється конвективною складовою, необхідною для видалення випарованої вологи в першому періоді сушіння і для завершення всього процесу в другому періоді, коли вологи недостатньо для електропровідності матеріалу. В практичних розрахунках конвективних сушильних апаратів за основу приймається цикл «теоретичної сушарки» в якій адиабатний процес видалення вологи (тобто без втрат) відбувається при незмінному тепловмістку – ентальпії – сушильного агенту [2]. В реальних умовах відступ від ідеалізованого процесу враховується зміною коефіцієнту відхилення, що залежить від значень питомих тепловтрат та теплонадходжень на один кілограм випарованої вологи. При наявності тільки теплових втрат зменшується кінцевий вологовміст відпрацьованого теплоносія і, відповідно, питома витрата теплової енергії на 1 кг видаленої вологи, до 5000 кДж/кг і більше при питомій величині пароутворення біля 2500 кДж/кг.

Запропоновано ввести ще один ідеалізований ізотермічний режим сушіння, коли під час всього процесу сушіння температура теплоносія залишається незмінною, що на практиці досягається засобами автоматики. Із збільшенням кінцевого вологовмісту (в межах до відносної вологості до  $\varphi=0,9$ ) витрата теплової енергії на одиницю видаленої вологи стає меншою ніж в теоретичній сушарці і наближається до табличної величини пароутворення. Ці відносно великі значення кінцевого вологовмісту можна отримати

при використанні дуже високих значень температури теплоносія 150-200 °С. Такий прийом розподіленого теплонавантаження дає можливість провести висушування без ушкодження термолабільних матеріалів. Взагалі, залежність температури теплоносія від часу може бути будь-якою, це лише може зменшувати потенціал сушіння порівняно із теоретичною сушаркою. Позитивною особливістю нагріву прямим пропусканням електричного струму є незначна незалежність теплової потужності від температури вологого матеріалу і, відповідно, температури теплоносія.

Проведені розрахунковий аналіз і експеримент показали, що для циліндричних тіл із розмірами висушуваних зразків яблук в прийнятних умовах конвективного сушіння теплове навантаження від повітряного теплоносія не може бути більше 0,07 Вт/см<sup>2</sup>. Величина питомого електричного навантаження обмежена значенням 0,2 Вт/см<sup>2</sup>, що визначається термічною стійкістю яблучної сировини при електроплазмовізі.

Виходячи із визначених теплонавантажень, розрахунковий час в першому періоді сушіння за умов комбінованого конвективного та електричного нагріву вчетверо менший ніж при нагріві лише повітрям. Такі ж значення отримані нами і під час експериментального визначення кривих сушіння яблук при градієнтах прикладеної напруги 30-40 В/см [3]. В такій же пропорції в розрахунок теплового балансу вводяться і величини втрат енергії. При визначенні співвідношення підведеного потоку електричної енергії до конвективної складової слід задавати масив кінцевих параметрів відпрацьованого теплоносія: температуру, вологовміст або відносну вологість. Далі визначається коефіцієнт відхилення від теоретичного процесу і з теплового балансу наприкінці підраховується підвід електричної складової для нагріву висушуваного матеріалу. Для заданого масиву кінцевих параметрів визначені найкращі і прийнятні режими роботи із відношеннями 0,73-0,82. Якщо спочатку задавати ступінь використання теплової енергії, то більшість режимів сушіння будуть виходити за межі допустимих температур.

Отримані сумарні значення питомої витрати теплової енергії в залежності від кінцевих значень відносної вологості відпрацьованого сушильного агента в діапазоні  $\phi=0,7-0,9$  мають невелике перевищення над ізотермічним процесом і показують зниження на 30-40 % порівняно із конвективним сушінням.

**Висновок.** Такий результат енергоінтенсифікації процесу сушіння дає прямі значення зниження вартості використаної електричної енергії. Результатом інтенсифікації також є 3-4 кратне підвищення продуктивності сушарок, відповідно, і продуктивності праці, що зменшує питомі витрати на оплату праці і експлуатаційні затрати. В цілому зниження собівартості висушеної продукції складає 30-50% в залежності від вартості і властивостей висушуваних сортів яблук.

#### Список використаних джерел

1. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок: учебник. Москва: Госэнергоиздат, 1962. 320 с.
2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник. 7-е изд. Москва: Госхимиздат, 1961. 831 с.
3. Савойський, О. Ю., Яковлев, В. Ф., Сіренко, В. Ф. Дослідження комбінованого процесу сушіння високовологої яблучної сировини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-33.



УДК 628.16.08

## ОБРОБКА ВОДИ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Сапунов О. А., магістр

[a.sapunov97@gmail.com](mailto:a.sapunov97@gmail.com)

Журавель Д. П., д.т.н.

[dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua](mailto:dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Водопостачання в сільськогосподарському секторі, як правило, здійснюється із джерел підземних вод. В процесі кругообігу вода забруднюється різними домішками – піском, глиною, мулом, солями, газовою фазою. При цьому до води потрапляють патогенні (хвороботворні) мікроби та мікроорганізми, які можуть стати збудниками багатьох захворювань [1].

Популярність застосування ультрафіолетових ламп для очищення води на виробництві пояснюється рядом переваг [2]: при знезараженні зберігається фізико-хімічний склад води; після ультрафіолетових промислових фільтрів для води в очищеному середовищі відсутні вторинні продукти обробки; УФ-випромінювання нейтралізує як спороутворюючі, так і вегетативні бактерії; промислові системи водопідготовки ультрафіолетом - універсальне, ефективне й економічно вигідне рішення; швидкістю процесу очищення і відсутністю обмеження верхньої межі дози опромінення; простотою використання, обслуговування та компактністю - промислові системи очищення води ультрафіолетом і установки зворотного осмосу легко встановлюються в уже існуючі схеми систем водоочистки та водопостачання; відсутністю необхідності створювати систему безпеки і запасатися реагентами; при установці промислових фільтрів для очищення води ультрафіолетом на вже побудованих очисних спорудах не потрібно проводити реконструкцію приміщень або здійснювати масштабні будівельні роботи.

Тому знезараження підземних вод виконується з метою знищення патогенних бактерій, які залишилися в них, і усунення небезпеки зараження води [3-5].

**Основні матеріали дослідження.** Знезараження – заключний етап обробки води в системах господарства. Найбільш розповсюджений спосіб знезаражування в господарстві до сьогоднішнього часу виконувався за допомогою сильних окислювачів – хлору, але є багато інших, наприклад: використання ультрафіолетового (УФ) випромінювання.

Обробка води ультрафіолетовим випромінюванням має деякі переваги в порівнянні з хлоруванням: для знезаражування бактерицидним випромінюванням природні, смакові властивості, хімічні та фізичні якості води не змінюються; дія бактерицидного випромінювання в багато разів швидше, ніж обробка води хлоруванням; ультрафіолетове випромінювання знищує не тільки вегетативні види бактерій, які не утворюють спорів, а й ті бактерії, що утворюють спори; експлуатація технологічного обладнання для знезаражування води з використанням ультрафіолетового випромінювання набагато простіше та надійніше, на відміну від хлорування [2].

Ультрафіолетовий діапазон буває «дальній» 100-200 нм (це «світло» поглинається молекулами кисню і до поверхні землі не потрапляє) і «ближній» 200-380 нм, який умовно ділять на 3 частини (рис. 1).



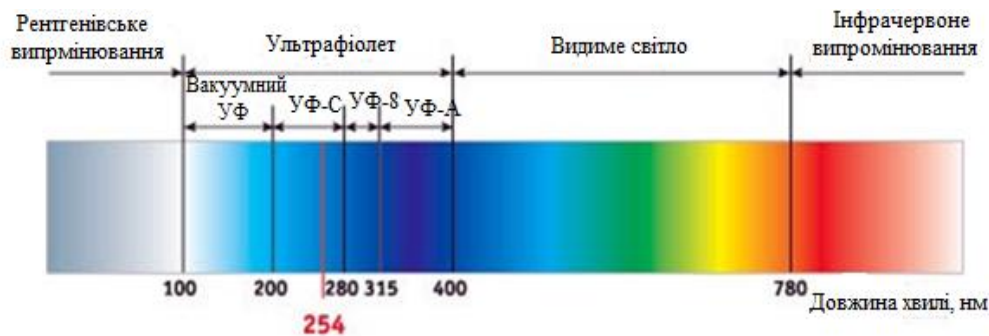


Рис. 1. Спектр лучистого джерела

УФ-А – «корисний», с довжиною хвилі від 320-380 нм. Цей ультрафіолет найменш інтенсивний і, в наслідок великих хвиль, глибше всього потрапляє в тканини тварин і рослин. У людини бере участь в створюванні вітаміну D.

УФ-В – 280-320 нм діапазон середнього ультрафіолету. Він викликає не тільки передчасне старіння шкіри людини і уповільнює вегетативне зростання більшості рослин.

УФ-С - «жорсткий» ультрафіолет з довжиною хвилі від 200 до 280 нм.

УФ вакуумний – 100–200 нм.

Для водообробки застосовується УФ з двома довжинами хвиль – 254 і 185 нм. Світло з довжиною хвилі 254 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10 \text{ \AA}$ ), що називається також бактерицидним світлом із-за його здатності вбивати мікроорганізми. Він проникає через зовнішню стінку клітки мікроорганізму в тіло клітки і змінює генетичний матеріал дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) і на РНК.

Для застосування знезараження води, можуть прийматися джерела бактерицидного опромінення: лампи ртутно-кварцеві високого тиску РЛВД (ПРК-2; ПРК-4; ПРК-5) або бактерицидні аргон-ртутні низького тиску РЛНД (БУВ-15; БУВ-30; БУВ-30-П).

**Висновок.** Таким чином, мікроорганізми знищуються нехімічним способом. УФ може руйнувати залишковий озон, присутній в потоці води. УФ довжиною 185 нм, використовуваний для зменшення ТОС, розкладає органічні молекули. Випромінювання довжиною 185 нм має велику енергію, в порівнянні з випромінюванням довжиною 254 нм, і воно формує з молекул води вільні радикали гідроксила.

#### Список використаних джерел

1. Гідравліка: підручник / В. А. Дідур та ін.; за ред. В. А. Дідура. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.
2. Природоохоронні технології: навчальний посібник. Ч. 2: Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук та ін. Вінниця: ВНТУ, 2014. 254 с.
3. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі: підручник / В. А. Дідур, О. Д. Савченко, Д. П. Журавель, С. І. Мовчан. Київ: Аграрна освіта, 2008. 577 с.
4. Дідур В. А., Журавель Д. П. Технічна механіка рідини і газу: підручник. Мелітополь: Колор Принт, 2019. 468 с.
5. Журавель Д. П., Болтянський Б. В., Дереза С. В. Особливості водопостачання в тваринництві. *Тваринництво сьогодні*. 2018. № 8. С. 66-71.

УДК 697.94

## IMPROVING CLIMATE CONTROL EFFICIENCY BY MEMRISTOR AIR CONDITIONERS

Struchaiev N.

Postol Y.

Kvitka S.

*Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University*

[mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua](mailto:mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua)

[yulia.postol@tsatu.edu.ua](mailto:yulia.postol@tsatu.edu.ua)

[sergii.kvitka@tsatu.edu.ua](mailto:sergii.kvitka@tsatu.edu.ua)

### Relevance and problem statement.

In existing air conditioners there is widespread use of semiconductor devices and electronic devices: rectifier diodes, zener diodes, bipolar and field effect transistors, thyristors, amplifiers of electrical signals, harmonic oscillators and pulse signals, rectifiers, smoothing filters, voltage stabilizers, controlled rectifiers, converters [1]. At the same time, new electronic products appear expanding the possibilities of their application, one of them is a memristor. Memristor (memory resistor) is a new element in microelectronics, capable of changing its resistance depending on the charge flowing through it. It can be described as a two-terminal with a non-linear current-voltage characteristic, with hysteresis.

Air conditioners usually include a compressor, a condenser, a thermostatic valve, an evaporator, an electric motor, a control unit, and a sensor unit [2]. However, well-known air conditioners require periodic shutdown of the compressor, which leads to additional energy consumption, a high controlled amount of cooling support is not provided, and its design is complicated. All this together, leads to additional energy consumption, reducing the efficiency and reliability of the air conditioner.

### The main research materials.

The research were carried out on to improve the air conditioner, in which, by modifying the design, it functions as a memristor air conditioner, which allows to reduce energy consumption, provide a high controlled amount of cooling support, simplify the design, increase the utilization rate, and ensure the reliability of the memristor air conditioner.

In our patented memristor air conditioner [3], which contains an electric motor, a compressor, a condenser, a thermostatic valve, an evaporator, a control unit, a sensor block, in accordance with the proposed utility model, an inverter and a memristor are introduced into the system with the ability to change the compressor flow and switch the four-way valve depending on temperature and season.

The scheme of the proposed memristor air conditioner is shown in Figure 1.

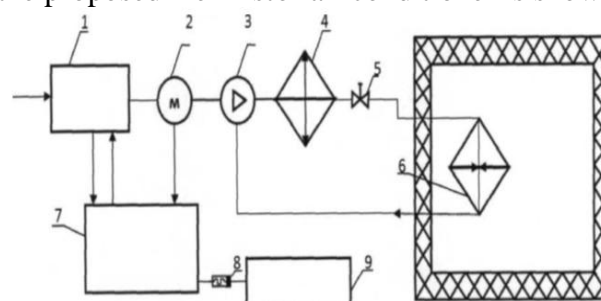


Figure 1. The scheme of the memristor air conditioner: 1 - inverter, 2 - electric motor, 3 - compressor, 4 - condenser, 5 - thermostatic valve, 6 - evaporator, 7 - control unit, 8 - memristor, 9 - sensor block

The principle of operation of the proposed memristor air conditioner is as follows. Electric energy is supplied through the inverter 1 to the electric motor 2, which drives the compressor 3, the compressor 3 compresses the refrigerant vapors and delivers them to the condenser 4, the condensed refrigerant reduces the pressure to the thermostatic valve 5, after which it evaporates in the evaporator 6 and reduces the temperature in a room that is cooled.

When the set temperature in the room is reached, the sensor unit 9, through the control unit 7, gives a signal to the inverter 1, which changes the frequency of the electric current, and thereby the supply of compressor 3. When the temperature rises, thanks to this control chain, the productivity of the compressor 3 increases. When changing the season, memristor 8, due to its properties, gives a signal to switch the four-way valve from cooling to heating. Next, the cycle repeats. The memristor's work takes place in three stages. At the first stage: unconditionally open state, it is set to open state by applying a high impedance to the input — the first memristor and negative voltage to the input of the second memristor. For the full replacement of semiconductor devices with memristor devices, it is necessary to implement the simplest function of storing values in addition to the ability to calculate these values. At low voltage values, memristor switches behave like stable non-linear resistors in both open and closed state. Switching is achieved by applying an offset greater than the positive or negative threshold for opening or closing the switch. In this case, the memristor works as a universal element of an electronic device that allows you to perform logical functions, in this case, switching the air conditioner from cooling to heating mode: winter-summer, and the storage function, forming a closed system for controlling the operation of the air conditioner.

**Conclusions.** The proposed design of a memristor air conditioner, where an inverter is introduced into the system, which allows you to change the compressor flow if necessary and does not need to be interrupted periodically, which significantly reduces energy consumption and provides a high controlled amount of cooling support, and the introduction of a memristor allows you to automatically switch the four-way valve depending on season for cooling or heating, this allows to simplify the design, increase the utilization rate, ensure the reliability of the memristor air conditioner.

### References

1. Kvitka S., Kurashkin S., Solomaha O. *Elektronika ta mikroshemotehnika*. [Electronics and microchemotechnics]. Melitopol, 2018. 184 c.
2. Didur V., Struchaiev N. *Teplotekhnika, teplopostachannya i vykorystannya teploty v sil's'komu hospodarstvi*. [Heat engineering, heat supply and heat utilization in agriculture]. Kiev, 2008. 233 p
3. Memrystornyj konditsioner: pat. 126796, Ukraina [Memristor air conditioner: pat. 126796 Ukraine]. (2018). MPK (2006.01): ): F25B 1/00. # u 2018 00032. Bul. 13
4. Strukov D. B., Snider G. S., Stewart D. R., Williams R. S. The missing memristor found. *Nature*. 2008. Vol. 453. P. 80–83. DOI: 10.1038/nature06932.

УДК 628.16.08

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

Федоренко В. А., магістрант

[virus.joker.13@gmail.com](mailto:virus.joker.13@gmail.com)

Журавель Д. П., д.т.н.

[dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua](mailto:dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Одним з актуальних завдань при опроміненні питної води, після її освітлення (біоочищення) є застосування технології, що не використовує хімічні реагенти, тобто технології, що не приводить до освітлення в процесі знезараження токсичних з'єднань (як у разі застосування з'єднань хлора і озонування) при одночасному повному знищенні патогенної мікрофлори. Найбільш безпечною технологією з безреагентних способів знезараження є обробка води ультрафіолетовим випромінюванням. Традиційно вода, що обробляється потребує використання ультрафіолетових ламп низького тиску, які малоефективні при знищенні споруутворюючих бактерій, вірусів, грибків, водоростей і цвілі [1].

**Основні матеріали дослідження.** Дози опромінювання для ряду спор і грибків складають 100–300 мДж/см<sup>2</sup>, в той час як ультрафіолетові опромінювачі низького тиску з насилу можуть забезпечити потрібні 16 мДж/см<sup>2</sup>. Безумовно, істотне обмеження в застосуванні цього типу знезараження води грає обростання кристалами солі і біообростання захисних кварцевих оболонок ультрафіолетових ламп [2].

Вихід був знайдений при розробці нової технології, що включає безперервну обробку води ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі 253,7 нм і 185 нм з одночасним опромінюванням води ультразвуком з щільністю 2 Вт/см<sup>2</sup>. Технологічна схема установки наведена на рис. 1.

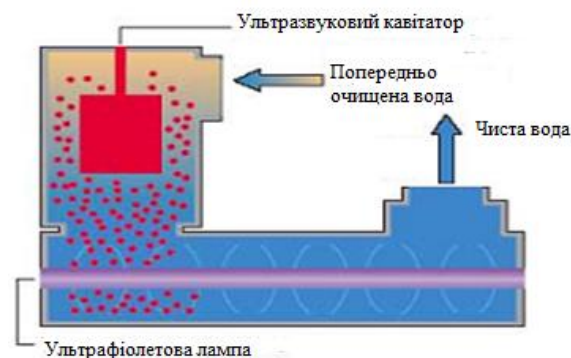


Рис. 1. Технологічна схема установки «Лазурь М-30»

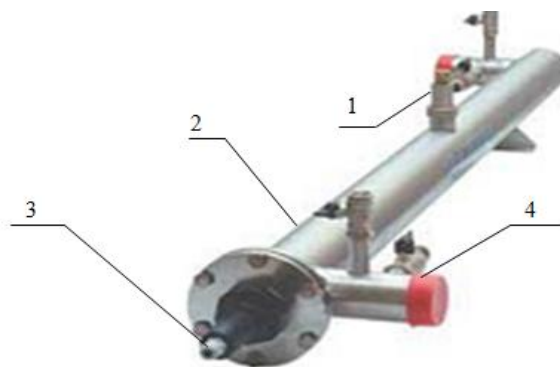
При обробці потоку води ультразвуковим випромінювачем розміщеним безпосередньо в камері ультрафіолетового опромінювача у воді виникають короткоживучі парогазові каверни (бульбашки), які з'являються у момент зниження тиску у воді і схлопуваються при стискуванні води. Швидкість схлопування дуже висока, і в межах точок схлопування виникають екстремальні параметри – величезна температура і тиск. Поблизу краплі схлопування повністю знищується патогенна мікрофлора і утворюються активні радикали. Каверни виникають в об'ємі камери ультрафіолетового випромінювача, причому переважно неоднорідні. У якості неоднорідності можуть служити спори грибків і бактерій, які потім, при схлопуванні бульбашок, виявляються в центрі схлопування, граючи роль своєрідної мішені [3-5].

Одночасно в бульбашках під впливом жорсткого ультрафіолетового випромінювання з довжиною 185 нм, виникають активні радикали, озон, пероксид

водню ( $H_2O_2$ ) та інші. Завдяки чисельності бульбашок при малих їх розмірах і за наявності тенденції до схлопуванні напрацьовані в бульбашках активні радикали ефективно і рівномірно розчиняються у воді, а потім знищують патогенну мікрофлору. При цьому ультрафіолетове випромінювання істотно стимулює дію активних радикалів. Енерговитрати на знезараження води складають 7,0–8,0 Вт на  $1\text{ м}^3/\text{ч}$ , а термін служби установок не менше 10000 годин.

Необхідно також врахувати, що ультразвуковий випромінювач, поміщений усередині камери ультрафіолетової обробки, працює і як пральна машина, ретельно відмиває поверхні корпусу і захисного кварцевого кожуха ультрафіолетового випромінювача і цим запобігає їх біообростанню і соляризації [2].

В комплектацію установки знезараження води ультрафіолетовим опроміненням «Лазурь М-30» (рис. 2) входять наступне: 1 – оглядове вікно; 2 – корпус; 3 – ультрафіолетовий опромінювач; 4 – пристрій звукових коливань.



1 – оглядове вікно; 2 – корпус; 3 – ультрафіолетовий опромінювач;  
4 – пристрій звукових коливань.

Рис. 2. Зальний вигляд установки «Лазурь М-30»

**Висновок.** Таким чином, для знезараження води ультрафіолетовим опроміненням обрана установка «Лазурь М-30» з подачею  $Q = 30\text{ м}^3/\text{год}$ , з лампою ультрафіолетового опромінення ПРК-5 у кількості 1 штуки, з потужністю  $P_{\text{л}} = 400\text{Вт}$  і всього устаткування  $P_{\text{вст}} = 0,6\text{кВт}$ , при цьому питомі витрати електричної енергії, які необхідні для знезараження на  $1\text{ м}^3$  води дорівнюють:  $W = 0,029\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$ .

#### Список використаних джерел

1. Гідравліка: підручник / В. А. Дідур та ін.; за ред. В. А. Дідура. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.
2. Природоохоронні технології: навчальний посібник. Ч. 2: Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук та ін. Вінниця: ВНТУ, 2014. 254 с.
3. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі: підручник / В. А. Дідур, О. Д. Савченко, Д. П. Журавель, С. І. Мовчан. Київ: Аграрна освіта, 2008. 577 с.
4. Дідур В. А., Журавель Д. П. Технічна механіка рідини і газу: підручник. Мелітополь: Колор Принт, 2019. 468 с.
5. Журавель Д. П., Болтянський Б. В., Дереза С. В. Особливості водопостачання в тваринництві. *Тваринництво сьогодні*. 2018. № 8. С. 66-71.



УДК 628.16:537

## ПРОБЛЕМИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Гулевський В. Б., к.т.н

[v\\_gul@meta.ua](mailto:v_gul@meta.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Стічні води утворюються на підприємствах машинобудування, металообробки, металургії, транспорту і навіть сільського господарства. Протягом останнього десятиліття склад стічних вод таких підприємств зазнав значні зміни. Це пов'язано зі зниженням об'єму стічних вод внаслідок застосування виробничих процесів, які зберігають водні ресурси, відмовою від будівництва локальних очисних споруд та ін.

Після використання у виробничих цілях вода забруднюється або нагрівається, змінює свої первинні властивості, що робить її непридатною для подальшого використання, тобто вона перетворюється у виробничі стічні води (промислові стоки).

У складі інженерних комунікацій кожного промислового підприємства є комплекс водовідвідних мереж і споруд, за допомогою яких здійснюється відведення з території підприємства стічних відпрацьованих вод (якщо подальше використання їх неможливо за технічними умовами, або недоцільно за техніко-економічними показниками), а також споруд і устаткування для очищення стічних вод та видалення з них цінних речовин і домішок.

При проектуванні очисних споруд необхідно враховувати склад і властивості виробничих стічних вод, норми водовідведення на одиницю продукції, умови випуску виробничих стоків у міську каналізацію й водойми, а також необхідний ступінь їх очищення.

За останній час було розроблено безліч нових ефективних технологій очищення стічних вод промислових підприємств. Комплексність завдання очищення обумовлюється характером забруднення - зазвичай небажаними компонентами виступає цілий ряд речовин, що вимагають різного підходу [1].

Дослідженнями та спостереженнями встановлено, що 70-95%, а в окремих випадках до 98-100%, механічні домішки у галузях промисловості мають феромагнітні властивості. Причиною наявності домішок є неперервна і прогресуюча в часі корозія, зношення технологічного та комунікаційного обладнання, наявність застарілих технологій виробництва, які обумовлюють появу феромагнітних домішок. В результаті на централізовані очисні споруди поступають різні за характеристиками стічні води, а в приймальних місткостях водоочисних станцій утворюється суміш металовмісних багатокомпонентних домішок[2].

Оскільки більша частина механічних домішок мають магнітні властивості, створюється реальна перспектива застосування методів і пристроїв для магнітного осадження цих часток.

### **Основні матеріали дослідження.**

Відстоювання є найпростішим, найменш енергоємним і дешевим методом очищення. Відстійники призначені для видалення зі стічних вод грубо дисперсних домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дно або спливають на поверхню.

Оскільки проектування магнітних відстійників, пов'язане переважно з вибором такого варіанту конструкції, який забезпечує найбільшу силу вилучення, то в основу



розробки і модернізації магнітних пристроїв для очищення від механічних домішок закладені наступні принципи:

- використання аналогів і прототипів з оптимальними параметрами (простота виготовлення, надійність і висока ефективність при експлуатації);
- вживана енергія магнітного поля в робочих зонах розробника розроблюваних пристроїв використовувалася таким чином, щоб силовий вплив на магнітні частинки максимально сприяло підвищенню ефективності їх вилучення;
- джерела живлення, а також ряд конструктивних елементів компонувалися з випускаючими серійно агрегатів і вузлів магнітних відстійників

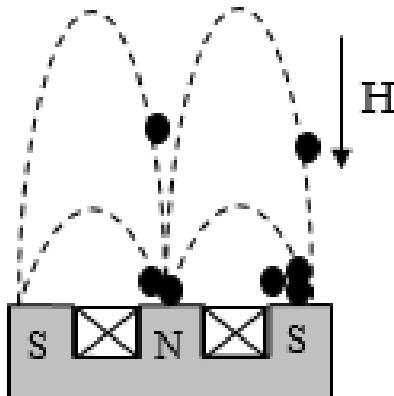


Рис. 1 – Взаємодія рідини з магнітними частинками із зовнішнім магнітним полем

Ефективність осадження домішок залежить від величини поверхні осадження, витрати, в'язкості, шляху переміщення рідини, а також конструктивних особливостей. Як відомо рух для виведення частинок з дисперсного середовища силами магнітного поля включає в себе орієнтацію (розворот) по силових лініях поля (елементи обертового руху); коагуляцію; осадження частинок - рис. 1.

Осадження дрібних частинок (менше 30 мкм) в рідких середовищах пов'язано з деякими особливостями. Частинки мають високу поверхневу енергію, що призводить до адгезійного злипання частинок (коагуляції) [3]. Для сильномагнітних частинок характерно також виникнення магнітної коагуляції. Магнітна коагуляція позитивно позначається на вилученні дрібних магнітних частинок, так як магнітна сприйнятливість флокули вище, ніж у окремої частки. При попаданні частинок в магнітне поле вони укрупнюються, утворюючи флокули голчастою структури, які рухаються в напрямку більшої напруженості поля. Відзначається також, що під флокулами заплутуються немагнітні, особливо тонкі частинки

**Висновок.** Таким чином, підвищення ефективності технології очищення виробничих стічних вод внаслідок удосконалення технологій і технічних засобів очищення від механічних домішок стає дуже актуальним завданням, оскільки є вагомим резервом вдосконалення технологічних процесів очищення стічних вод.

#### Список використаних джерел

1. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2014. Ч.2: Методи очищення стічних вод. 254 с.
2. Гулевский В. Б., Постол Ю. А., Стручаев Н. И., Беспалько В. В. Обоснование эффективности очистки сточных вод от механических примесей под действием магнитного поля. *Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК*: мат. Междунар. науч.-техн. конференции (19-20 декабря 2019 г.) Минск: БГАТУ, 2019. С. 138 – 140.
3. Гулевский В. Б., Назаренко И. П., Просвирин В. И. К вопросу коагуляции частиц в электрическом поле. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2004. Вип. 19. С. 50 –55.

УДК 621.311

## ЕКОНОМІЧНІ МЕТОДИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

Абраменко В. В., магістрант

[vladimirabramenko1998@gmail.com](mailto:vladimirabramenko1998@gmail.com)

Славов В. В., магістрант

[Slavov1997@inbox.ru](mailto:Slavov1997@inbox.ru)

Постол Ю. О., к.т.н.

[yuliapostol111@gmail.com](mailto:yuliapostol111@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Постановка проблеми.** Практична реалізація поставленого перед нашою країною завдання підвищення ефективного використання енергетичних ресурсів і впровадження енергоощадного способу життя дозволить значно поліпшити екологічну обстановку в густонаселених районах, підвищити якість життя населення, підняти рейтинг економічного розвитку.

Відомо, що об'єм і ефективність використання енергії є одними з основних не лише економічних, але і соціальних показників, що багато в чому визначають рівень життя людей. З одного боку, ефективність використання енергії і паливних ресурсів безпосередньо впливає на конкурентоспроможність економіки.

**Основні матеріали дослідження.** Високий показник енергоемності української економіки в поєднанні зі зростаючим негативним впливом паливно-енергетичного комплексу на всі елементи біосфери характеризується як «енергоекологічне неблагоотримання», причини якого полягають не тільки в видимості достатку енергетичних ресурсів і менталітеті народу, що проживає на великій території, а й у сприятливій кон'юктурі світових паливних ринків [1, 2].

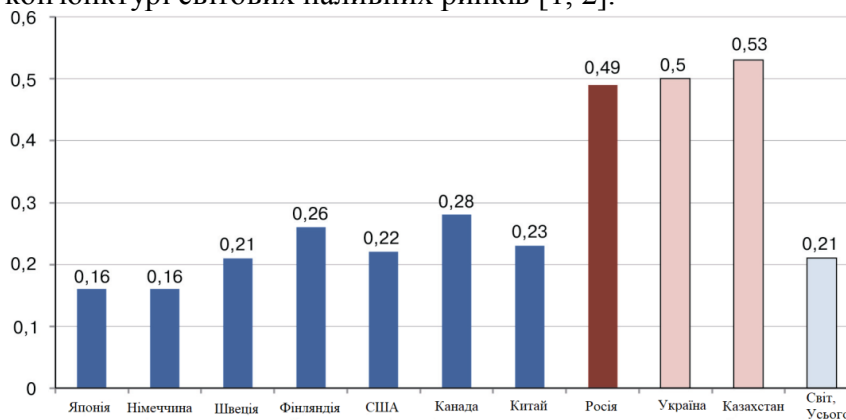


Рис. 1. Енергоемність економіки України

Ситуація, що склалася, дозволяє характеризувати потенціал енергозбереження як перспективний еколого-економічний ресурс, освоєння якого екологічно потрібне і економічно доцільне.

Досягнення цього результату можливо лише у разі здійснення комплексу заходів, що охоплюють усі рівні життєдіяльності країни, оскільки проблема енергозбереження є багатоцільовою і довготривалою. Рівень національної економіки припускає зміну галузевої структури і розвиток низькоенергоємних галузей. На галузевому рівні необхідно провести переорієнтацію виробництва на випуск низькоенергоємних товарів. На рівні підприємств - впровадження енергоекономного устаткування. Населення вносить свій вклад в досягнення цілей енергозбереження, дотримуючись досить

простих правил економії енергії на побутовому рівні. Основними стимулами до проведення заходів по енергозбереженню є:

- поліпшення макроекономічних показників, зростання престижу країни в результаті підвищення енергоефективності (для держави);
- оптимізація ключових результатів господарської діяльності підприємств;
- підвищення якості життя (для населення і суспільства в цілому).

Основні заходи, які дозволять реалізувати вказаний потенціал підвищення енергоефективності в паливно-енергетичному комплексі, є:

- утилізації попутного нафтового газу;
- збільшення коефіцієнта використання нафти і глибини переробки нафти;
- зниження рівня споживання природного газу на власні потреби;
- підвищення ККД генеруючого устаткування (нині не перевищує 33-38%);
- зниження втрат в електричних мережах.

Підвищення ефективності використання енергії має на увазі не лише енергозбереження, але і освоєння ресурсів поновлюваної енергетики. Нині складається сприятлива ситуація для реалізації потенціалу підвищення енергоефективності, зниження викидів парникових газів, впровадження поновлюваних джерел енергії, оскільки:

- сформований державний інтерес до проблеми і є політична воля для її вирішення;
- створені конкретні інституціональні механізми, у тому числі Департамент державної енергетичної політики і енергоефективності Міністерства енергетики;
- розроблена державна програма енергозбереження;
- розробляється система інформаційно-аналітичного забезпечення процесів енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності, що включає аналіз енергоємності економіки і її галузей, а також інформацію про кращі вітчизняні і світові практики, результати моніторингу енергозберігаючих заходів.

**Результати та висновки.** При розробці і здійсненні заходів, стимулюючих впровадження енергозберігаючих технологій, корисно використати досвід розвинених країн, які усвідомили, що економія і раціональне використання палива і енергії є найбільш надійним і економічно сприятливим шляхом підвищення енергетичної незалежності економіки, а також реальним інструментом досягнення екологічної безпеки. Визначальна роль в розробці основних напрямів енергозберігаючої політики, а також фінансово-податкових і законодавчих механізмів, стимулюючих енергозбереження в різних сферах економіки належить державним органам.

Практично в усіх країнах ведеться розробка інформаційних і консультативних програм по енергозбереженню. Таким чином, державні органи в усіх, без виключення, промислово розвинених країнах активно сприяють просуванню ідеї «енергоощадного» стилю життя в усі соціальні верстви суспільства.

#### **Список використаної літератури.**

1. Александровская Н. Д., Арянин А. Н., Кобяков А. Б., Молодцов С. Д. Сравнительный анализ приоритетов энергетической и научно-технической политики США, стран ЕЭС и Японии. Москва, 1994. 70 с.
2. Постол Ю. О., Закревський Д. Д. Реалізація політики з енергозбереження. *Проблеми механізації та електрифікації технологічних процесів*: матеріали VI Всеукр. наук.-техн. Інтернет-конф. молодих учених, магістрантів та студ. за підсумками наукових досліджень 2018 року. Мелітополь. 2019. Вип. VI. С.17-20.

УДК 662.756.3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАГРІВАННЯ БІОПАЛЬНОГО ПРИ ОБРОБЦІ ЙОГО НАДВИСОКОЧАСТОТНИМИ ХВИЛЯМИ

Риженко О. І., студент

Струков В. С., студент

Кушлик Р. В., к.т.н.

[kushlykroman@ukr.net](mailto:kushlykroman@ukr.net)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Постановка проблеми.** В даний час у світі щороку добувається близько 3 млрд. т. нафти. При збереженні такого рівня видобутку нафти її запасів може вистачити на 50 років. Економіка України істотно залежить від імпорту енергоресурсів, тому розробка нових сучасних технологій і обладнання для одержання відновлювальних джерел енергії є дуже актуальним завданням.

**Основні матеріали дослідження.** Характер електромагнітних хвиль надвисокої частоти ярко виражений хвильовий. Для нагрівання тіло опромінують електромагнітною хвилею. Нагрівальними пристроями в даному випадку є не робочі конденсатори, а антени, хвилеводи або об'ємні резонатори. При використанні для нагрівання діелектриків надвисокою НВЧ частотою отримують достатньо високі потужності при знижених напруженнях електричного поля. Це особливо важливо для нагрівання матеріалів високої вологості. Для генерування енергії НВЧ звичайні лампові генератори непридатні із-за механічної інерції електронів, які уже проявляються при частотах більше 100 мГц. Для цієї мети використовують спеціальні прибори магнетрони, в яких коливання НВЧ генеруються модуляцією електронного потоку по швидкості.

НВЧ впливає на молекули, які знаходяться у нафтопродукті. При опроміненні сумішевого пального НВЧ частотою 2,45 ГГц молекули нафтопродукту починають різко коливатися. В результаті цих процесів йде тертя між молекулами і за рахунок тертя утворюється тепло. Воно і розігріває біопальне. На рис. 1 показаний процес зміни температури при обробці біопального.

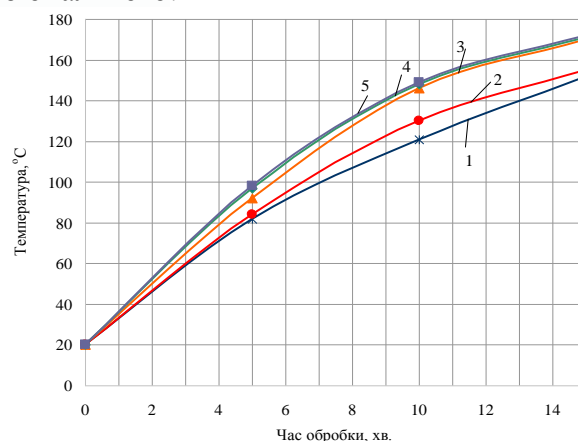


Рис. 1. Процес зміни температури при обробці біопального за 15 хвилин (1- 10%, 2-20%, 3-30%, 4-40% і 5-50 % МЕРО в ДП відповідно)

**Висновок.** Встановлено, що при зростанні часу обробки температура збільшується і, наприклад, при 15 хвиликах обробки температура зразків сягає 172 °С.

УДК 637.146.34

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗЕРВУАРНОГО І ТЕРМОСТАТНОГО ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЙОГУРТУ

Облещенко А. Д., студент

[anastasiyaobl333@gmail.com](mailto:anastasiyaobl333@gmail.com)

Квітка С. О., к.т.н.

[sergei.kvitka1965@gmail.com](mailto:sergei.kvitka1965@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Молочна промисловість – одна з провідних галузей народного господарства, яка забезпечує населення продуктами харчування. В даний час на частку молочної продукції припадає 20 % всіх продажів продуктів харчування в світі. Найбільшим сегментом ринку молочних продуктів є йогурти, що становить 24 % від загального обсягу продажів молочної продукції [1].

В даний час використовуються два способи виробництва йогуртів, такі як термостатний і резервуарний [3]. Тому, є необхідність в порівнянні технологій виробництва, обладнання технологічних ліній та економічні показники виробництва йогуртів, визначити доцільність використання резервуарного і термостатного способів.

**Основні матеріали дослідження.** Зазвичай кисломолочні продукти виробляють за загальною технологічною схемою – сквашуванням пастеризованого або стерилізованого молока. Йогурти за способом виробництва поділяють на термостатні та резервуарні [3], а їх виробництво різними способами відрізняється технологічними процесами, обладнанням технологічної лінії, температурними режимами на деяких технологічних операціях, внесенням наповнювачів та використанням заквасок різного складу.

Головною перевагою термостатного способу виробництва йогурту є отримання продукції традиційної непорушної консистенції.

При термостатному способі виробництва такі процеси, як сквашування, охолодження і дозрівання, здійснюються в тарі в термостатних камерах за певних температурних режимів.

Для приготування йогурту резервуарним способом усі технологічні операції до охолодження підготовленої суміші аналогічні виготовленню йогурту термостатним способом. Але головною відмінністю є те, що ці операції здійснюють у спеціальних резервуарах (танках) [2].

Очевидно, що для виробників термостатний спосіб є більш трудомістким і витратним, а також характеризується меншою продуктивністю праці. При термостатному способі виробництва готовий кисломолочний продукт є більш привабливим за зовнішнім виглядом [2].

Технологія виробництва йогурту термостатним способом: відібране молоко, знаходиться в ємності, з якої насосом подається в резервуар для нормалізації суміші. Після чого надходить в балансувальний бачок для рівномірної подачі молока насосом в пастеризаційно-охолоджувальну установку, у якій проводять пастеризацію з необхідною витримкою та підігрів. Підігріте молоко направляється спочатку в сепаратор, а потім - на гомогенізатор. Очищену і гомогенізовану суміш пастеризують при 92°C з витримкою 8 хв.в ємності для витримування. Потім молоко та закваска надходить в резервуар для молока і далі подається в пластинчастий охолоджувач, де відбувається його охолодження. Заквашену суміш фасують у тару в фасувальному автоматі. Сквашування проводять у термостатній камері при температурі 40-45°C,



тривалість сквашування 3-4 години. Готовий продукт охолоджують до температури 4-6°C в холодильній камері [2].

При резервуарному способі виробництва такі технологічні процеси, як заквашування і сквашування, проходять в окремій ємності – резервуарі. Тобто виробництво кисломолочної продукції в такий спосіб передбачає заквашування, сквашування і перемішування згустку в резервуарі, в тару розливають фактично готовий продукт, який додатково охолоджують. На фасування кисломолочний продукт подається по трубам, що остаточно руйнує згусток і його консистенція виявляється значно порушеною [2].

Резервуарний спосіб виробництва є більш поширеним у зв'язку з тим, що він є менш витратним, крім цього, є можливість повністю механізувати та автоматизувати процес. Значна перевага резервуарного способу перед термостатним проявляється при великих обсягах виробництва, тобто на великих заводах та підприємствах.

Технологія виробництва йогурту резервуарним способом: нормалізоване молоко, охолоджене до 4-6°C, з ємності для молока насосом подається в вирівнювальний бачок, а потім в пастеризаційно-охолоджувальну установку насосом направляється в секцію I регенерації теплообмінника, звідки підігріте до 30°C надходить до сепаратора. Очищене молоко під тиском, надходить в секцію II регенерації теплообмінника, після чого направляється в секцію пастеризації для нагріву до 85°C. Далі направляється в гомогенізатор, де під тиском 20 МПа гомогенізується і надходить в ємність для витримки молока, де витримується 5 хвилин. Молоко, охолоджене до температури заквашування (23°C) насосом надходить в ємність для йогурту, куди попередньо за допомогою насоса потрапляє закваска, яка виробляється в заквасочнику. Заквашування відбувається до кислотності 85-90°Т, потім згусток перемішується змішувачем і тут же охолоджується до 20°C та залишають у спокої для дозрівання на 6-10 годин [2].

**Висновок.** Проведеним аналізом було виявлено, що при термостатному способі продукція має непорушену структуру та насичений смак, що є основною перевагою в порівнянні з резервуарним способом виробництва, але потребує значних капіталовкладень. В свою чергу резервуарний спосіб потребує незначних капіталовкладень та характеризується більшою продуктивністю праці, при цьому приблизно у 1,5 рази збільшується вихід продукції з 1м<sup>3</sup> виробничої площі. Тому визначено, що за економічними показниками більш доцільно використовувати резервуарний спосіб виробництва йогурту.

#### **Список використаних джерел.**

1. Аналіз ринку йогуртів в Україні. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-jogurtov-v-ukraine-2018-god>. (дата звернення: 9.04.2020)
2. Зобкова З. С., Фурсова Т. П. Особенности технологии йогурта. *Молочная промышленность*. 2006. № 11. С. 43-46.
3. Облещенко А. Д., Квітка С. О. Аналіз технологій виробництва йогуртів. *VII Всеукраїнська науково-технічна конференція магістрантів і студентів ТДАТУ. Факультет енергетики і комп'ютерних технологій*: матеріали VII Всеукр. наук.-техн. конф. (м. Мелітополь, 11-22 листопада 2019 р.) Мелітополь. 2019. С. 45.



УДК 662.756.3

## ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОПАЛЬНОГО ОБРОБЛЕНОГО УЛЬТРАЗВУКОМ

Струков В. С., студент

Риженко О. І., студент

Кушлик Р. В., к.т.н.

[kushlykroman@ukr.net](mailto:kushlykroman@ukr.net)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Постановка проблеми.** Практичне використання біопального в Україні офіційно дозволене національними стандартами. Так ДСТУ 7688:2015 «Паливодизельне ЄВРО» передбачає сертифікацію дизельного пального з добавкою об'ємної частки метилових/етилових естерів жирних кислот (МЕЖК): В5 – не більше, ніж 5%; В7 – понад 5% та не більше, ніж 7%.

Як показує практика, при зростанні частки (МЕЖК) у дизельному пальному більше, ніж на 7%, в'язкість біопального підвищується. Унаслідок цього відбувається зростання витрат пального.

**Основні матеріали дослідження.** Метою експериментальних досліджень є виявлення впливу ультразвукової обробки на в'язкість біопального, яке складалось із дизельного пального та МЕРО у процентному відношенні: 90% ДП + 10% МЕРО (суміш 1), 80% ДП + 20% МЕРО (суміш 2), 70% ДП + 30% МЕРО (суміш 3), 60% ДП + 40% МЕРО (суміш 4), 50% ДП + 50% МЕРО (суміш 5).

Методика ультразвукової обробки сумішевого пального полягала в наступному: в емність магнітостриктора заливалась одна із приготовлених проб біопального і почергово проводилась їхня обробка на частоті УЗ 22 кГц на протязі 5, 10, 15 хв. Після чого проводились вимірювання в'язкості і густини біопального за допомогою віскозиметра і ареометра. На рис. 1 представлені залежності кінцевої в'язкості біопального після обробки ультразвуком.

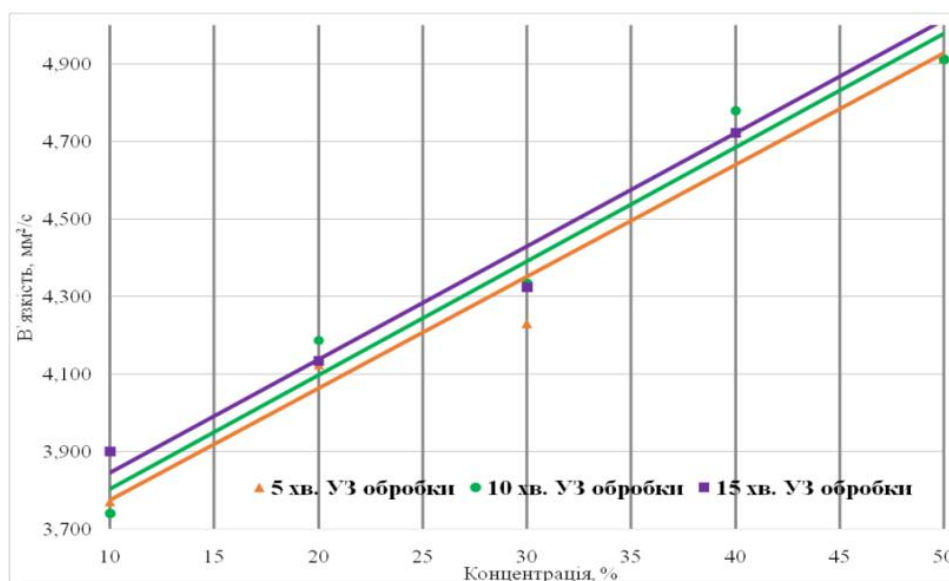


Рис. 1. Залежності кінцевої в'язкості біопального після обробки ультразвуком

Дані залежності мають однаковий характер і знаходяться поряд із чого можна зробити висновок, що для обробки біопального ультразвуком достатньо 5 хвилин.

На наступному етапі перед нами була поставлена нова задача провести обробку біопального 10, 20 і 30% МЕРО в ДП ультразвуком на протязі 20 с., 1хв., 3 хв. і визначити оптимальний час обробки біопального.

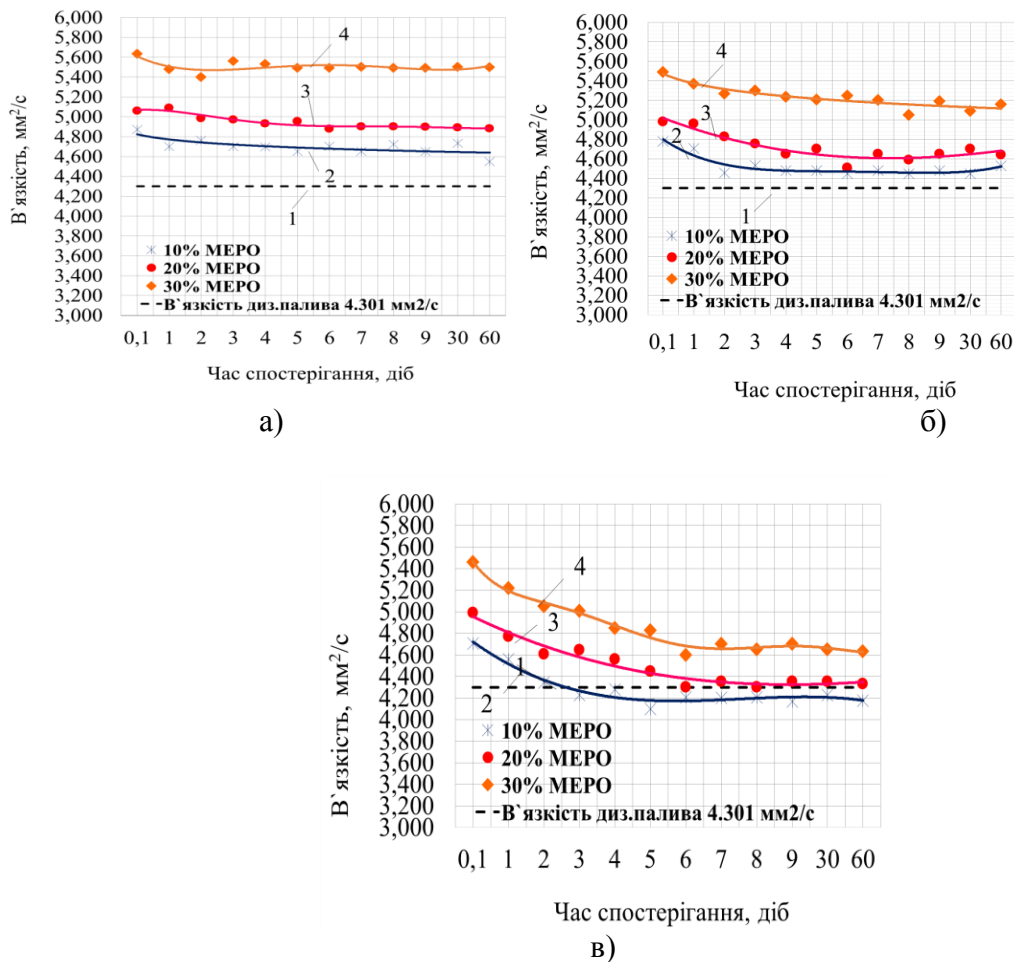


Рис. 2. Динаміка зміни в'язкості біопального після обробки ультразвуком: а– 20 с; б – 60 с; в– 180 с.

Слід звернути увагу на те, що зі збільшенням часу обробки пального з 20 с до 3 хв. кінцеве значення в'язкості покращилось. Проте, при трихвилинній обробці показників в'язкості пального мають гірші значення, ніж при його обробці протягом 5 хв.

**Висновок.** Встановлено, що обробка сумішей біопального ультразвуком на протязі 20 с, 60 с, 180 с, 5 хв., 10 хв., 15 хв. призвела до покращення функціональних властивостей біопального. Експериментальним шляхом визначено, що оптимальний час обробки біопального складає 5 хвилин, при цьому в'язкість біопального зменшилась в середньому на 19,0% по відношенню до необробленого пального. При використанні біопального обробленого ультразвуком можна зменшити коксування паливної апаратури, збільшити потужність дизельного двигуна і зменшити витрати пального.

УДК 631.234:628.9

## ВИКОРИСТАННЯ НАТРІЄВИХ ЛАМП В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

Томілко Ю. С., студент

[yulia007tomilko@gmail.com](mailto:yulia007tomilko@gmail.com)

Квітка С. О., к.т.н.

[sergei.kvitka1965@gmail.com](mailto:sergei.kvitka1965@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Для нормального росту і розвитку рослин необхідне світло визначеного спектрального складу та достатньої інтенсивності [5]. Від цих показників залежить живлення рослин, їх ріст, розвиток та урожайність. Індустрія рослинництва все більше схиляється до використання штучного освітлення, за допомогою якого продовжується сезон вирощування рослин.

Одним із напрямів підвищення врожайності при зниженні енерговитрат в умовах захищеного ґрунту є застосування опромінення рослин штучним світлом з використанням вискоефективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, що сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах [5].

**Основні матеріали дослідження.** Створення сучасних технологій вирощування рослин в спорудах захищеного ґрунту пов'язане з використанням високоінтенсивних розрядних ламп.

У зв'язку з великим значенням для рослинництва якісних характеристик світла останнім часом підвищуються вимоги не тільки до світлової ефективності та довговічності, але й до спектрального складу штучних джерел світла. Спектральний склад випромінювання джерел світла для рослин є одним з головних параметрів, який має бути обґрунтований нарівні з іншими параметрами штучного клімату (дозами опромінювання, температурою і вологістю повітря та ін.). Спектральний склад випромінювання повинен бути сприятливий для вирощування більшості рослин і знаходитись в діапазоні довжин хвиль спектру, що найбільш ефективно поглинається листям ( $\Delta\lambda = 380 \dots 710$  нм або  $400 \dots 700$  нм, область фотосинтетично активної радіації, ФАР) [1].

Інтенсивність випромінювання повинна бути достатньою для створення високих рівнів опроміненості (десятки ВтФАР/м<sup>2</sup>) або освітленості (3000...10000 лк і більше) [2].

Лампи повинні мати високу світлову віддачу при відносно мінімальній вартості, тобто мусять бути економічними [2].

До всіх цих вимог найкраще підходять натрієві лампи, які є одним із найефективніших джерел світла. Вони мають високу світлову віддачу і велику стабільність світлового потоку протягом усього терміну служби. Наукові дослідження і практика рослинництва показали, що довжини хвиль випромінювання натрієвих ламп високого тиску, в яких сконцентрована найбільша частина енергії випромінювання, збігаються з ділянками максимальної чутливості рослин.

Натрієві лампи високого тиску перетворюють електричну енергію в світло з таким спектром випромінювання, до якого рослини найчутливіші. Для основних процесів фотосинтезу рослини використовують увесь видимий діапазон світлового випромінювання, але в синіх областях спектра їх чутливість падає [3].

Натрієві лампи високого тиску «SON-T-Green Power» фірми Philips мають спектр випромінювання (рис. 1), що сприяє процесу фотосинтезу, через наявність у спектрі

збільшеної, в порівнянні з натрієвими лампами інших типів, синьої складової. При цьому орієнтовне співвідношення потоків випромінювання в діапазонах ФАР становить: в області 400...500 нм – 14%, в області 500...600 нм – 52 % і в області 600...700 нм – 34% [4].

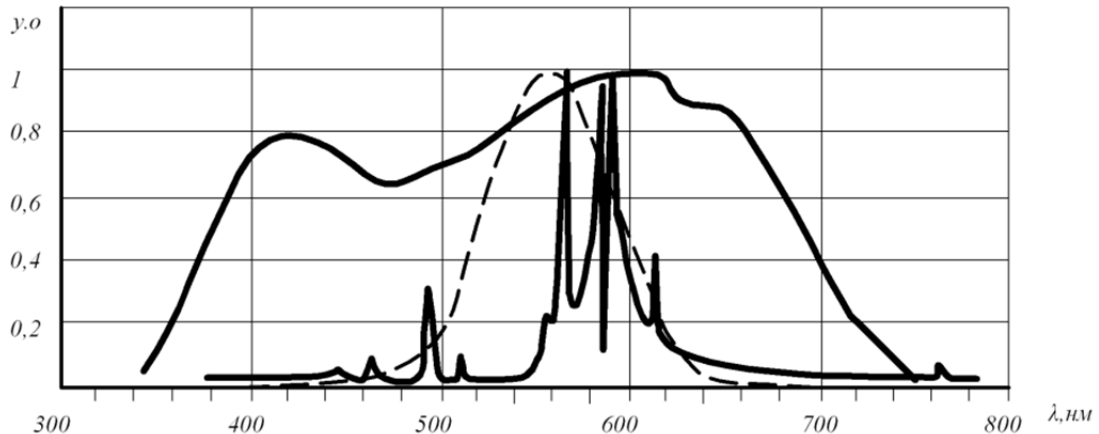


Рисунок 1. Спектральний розподіл випромінювання лампи SON-T-Green Power

Лампи мають дуже високу світлову віддачу (близько 140 Лм/Вт). Надзвичайно великий термін служби (до 16 тис. годин) і майже незмінне в часі значення світлового потоку, роблять «SON-T-GreenPower» найекономічнішими газорозрядними лампами високого тиску для освітлення рослин в теплицях, що сприяють розвитку рослин [4].

**Висновок.** Натрієві лампи високого тиску в спорудах захищеного ґрунту є найбільш доцільним джерелом світла. Вони являють собою відмінну комбінацію джерел світла з повним спектральним діапазоном, високої ефективності, прекрасного світлорозподілу і довгого строку служби.

#### Список використаних джерел.

1. Тихомиров А. А. Спектры действия и спектральная эффективность фотосинтеза растений тестовым (кратковременным) и длительным воздействием света. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1994. Т. 26, №4. С. 352-359.
2. Лычко Г. П., Набатова Т. А. Влияние условий освещенности на урожайность и качество овощево́й продукции в теплицах. Москва, 1994. С. 36-38.
3. Литвинов В. С., Петренко Н. П. Тенденции развития натриевых ламп высокого давления с улучшающими спектральными добавками. Деп. в Информэлектро. 1989. № 229. ЭТ.15.11.89.
4. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. Р. В. Кушлик та ін. Харків. 2016. 332 с.
5. Томілко Ю. С., Квітка С. О. Використання світлодіодного освітлення для споруд захищеного ґрунту. *VII Всеукраїнська науково-технічна конференція магістрантів і студентів ТДАТУ. Факультет енергетики і комп'ютерних технологій: матеріали VII Всеукр. наук.-техн. конф. (м. Мелітополь, 11-22 листопада 2019 р.)*. Мелітополь. 2019. С. 46.

## Секція 4. Електропостачання та електроенергетичні системи

УДК 615.321.1

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА РАХУНОК СТРУКТУРИЗАЦІЇ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Черемісін М.М.<sup>1</sup>, к.т.н.

[cheremisin.energy@ukr.net](mailto:cheremisin.energy@ukr.net)

Черкашина В.В.<sup>2</sup>, д.т.н.

[veronika2473@gmail.com](mailto:veronika2473@gmail.com)

<sup>1</sup>Інститут енергетики та комп'ютерних технологій при ХНТУСГ ім. П. Василенка

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність та постановка проблеми.** Конструкція повітряних ліній електропередачі (ПЛ), яка обґрунтовується під час проектування, не повинна негативно відобразитися як на економічній ефективності електропостачання, так і під час виготовлення елементів ліній.

Тому, в основі одержання економічного ефекту під час виробництва проводів ПЛ, доцільно науково обґрунтувати номенклатуру оптимального параметричного ряду перерізів проводів, що позитивно вплине на:

- зниження трудомісткості і собівартості одиниці продукції;
- зменшення типоряду марок і перерізів проводів, котрі повністю задовольняють технологічні потреби електропостачання.

Перелічені вище переваги дозволять:

- застосовувати менш витратні та високопродуктивні методи виготовлення;
- підвищити завантаження устаткування і коефіцієнт змінності;
- скоротити частку умовно-постійної частини витрат на виробництво одиниці продукції.

**Основні матеріали дослідження.** Під час проведених досліджень за базовий варіант порівняння приймаються ПЛ з існуючим параметричним рядом перерізів проводів (існуючі ПЛ) – варіант 1 і ПЛ з оптимальним параметричним рядом перерізів проводів (вдосконалені ПЛ) – варіант 2.

Використовуючи [1, 2] оптимальний параметричний ряд перерізів проводів ліній відповідно класу напруги становить для:

- ПЛ 750кВ - 330кВ – 400 мм<sup>2</sup> з відповідною кількістю проводів за нормативною документацією України;
- ПЛ 110 кВ - 35 кВ – 240мм<sup>2</sup> і 120 мм<sup>2</sup> з відповідною кількістю проводів за нормативною документацією України.

В порівнюваних варіантах:

- довжина ліній однакова;
- коефіцієнти обліку зростання продуктивності дорівнюють одиниці;
- термін служби ліній та річні експлуатаційні витрати і супутні інвестиції в процесі експлуатації однакові.

Економічний ефект ( $E_{ni}$ ) структуризації ПЛ за рахунок оптимізації перерізів проводів відповідного класу напруги під час виробництва проводів визначається за формулою [3]:

$$E_{ni} = (C_1 - K_x C_1) M_y - C_1 (M_y - M_n) = C_1 (M_n - K_x M_y) \quad (1),$$

де  $C_1$  – собівартість елементів ПЛ;

$K_x$  – коефіцієнт серійності;

$M_n$  – маса алюмінію проводів, необхідного для будівництва існуючих ПЛ;

$M_y$  – маса алюмінію проводів, необхідного для будівництва вдосконалених ПЛ.

Результати розрахунку економічного ефекту (ф. 1) зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Економічний ефект структуризації ПЛ під час виробництва 1 км проводу

Напруга кВ	Маса матеріалу, кг		Економічний ефект 1 км проводу, тис.грн
	Існуючі ПЛ	Вдосконалені ПЛ	
35	435,17	405,76	0,2864
110	412,89	650,28	0,053
330	2344,61	3267	1,1804
750	4475,1	7442,4	1,8817
			$\Sigma = 3,4015$

Отримані результати розрахунків (табл. 1) підтверджують більшу ефективність інвестування в розвиток ПЛ з використанням оптимального параметричного ряду перерізів проводів у порівнянні з існуючим параметричним рядом проводів ПЛ.

**Висновок.** Визначення економічного ефекту структуризації ліній для підвищення ефективності електропостачання під час виробництва проводів підтвердило доцільність інвестування в розвиток ліній з оптимальним параметричним рядом перерізів проводів у порівнянні з існуючим рядом перерізів проводів – сумарний економічний ефект становить 3,4015 тис. грн. в 1 км. Економічна ефективність структуризації ліній під час виробництва проводів також досягається за рахунок економії металу; зменшення трудомісткості; зниження собівартості одиниці продукції; зменшення типоряду перерізів проводів; підвищення завантаження устаткування; скорочення частки умовно-постійної частини витрат на виробництво одиниці продукції.

#### Список використаних джерел.

1. Petro D. Lezhniuk, Mykola M. Cheremisin, Veronika V. Cherkashyna. Substantiation of parametric series of overhead lines wire cross-sections in conditions market and insufficient initial information. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 93. 2017. №3. P.103 – 107.

2. Черемісін М.М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики: підручник. / М.М. Черемісін, О.М. Мороз В.В. Черкашина, О.О. Мірошник. - Харків: ФОП Панов А.М., 2018. - 228 с.

3. Черкашина В.В. Структурування повітряних ліній електропередачі в умовах неповноти інформації: монографія. / В.В. Черкашина. - Харків: Факт, 2017. - 160 с.



УДК 621.316.14

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕРЕЖАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Лисенко О. В., к.т.н.

[helga\\_vl@ukr.net](mailto:helga_vl@ukr.net)

Дубініна С. В., інженер

[dubininasv@i.ua](mailto:dubininasv@i.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

### Актуальність та постановка проблеми.

Необхідність надійного енергозабезпечення споживачів, передачі електроенергії від розосереджених джерел електроенергії, а також підтримання функціонування балансуєчого ринку електроенергії, який характеризується динамічністю та частковою невизначеністю, робить актуальними, разом з модернізацією основного обладнання, дослідження у напрямку вдосконалення структури та способів керування електричними мережами електроенергетичних систем.

**Основні матеріали.** Вирішення зазначеної проблеми можна досягти, впроваджуючи, при побудові сучасних енергетичних систем разом з новими інформаційними технологіями, що відповідають загальному прогресу техніки та технологій, результати системних теоретичних досліджень електричних мереж, які базуються на фундаментальних фізичних принципах у поєднанні з сучасними підходами до математичного моделювання та оптимізації їх станів.

Перш за все це стосується таких мінливих та залежних від погоди джерел, як джерела сонячної та вітрової енергії, що є найбільш застосованими для виробництва електроенергії, як у складі об'єднаної енергосистеми (великі промислові електростанції), так і в локальних системах різного рівня, а також в автономних системах індивідуального користування. В цих джерелах істотними параметрами, що потребують дослідження є, по-перше, поточна потужність, розподіл її ймовірності, в тому числі мінімальне, максимальне та середнє значення, які необхідні для передбачуваності і визначення потреб у резерві; по-друге - темп зміни потужності, що впливає на стійкість енергосистеми і на параметри необхідного резерву [1]. Значне збільшення частки ВЕС в енергосистемі приведе до витіснення традиційних електростанцій, що ускладнить можливість регулювання частоти, зменшується також інерція системи. Загальна методологія визначення такого комплексного впливу має передбачати моделювання за різних умов роботи енергосистеми [2]:

- аналіз параметрів роботи енергосистеми в поточній схемі;
- аналіз цих параметрів у перспективній схемі, що відповідає часу вводу в експлуатацію ВДЕ, але без ВДЕ;
- аналіз режимів роботи в перспективній схемі з урахуванням генерації електроенергії на базі мінливих ВДЕ.

Складність моделювання неконтрольованої складової генерування електроенергії, зокрема вітрової обумовлюється як випадковим характером енергоносія (вітру), так і нелінійним характером перетворення вітрової енергії в електричну, який вносить додаткову невизначеність через особливості роботи вітроелектричних установок у різних кліматичних умовах [3].

Отже, коректний підхід до визначення впливу мінливих ВДЕ передбачає одночасне врахування всіх елементів енергосистеми, включно з традиційними джерелами енергії та особливостями споживання.

**Висновок.** У роботі доведено доцільність проведення теоретичних досліджень комбінованих енергетичних систем, застосовуючи нові підходи до математичного моделювання для розв'язання задач оптимізації процесів.

#### **Список використаних джерел**

1. Лисенко О. В. Розрахунок параметрів математичної моделі споживання електричної енергії. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті* : матер. XIX Міжнар. наук.-практ. конф. (26 – 28 вересня 2018 р., м. Київ). Київ, 2018. С. 103 – 106.
2. Оптимизация соотношения мощностей ветровых и солнечных электростанций / Н. П. Кузнецов и др. *Проблемы региональной энергетики*. 2018. № 3 (38). С. 127-140.
3. Кузнецов М. П., Лисенко О. В. Характер балансування потужності в локальній енергосистемі з відновлюваними джерелами енергії. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1.

УДК 004.77:621.3.05

## SMART GRID – РОЗУМНА ЕЛЕКТРОСИСТЕМА

Чернецький В. А., магістрант

[chernetskiyvladiks@gmail.com](mailto:chernetskiyvladiks@gmail.com)

Курашкін С. Ф., к.т.н.

[stones@ukr.net](mailto:stones@ukr.net)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Електроенергетичний комплекс України було збудовано ще за часів СРСР і з того часу майже не вдосконалювався, є морально застарілим, має менший к.к.д. порівняно з аналогічним в європейських країнах. Вдосконалення електроенергетичного комплексу України є актуальною проблемою [1]. Найбільш перспективним варіантом для модернізації вітчизняного енергетичного комплексу є впровадження «розумних електросистем» – SMART GRID електросистем.

Розумна енергосистема – електрична мережа, яка містить у собі різноманітні оперативні та енергоощадні заходи, включаючи розумні лічильники, розумних споживачів, поновлювані джерела енергії та ресурси забезпечення енергоефективності. Важливим аспектом SMART GRID енергосистеми є застосування електронного керування параметрами електроенергії, керування її виробництвом і розподілом.

Ціллю дослідження є аналіз переваг «розумних енергосистем» у разі модернізації існуючих електричних мереж.

**Основні матеріали дослідження.** Розумні енергосистеми характеризується низкою переваг порівняно з традиційними електромережами і наведені нижче [2].

*Надійність.* У енергосистемі SMART GRID використовується технологія оцінки стану, яка покращує виявлення несправностей і дозволяє самовідновлення мережі без втручання фахівців. Це дозволяє забезпечити більш надійну подачу електроенергії, хоча дублювання маршрутів розподілення електричної енергії також існує в традиційних електромережах. Лінії електропередачі побудовані за радіальною моделлю і в разі відмови ділянки мережі передача електричної енергії гарантована за допомогою декількох маршрутів, відповідно до мережевої структури. Проте, це створює нову проблему: якщо струм мережі перевищує обмеження будь-якого конкретного елемента електромережі, він може відмовити, і струм буде передаватися через інші елементи мережі, які в також можуть відмовити, викликаючи «ефект доміно». Запобігання цьому є скидання навантаження за методом віялових відключень або зниження напруги.

*Гнучкість топології.* Інфраструктура «розумної електросистеми» краще пристосована для двохнаправлених потоків енергії, що дозволяє розподілення генерації від сонячних батарей, паливних елементів, вітрових турбін, гідроакумуючих електростанцій та інших джерел. Класичні електромережі сконструйовані для односпрямованої передачі електроенергії, а коли у місцевій підмережі виробляється енергії більше, ніж споживається, зворотній потік енергії може викликати проблеми з надійністю і безпечністю.

*Ефективність.* Застосування SMART GRID технології у розподіленні електроенергії принесе чисельний внесок в загальне поліпшення ефективності енергетичної інфраструктури, зокрема керування попитом, наприклад, відключення кондиціонерів у короткочасні піки споживання електроенергії, а також зниження напруги, коли це можливо на розподільчих лініях, оптимізацію споживання реактивної потужності, зменшення експлуатаційних витрат під час виїзду для зняття показань

лічильників, зниження кількості виїздів щодо керування відключеннями. Загальним ефектом є зменшення навантажень на розподільчі лінії, більш повне використання генеруючих потужностей, зниження цін на електроенергію.

**Стійкість.** Розумні енергосистеми характеризуються більшою гнучкістю, що сприяє більшому застосуванню поновлюваних джерел енергії, потужність яких залежить від різних факторів і є змінною. Класична енергетична інфраструктура побудована з урахуванням потужностей, що генерують прогнозовану кількість електроенергії та не може підлаштуватися під нетрадиційні джерела енергії. Швидкі коливання енергії у мережі розподіленої генерації, наприклад, в моменти хмарної погоди або поривчастого вітру, представляють значні проблеми для енергетиків, які повинні забезпечити стабільні рівні потужності варіюючи генерацію більш керованих генераторів. Технологія розумної енергосистеми є необхідною умовою для використання великої кількості електроенергії з поновлюваних джерел.

**Ринкові можливості.** SMART GRID технологія дозволяє систематичне спілкування між постачальниками (за рахунок ціни на їх енергію) і споживачами (за рахунок їх готовності платити), і дозволяє і постачальникам і споживачам бути більш гнучкими у своїх стратегіях роботи.

**Платформа для розвинутих сервісів.** Як і у інших галузях, використання стійких двохнаправлених комунікацій, розвинутих датчиків і технології розподілених обчислень покращують ефективність, стійкість та безпеку постачання та споживання енергії. Також відкривається можливість для створення нових або удосконалення дійсних послуг, таких як пожежна сигналізація, яка вимикає електрику, телефонує до екстрених служб тощо.

#### **Висновки.**

Впровадження «розумної електросистеми», дозволить покращити економічні показники енергетичного комплексу України, поліпшати облік електроенергії, збільшити к.к.д. мережі, надійність, стійкість, безвідмовність роботи, ефективність, та створити можливості для діджиталізації [3]. Однак вдосконалення нинішньої існуючої електромережі потребує значних капіталовкладень та наявності відповідних спеціалістів. Але не дивлячись на всі складності, модернізація є необхідною, бо без неї країна не в змозі відповідати сучасним міжнародним стандартам електропостачання.

#### **Список використаних джерел**

1. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Механізм пошкодження елементів конструкції силового трансформатора. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки*. Харків, 2017. Вип. 186 : Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 62-63.

2. Advantages of Smart Grids. URL: <http://circuitur.com/en/documentation/articles/4162-advantages-of-smart-grids> (дата звернення : 23.04.2020).

3. Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей SMART GRID / Д. С. Гришин и др. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2017. № 1 (21). С.109-116.

УДК 620.92:621.315

## ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З КОМБІНОВАНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ З БОКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Лисенко О. В., к.т.н.

[ea@tsatu.edu.ua](mailto:ea@tsatu.edu.ua)

Адамова С. В., інженер

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** На сьогодні очевидно, що енергетичний сектор України має докорінно реформуватися. Енергетика гостро потребує розвитку нових, зокрема, децентралізованих технологій з метою істотного підвищення ефективності виробництва, передачі та розподілу електричної енергії, забезпечення надійності й якості енергозабезпечення споживачів [1].

Незважаючи на незначну частку генерованої об'єктами розосередженої генерації (РГ) електроенергії зазначені об'єкти вже мають суттєвий негативний вплив на якість напруги, стійкість і безпеку систем електропостачання в Україні. З огляду на тенденцію щодо збільшення частки РГ слід очікувати, що в майбутньому така ситуація тільки погіршиться. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення в Україні з урахуванням міжнародного досвіду відповідної національної нормативно-правової бази (НПБ).

**Основні матеріали дослідження.** Оскільки розподільні електричні мережі (РЕМ) відносяться до таких складних систем, для яких, не достатньо характеристики відмови в функціонуванні тільки у формі "все або нічого", то необхідно оцінювати показник якості функціонування, який дозволить дати характеристику здатності РЕМ виконувати функції з надійного та якісного електропостачання. Оскільки в розподільних електричних мережах, особливо за наявності РГ, має місце певна надлишковість, то відмови де-яких елементів призводить лише до часткового обмеження можливостей з надійного і якісного електропостачання, тобто має місце певне зниження ефективності їх функціонування. В залежності від системи допущень та обмежень, а також від використовуваного математичного апарату задача розрахунку надійності умовно може бути розділена на три групи, які характеризують надійність РЕМ: структурна (схемна), режимна (функціональна) і балансова надійності. Під структурною надійністю розуміється надійність об'єкту, коли розрахункова модель визначається схемою електричних з'єднань; під режимною надійністю розуміється надійність об'єкта, коли розрахункова модель враховує режими завантаження (функціонування) елементів об'єкту (режимна надійність може бути статичною, якщо йдеться про усталені або тривалі після аварійні режими, і динамічною, якщо йдеться про перехідні процеси); під балансовою надійністю розуміється надійність об'єкту, коли розрахункова модель визначається балансом виробництва і споживання електроенергії без врахування обмежень з її передачі. Відповідно до визначень режимної та балансової надійності можна однозначно оцінити вплив на них розподіленого генерування і, зокрема, ВДЕ.

Забезпечення якості напруги в електричних мережах України після під'єднання до них ВЕС або СЕС на сьогоднішній день обмежений загальною вимогою дотримання в мережі норм стандарту ГОСТ 13109-97 без достатньої аргументації щодо умов і способів її реалізації. В умовах відсутності в нормативній базі України вимог до характеристик об'єктів РГ, які визначають якість генерованої енергії і могли б бути

одним з критеріїв допустимості їх під'єднання до розподільної мережі, працівники електропостачальних компаній вимушені в кожній конкретній ситуації самостійно визначати критерії допустимості під'єднання. Очевидно, що така практика прийняття рішення щодо під'єднання кожного окремого об'єкта носить суб'єктивний характер і не може бути прийнятною.

За відсутності відповідного Технічного регламенту, в Україні основним документом, який встановлює стандартні показники якості напруги електропостачання є міждержавний (країн СНД) стандарт ГОСТ 13109-97. В стандарті зазначено, що наведені в ньому норми якості електричної енергії є рівнями електромагнітної сумісності для кондуктивних електромагнітних завод, а також вони мають бути застосовані у разі встановлення рівнів заводостійкості приймачів електричної енергії.

У деяких районах електропостачання, де частина обладнання споживачів має одно- чи двофазне з'єднання з мережею, небаланс напруг у трифазних точках підключення користувачів може досягати до 3 % .

Об'єкти РГ можуть спричиняти різні типи кондуктивних збурень в розподільних мережах: флуктуації напруги і флікер внаслідок сплеску струму у разі вмикання-вимикання або розсинхронізації в роботі генератора споживача і основного генератора електричної системи; несиметрію напруг внаслідок несиметричного під'єднання генераторів або навантаження споживачів до трьох фаз розподільної мережі.

Малопотужні однофазні об'єкти РГ, що встановлюються в основному для власних потреб споживача при під'єднанні тільки до однієї з трьох фаз «слабкої» розподільної мережі можуть спричинити суттєву несиметрію напруг.

На відміну від джерел централізованої генерації фотоелектричні та вітроелектричні станції можуть розташовуватися в безпосередній близькості від споживачів і віддавати енергію до існуючих електричних мереж низької або середньої напруги з мінімальними втратами. В Україні такими об'єктами на основі ВДЕ є переважно СЕС потужністю від десятків кіловат до десятків мегават.

У документах нормативної бази Німеччини та Великобританії, визначено, що під'єднання об'єктів РГ різної потужності до мереж різного рівня напруги має відбуватися відповідно до різних за складністю процедур [2].

**Висновок.** Таким чином, Україні необхідно в першу чергу встановити відповідні основоположні принципи і правила, які будуть конкретно втілені при розробленні конкретних нормативних документів. У зазначених документах має бути чітко і однозначно прописано критерії, якими користуватимуться оператори розподільних і магістральних мереж у разі оцінки можливості під'єднання конкретних об'єктів РГ до конкретної точки мережі.

#### **Список використаних джерел.**

1. Лисенко О. В. Аналіз можливості використання відновлюваних джерел енергії для підвищення якості електропостачання в сільськогосподарському виробництві. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. С. 1-9.

2. Лисенко О.В., Адамова С. В. Аналіз світового досвіду використання відновлюваних джерел енергії. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 326-333.



УДК 621.315.175

## СПОСОБИ ВИДАЛЕННЯ ЛЬОДУ З ПРОВОДІВ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Абраменко В. В., магістрант

[vladimirabramenko1998@gmail.com](mailto:vladimirabramenko1998@gmail.com)

Курашкін С. Ф., к.т.н.

[stones@ukr.net](mailto:stones@ukr.net)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Для передачі електричної енергії на великі відстані широко застосовують повітряні лінії електропередачі (ЛЕП). Одним з основних елементів ЛЕП є дроти. Під час експлуатації повітряних ліній в регіонах, що характеризуються високою вологістю і низькими температурами в осінньо-зимовий та зимово-весняний період року існує проблема з налипання мокрого снігу, утворенням крижаного покриву та обмерзання проводів ліній електропередачі. Це обумовлено тим, що висока вологість і різкі перепади температури повітря сприяють інтенсивному льодоутворенню на проводах повітряних ліній. Товщина ожеледі на них може досягати 60-70 мм. Так, наприклад, загальна питома маса ЛЕП, яка виконана проводом марки АС-185/43 зростає з 7 т/км до 25 т/км при товщині ожеледі 20 мм, 60 т/км при товщині ожеледі 40 мм і 115 т/км при товщині ожеледі 60 мм. Наявність ожеледиці обумовлює додаткові механічні навантаження на всі елементи повітряних ліній.

В результаті значного збільшення маси проводів і впливу на них динамічних і статичних навантажень відбуваються небезпечні і небажані явища, особливо при значних вітрах [1]. До їх числа відносяться обрив струмопровідних проводів і грозозахисних тросів під вагою снігу і льоду, неприпустимо близьке зближення проводів і їх сильне розгойдування, погіршення захисних властивостей ізоляторів, руйнування опор. Це призводить до значних економічних збитків.

Поряд з традиційними постійно ведеться пошук нових більш ефективних способів проти льодоутворення, проводяться дослідження і розробка засобів для боротьби з вказаною проблемою [2, 3].

**Основні матеріали дослідження.** Для боротьби з льодоутворенням найчастіше використовується механічний спосіб [4], який полягає в застосуванні спеціальних пристосувань, що забезпечують збивання льоду з проводів. Видалення ожеледі здійснюється за допомогою довгих жердин з землі або з автовішки, що призводить до тимчасового виводу ЛЕП з експлуатації. До того ж механічний вплив не перешкоджає обмерзання, а лише усуває його. Цей метод вимагає багато часу і застосовується тільки на коротких ділянках ліній. Недоліком застосування такого способу є низька продуктивність, можливість пошкодження і деформації проводів в процесі видалення льоду, що призводить до обривів ліній, супроводжується прискореним зносом проводів.

Більш ефективним є електротермічний спосіб видалення льоду, який забезпечує запобігання утворення льоду і полягає в нагріванні проводів електричним струмом. За допомогою профілактичного підігріву штучно підвищується струм в ЛЕП до такої величини, при якій дроти нагріваються до температури вище 0°C і ожеледь на проводах не утворюється. Профілактичний підігрів починають до утворення ожеледі на проводах при кліматичних умовах, коли стає можливе її утворення. За допомогою такого способу відключення споживачів не є обов'язковим. Ожеледь, яка утворюється на проводах високовольтних ЛЕП ліквідують, нагріваючи дроти постійним або змінним струмом до температури 100-130°C, штучно утворюючи коротке замикання (при цьому споживачів

від мережі відключають). Це потребує застосування нерегульованих потужних випрямних блоків.

Для боротьби з льодоутворенням також застосовуються фізико-хімічні методи, які полягають в нанесенні на дроти розчинів спеціальних речовин або композитів, які замерзають при температурах значно нижчих, ніж вода. Ефективність цього методу істотно перевищує можливості традиційних методів, однак застосовується поки ще вкрай рідко.

Електромеханічний спосіб боротьби з ожеледицею в ЛЕП є відносно новим і передбачає боротьбу з крижаним покривом за допомогою подачі в лінію імпульсів струму певної частоти і форми. Внаслідок явища електромеханічної сили (сили Ампера) під час протікання електричного струму відбуваються механічні коливання, які запобігають утворенню обмерзання і руйнують кірку льоду. Істотно знижується час і енергія, необхідні на очистку проводів.

**Висновки.** Боротьба з льодоутворенням на проводах ЛЕП залишається однією з головних для багатьох регіонів. Кожен із застосовуваних у даний час способів боротьби з ожеледицею має певні переваги і недоліки. Вибір способу видалення льоду з проводів ЛЕП залежить від багатьох факторів і вирішується виходячи з можливостей експлуатаційних організацій, а також конкретних конструктивних і кліматичних умов.

На погляд авторів, розробку ефективних механізмів і методів вирішення позначень проблеми слід вести в напрямку електромеханічного способу. Розробка ефективних, економічних, безпечних пристроїв і методів боротьби з обмерзанням залишається актуальним завданням.

#### Список використаних джерел

1. Будзко И. А., Лещинская Т. Б., Сукманов В. И. Электроснабжение сельского хозяйства. Москва: Колос, 2000. 536 с.
2. Курашкин С. Ф., Овчаров В. В. Пути повышения надежности электроснабжения и качества электрической энергии в АПК. *Праці Таврійського державного агротехнічного університету*: наук. фах. видання. Мелітополь, 2013. Вип. 13, Т.5. С.182-186.
3. Левченко И. И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. 494 с.
4. Методи боротьби з обмерзанням проводів ЛЕП. URL: <https://ow5.ru/uk/ofisnye/obledenenie-provodov-lep-metody-borby-s-obledeneniem.html> (дата звернення: 09.04.2020).

УДК 621.311.243

## ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ В СВІТІ

Чернецький В.А., магістрант

[chernetskiyvladiks@gmail.com](mailto:chernetskiyvladiks@gmail.com)

Постнікова М.В., к.т.н.

[marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Консервативні методи виробництва електроенергії (спалювання вуглеводнів), мають пагубний вплив на навколишнє середовище. Близько 70% електроенергії в світі виробляється консервативним методом. Безумовно, всі країни світу ставлять собі за мету відійти від консервативних методів виробництва електроенергії, та перейти до поновлювальних джерел енергії.

**Основні матеріали дослідження.** В сучасних умовах, у всіх без виключення країнах світу розвивається використання відновлювальних джерел енергії. Однак, в кожній країні цей процес протікає зі своєю швидкістю. В розвинутих країнах відновлювальні джерела енергії розвиваються жвавіше ніж у відсталих.

Останнім часом багато країн розширюють використання вітроенергетичних установок (ВЕУ). Найбільше їх використовують в країнах Західної Європи (Данія, ФРН, Великобританія, Нідерланди), в США, в Індії, Китаї. Данія отримує 25% енергії з вітру. Широкого поширення також отримала галузь геліоенергетики (використання сонячної енергії). Сонячні електростанції (СЕС) працюють більш ніж в 80 країнах. В 2016 році згідно з даними British Petroleum, частка генерації електроенергії в світі за допомогою сонячних електроустановок склала 1,3% від загальної генерації. В 2004 році цей показник складав лише 0,01%. Данна статистика є наглядною демонстрацією активного розвитку сонячної енергетики [3].

Вітроенергетика та геліоенергетика, є основними нетрадиційними джерелами енергії, однак, є й інші, доля яких менша. До таких галузей можна віднести: біоенергетику, геотермальну енергетику, грозоенергетику. У 2010 році альтернативна енергія (не рахуючи гідроенергії) становила 4,9% всієї споживаної людством енергії. У тому числі для опалення та нагріву води (біомаса, сонячний і геотермальний нагрів води і опалення) 3,3%; біопальне 0,7%; виробництво електроенергії (вітрові, сонячні, геотермальні електростанції і біомаса в ТЕС) 0,9%.

У 2018 році, згідно з даними British Petroleum, частка альтернативних поновлюваних джерел енергії (без великих ГЕС) склала 8,4% у світовій генерації електрики. Це в 2 рази більше ніж в 2010 році [3].

Деякі країни за останні роки, вже досягли високих показників у використанні відновлювальних джерел енергії. В Австралії в 2015 році 9,1% електроенергії вироблялася з нетрадиційних відновлюваних джерел (ВДЕ без великої гідроенергетики). Станом на 2017 рік альтернативні джерела енергії виробили 9,6% електроенергії в США, включаючи 6,3% з вітрових і 1,3% з сонячних електростанцій. З урахуванням великих ГЕС, внесок відновлюваних джерел енергії склав 17,1% від виробленої в США електрики. Найбільших успіхів досягла Німеччина. За першу половину 2019 року в Німеччині поновлювані джерела (ВДЕ) вперше, в деякі періоди, виробляли більше енергії, ніж вугільні та атомні електростанції: частка електроенергії, виробленої з енергії сонця, вітру, біомаси та води, склала 47,3%. Успіхи України у порівнянні з вище вказаними країнами значно скромніші. У першому кварталі 2019 року

частка відновлюваних джерел енергії в загальному виробленні електроенергії склала 2,24% [1].

Відновлювальні джерела енергії є перспективними, про це свідчать великі фінансові інвестиції в цю галузь. У 2018 році інвестиції в сектор відновлюваної енергетики досягли показника \$ 288,9 млрд. На глобальному рівні сонячна енергетика як і раніше залишилася основним напрямком інвестицій з показником \$ 139,7 млрд в 2018 році (скорочення на 22%). Інвестиції в сферу вітроенергетики в 2018 році збільшилися на 2% і досягли показника в \$ 134,1 млрд. На інші сектори припав значно менший обсяг інвестицій, хоча інвестиції в біоенергетику і виробництво енергії шляхом спалювання відходів збільшилися на 54% і склали \$ 8,7 млрд [1].

Популярною концепцією розвитку енергетики, особливо в західних країнах є створення децентралізованої системи генерації. Данна система генерації передбачає окрім великих джерел генерації (електростанції), багато малих джерел генерації. В якості малих джерел генерації, мають виступати домашні вітро- або сонячні енергогенеруючі установки споживачів. Така система дає можливість споживачам підтримувати автономію від основної мережі енергозабезпечення, та зменшувати навантаження на неї. Якщо кожен житловий будинок буде генерувати енергію з вітру та сонця, це дозволить створити велику долю генерації електроенергії, що дасть можливість зменшити долю ТЕС. В свою чергу це зменшить викиди парникових газів [2].

Основна складність у широкому впровадженні сонячних та вітрових енергогенеруючих установок є їхня вартість та довгий термін окупності. Однак, з кожним роком «зелена енергія» стає все доступнішою, завдяки зменшенню вартості та створенню більш простих та надійних установок. Також важливо пам'ятати що нетрадиційні джерела енергії є безпечними для навколишнього середовища. Розвиток даної галузі піде на користь не лише людству а і природі.

**Висновок.** На найближчі десятиріччя відновлювальна енергетика буде найбільш актуальною та перспективною, вона буде розглядатись як заміна консервативної енергетики. Частка електроенергії, отримана від спалювання вуглеводнів, має бути зменшена. Долю генерації електроенергії від ТЕС потрібно зменшувати, збільшуючи долю генерації від чистих джерел енергії. Для цього необхідні субсидії та фінансові вкладення. Найкращий варіант – це державне субсидювання впровадженню відновлювальній енергетиці. Окрім розвитку великих проектів, необхідно також надавати звичайним споживачам на місцях більше можливостей для встановлення власних ВЕУ та СЕС. Майбутні десятиліття за відновлювальними джерелами енергії.

#### Список використаних джерел.

1. Потребление электроэнергии в регионах и странах мира [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.eeseaec.org/contact-us/obsie-obemnye-tehniko-ekonomiceskie-pokazateli/potreblenie-elektroenergii-v-regionah-i-stranah-mira>. – Назва з екрана.
2. Зеленая энергетика 2019 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://tech.liga.net/technology/article/zelenaya-energetika-2019-pochemu-v-ukraine-nachnetsya-ajiotaj>. – Назва з екрану.
3. Альтернативная энергетика [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org>. – Назва з екрану.

УДК 620.91:620.92

## РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Тимофєєв С. О., магістрант

[sergejtimofeev82@gmail.com](mailto:sergejtimofeev82@gmail.com)

Курашкін С.Ф., к.т.н.

[stones@ukr.net](mailto:stones@ukr.net)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Під час живлення споживачів електричною енергією існує народногосподарча проблема підвищення надійності та якості електропостачання [1]. Поряд з традиційними джерелами електроенергії – атомними, гідро- і теплоелектростанціями в останній час будуються і вже експлуатуються електростанції, в яких застосовуються відновлювані джерела енергії – енергія сонця, вітру тощо. І якщо раніше існувала проблема виробництва недостатньої кількості енергії, то зараз може статися ситуація з надлишковим виробництвом. Таким чином, питання кількості необхідної електроенергії є одним з перших. Так, за даними [2] за останні 10 років кількість виробленої електроенергії зросла з 20 до 26 тис. ТВт, в той час як споживання зросло с 16,6 до 22,5 тис. ТВт.

Нажаль, велика частка електроенергії видобута за рахунок не поновлюваних джерел енергії – вугілля, газу, нафти, а після низки аварій та катастроф на різних атомних електростанціях інвестиції в атомну енергетику знизились. Навпаки, значно зростають інвестиції в виробництво електроенергії за рахунок нетрадиційних джерел. Сонце є єдиним значним невичерпним джерелом енергії в майбутньому.

В даний час використання тільки однієї сонячної енергії може повністю задовольнити потреби людства в необхідній кількості електроенергії. Однак, незважаючи на стрімкі темпи зростання встановленої потужності альтернативних джерел енергії, спостерігається тенденція і до певного спаду в подальшому їх нарощенні. Серед основних невирішених проблем сонячної енергетики можна віднести наступні:

- порівняно низький ККД (в межах 10-20%);
- неможливість акумулювання сонячної енергії у великих об'ємах;
- залежність генерації електроенергії від періоду доби та погодних умов.

Ціллю дослідження є аналіз сучасного стану сонячної енергетики у світі, переваг та недоліків сонячних електростанцій різних типів, розвитку перспективних технологій з покращення роботи сонячних елементів.

**Основні матеріали дослідження.** Основною проблемою застосування сонячної енергетики є її генерація тільки у певний проміжок часу на протязі світової частки доби. Таким чином стає питання в акумуляції сонячної енергії на протязі цього періоду і віддачі під час хмарної погоди або темної фази доби. Одним з варіантів акумулювання є перетворення сонячної енергії в теплову.

Існують чотири основних типи сонячних теплових електростанцій (СТЕ): системи з лінійним концентратором на основі параболічних жолобів, концентратори Фрінеля, станції баштового типу і параболоїдні концентратори [3].

Найбільш розповсюдженими є СТЕ з лінійними концентраторами, які мають спеціальні довгі дзеркала параболічної форми, що концентрують промені сонця в одну лінію-фокус. Механізм повороту дзеркал спостерігає за добовим ходом Сонця, що дає змогу постійно підтримувати лінію-фокус з ранку і до вечора. Оптична потужність



таких дзеркал перевищує потужність сонця в 70-90 разів. У фокусі кожного дзеркала знаходиться труба з проточним синтетичним маслом, яке нагрівається сонячною енергією до 370-400 °С і надходить в радіатор-теплообмінник, де перетворює воду в гарячий пар. За рахунок парової турбіни виробляється електроенергія. Ряд таких СТЕ вже працюють в світі.

СТЕ мають наступні переваги:

- собівартість обладнання нижче за сонячні панелі та має світову динаміку зниження цін;
- простота и швидкість інсталяції;
- більш висока надійність обладнання.

**Висновки.** На основі аналізу розвитку сонячної енергетики в світі, можна зробити висновки: а) технології «нових» відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, досягли такого рівня, за якого вони успішно конкурують з традиційними способами виробництва енергії; б) зростання цін на енергоносії та залежність від країн-експортерів енергії змушують країни-імпортери шукати альтернативні способи отримання енергії; в) вичерпність традиційних енергетичних ресурсів (нафти, газу, вугілля, уранових руд) та погіршення екологічної ситуації в світі вимагає нових підходів до енергозабезпечення та енергозбереження.

#### **Список використаних джерел:**

1. Курашкин С. Ф., Овчаров В. В. Пути повышения надежности электроснабжения и качества электрической энергии в АПК. *Праці Таврійського державного агротехнічного університету*: наук. фак. видання. Мелітополь, 2013. Вип. 13, Т.5. С.182-186.
2. Статистический ежегодник мировой энергетики 2019. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/world-electricity-production-statistics.html> (дата звернення 16.04.2020)
3. Солнечные тепловые электростанции. URL: <https://renewable.com.ua/solar-energy/22-solnechnye-teplovie-elektrostancii.html> (дата звернення 16.04.2020).



## Секція 5. Комп'ютерно-інтегровані технології та технічні інформаційні системи

УДК [631.171:681.3]:631.67

### ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОЛИВУ ГРУНТУ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ARDUINO

Лубко Д. В., к.т.н.

[di75ma@gmail.com](mailto:di75ma@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність та постановка проблеми.** Питання поливу в сучасних метеорологічних умовах стає все актуальнішим, як і питання правильної організації процесу зрошення. Але як зазначають фахівці, надмірне зрошення може спричинити такі проблеми, як: ерозія, розмивання ґрунту, порушення його гранулометричного складу, структури, а також насичення мінеральними речовинами та солями, які пригнічують розвиток рослини. Тому все більшу популярність набувають системи автоматизованого поливу, які працюють навіть за відсутності людини на ділянці. У сільському господарстві існує два основних типи поливу за кількістю використаної води: низької та високої витрати води і обидва можна ефективно застосовувати у садівництві на основі різних автоматизованих систем.

Основні цілі створення системи автоматизованого поливу ґрунту наступні: забезпечення зручності та комфорту при поливі території (городу, дільниці, поля, тощо); мінімізування часу, що витрачається на полив території в порівнянні з ручним способом поливу; виконання поливу потрібною кількістю води, в заданий (визначений) час для ефективного росту рослин (часто це практично неможливо зробити за допомогою шлангу); уникнення будь-яких незручностей при виконанні поливу ручним способом (перетягування шлангів з місця на місце, включення / виключення насоса, відкриття / закриття кранів, постійна зміна тиску води, тощо); виконання поливу навіть під час відсутності господарів на території поливу; поливання рослин строго за необхідністю, тобто в той момент, коли дані датчику вологості ґрунту будуть видавати високий показник опору (тобто коли ґрунт вже потребує насичення водою); оптимізування витрат води (що на сьогодні дуже актуально, так як вартість води недешева), забезпечуючи рослинам рівно ту кількість води, яка їм необхідна.

Недоліком використання вже існуючих систем автоматизованого поливу є їх фінансова вартість, а також неможливість моніторингу та аналізу якості росту рослин. Тому гостро постає необхідність у розробці системи автоматизованого поливу ґрунту та постійному моніторингу показників якості росту рослин. Саме це і визначає актуальність даної теми, а особливо у контексті її використання у домашніх та фермерських господарствах які займаються вирощуванням рослин різного сільськогосподарського призначення.

**Основні матеріали дослідження.** Arduino (Ардуіно) – це апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною мови C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних пристроїв, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері. Сама

електрична плата Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, а також елементів об'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. На багатьох платах наявний лінійний стабілізатор напруги +5В або +3,3В. Тактування здійснюється на частоті 16 або 8 МГц кварцовим резонатором. У мікроконтролер записаний завантажувач (bootloader), тому зовнішній програматор не потрібен. Плати Arduino дозволяють використовувати значну кількість виводів мікроконтролера як вхідні/вихідні контакти у зовнішніх схемах.

Arduino може відчувати навколишнє середовище отримуючи вхідні дані від різних датчиків і може вплинути на своє оточення, контролюючи лампи, двигуни та інші приводи. Мікроконтролер на платі програмується з використанням мов програмування Arduino (на підключення) і розвитку навколишнього середовища Arduino (на основі обробки). Arduino-проекти можуть бути автономними або спілкуватися з програмним забезпеченням, яке працює на комп'ютері. Плати можуть бути побудовані самостійно або куплені попередньо зібраними; програмне забезпечення можна завантажити безкоштовно.

Само інтегроване середовище розробки Arduino - це багатоплатформовий додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату. Середовище розробки засноване на мові програмування Processing. Програми Arduino пишуться на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм «Wiring».

У сучасному сільському господарстві при вирощуванні рослин, з використанням автоматизованих систем поливу, кількість поливу рослин дуже важлива і впливає на врожайність. Тому в таких випадках завжди використовують датчики вологості ґрунту. Ці датчики дають найбільш точну інформацію про кількість вологи у кореневої системи рослин. Існуючі методології вимірювання вологості також залежать від оптичних, гравіметричних, ємнісних, резистивних, п'єзорезистентних та магнітоупругих властивостей вибраних матеріалів.

Один із способів визначення вологості середовища - це вимір її питомого електричного опору. Тобто, в найпростішому варіанті для визначення вологості ґрунту нам досить увіткнути в ґрунт два електроди і заміряти опір між ними. Однак, проблема в тому, що отримані дані будуть сильно відрізнятися в залежності від наявності солей і мінералів в ґрунті. Тому для вирішення даної проблеми в якості найпростішого рішення нами було вирішено використати двосторонній текстоліт та мікросхему серії 555.

Для реалізації нашого проекту нами була спроектована експериментальна установка та виконана схема підключення датчиків до мікроконтролеру плати Arduino. Для поливу ґрунту ми додали водяну помпу та реле, яке було перемикачем насосу. Тобто, коли датчик вологості буде показувати високий показник опору (для ємнісного датчику мінімальне значення – 9000, а максимальне – 1200, а для резистивного мінімальне становить 700, а максимальне 200), то до реле буде подаватися сигнал на включення водяної помпи у результаті чого відбувається постачання води в ґрунт.

**Висновок.** Було виконано проектування системи автоматизованого поливу ґрунту на базі мікроконтролера Arduino, що дозволяє виконувати автоматизований полив ґрунту на обраних територіях без участі людини. Також у результаті виконаної роботи розроблено програмний код на базі мікроконтролеру Arduino для зчитування показників вологості ґрунту. Створену автоматизовану систему поливу можна розширювати як системно (для будь-яких аграрних підприємств), так і функціонально (збільшувати кількість датчиків).

### Алфавітний покажчик авторів

Chumack Vadim	22	Облещенко А. Д.	87
Kvitka S.	78	Олейніков М. О.	15
Monakhov Yevhen	22	Олійник В. Ю.	53
Ostroverkhov Mykola	22	Паталах Д. Г.	13
Postol Y.	78	Попова І. О.	18, 41, 55, 59
Struchaiev N.	78	Постнікова М. В.	35, 45, 62, 66, 103
Абраменко В. В.	84, 101	Постол Ю. О.	84
Адамова С. В.	99	Ревін О. М.	57
Вовк О. Ю.	20, 37, 43, 49, 57	Риженко О. І.	86, 89
Герасименко В. П.	24, 26	Рясна О. В.	68
Гулевський В. Б.	82	Сабо А. Г.	29, 31
Діордієв В. Т.	29	Савойський О. Ю.	70, 74
Драпак К. М.	9	Сапунов О. А.	76
Дубініна С. В.	95	Сідельников Б. Ю.	55, 62
Дьяченко Б. А.	64	Сіренко В. Ф.	70, 74
Дяденчук А. Ф.	11	Славов В. В.	84
Журавель Д. П.	76, 80	Соломаха А. В.	28
Кашкар'юв А. О.	29, 31	Струков В. С.	86, 89
Квітка С. О.	33, 87, 91	Тимофєєв С. О.	105
Кідалов В. В.	11	Тиховод С.М.	9, 13, 15
Ковальов О. В.	47, 51, 66	Томілко Ю.С.	91
Козирський В. В.	24, 26	Федоренко В.А.	80
Курашкін С. Ф.	97, 101, 105	Чепак А.М.	20
Кушлик Р. В.	86, 89	Черемісін М.М.	93
Лисенко О. В.	95, 99	Черкашина В.В.	93
Лубко Д. В.	107	Чернецький В.А.	97, 103
Майбородіна Н. В.	24, 26	Щербаков С.В.	59, 66
Назаренко І. П.	72	Яковлєв В.Ф.	68
Нестерчук Д.М.	39, 53		

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ВИДАННЯ

### *ПРОГРАМА*

I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції  
пам'яті В. В. Овчарова  
“Сучасний стан та перспективи розвитку  
електротехнічних систем”

*20 травня - 04 червня 2020 р.*

*Відповідальний за випуск:* Квітка С. О., завідувач кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

*Редактор:* Квітка С. О., Нестерчук Д. М.

*Дизайн і верстка:* Щербина М. О.

**Секретар організаційного комітету:**  
Нестерчук Діна Миколаївна, тел. 097-439-6458

#### **Адреса оргкомітету конференції:**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, факультет енергетики і комп'ютерних технологій, кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В. В. Овчарова, ауд. 1.125 пр-т Богдана Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька область, 72310, Україна  
e-mail: [dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua](mailto:dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua)  
Сайт конференції: <http://www.tsatu.edu.ua/etem/internet-konferencija/>