

**Міністерство освіти і науки України**

**Вісник  
Харківського  
національного  
технічного університету  
сільського господарства  
імені Петра Василенка**

**Технічні науки**

**Випуск 203**

**Проблеми  
енергозабезпечення та  
енергозбереження в АПК України**

**2019**

**Міністерство освіти і науки України**

**Вісник  
Харківського  
національного  
технічного університету  
сільського господарства  
імені Петра Василенка**

Технічні науки

**Випуск 203**

**Проблеми енергозабезпечення та  
енергозбереження в АПК України**

2019

ББК 40.71  
УДК 621.316

*Друкується за рішенням вченої ради ХНТУСГ імені Петра Василенка  
від 26.09.2019 р., протокол No 1.*

**Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.** Випуск 203 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Харків : ХНТУСГ, 2019. 161 с.

**ISBN 5-7987-0176X**

203-й випуск Вісника Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка вміщує статті, в яких наведені результати науково-дослідних робіт, проведених в університеті, а також в інших закладах вищої освіти і на підприємствах України та зарубіжжя.

Випуск згруповано за розділами: "Енергозабезпечення споживачів АПК", "Електрообладнання та раціональне використання електричної енергії в АПК", "Вплив електромагнітних полів та пружних коливань на біологічні об'єкти с.-г. призначення".

Вісник розрахований на наукових працівників, аспірантів, викладачів та інженерно-технічний персонал, які працюють у цих наукових напрямках.

**Редакційна колегія:**

**Нанка О. В.** – канд. техн. наук, доцент, академік Інженерної Академії України (відповідальний редактор);

**Лисиченко М. Л.** – доктор техн. наук, професор (заст. відповідального редактора);

**Мельник Віктор Іванович** – проректор з наукової роботи ХНТУСГ (заст. відповідального редактора);

**Мороз О. М.** – доктор техн. наук, професор (заст. відповідального редактора);

**Косуліна Н. Г.** – доктор техн. наук, професор;

**Кунденко М. П.** – доктор техн. наук, професор;

**Мірошник О. О.** – доктор техн. наук, професор;

**Тимчук С. О.** – доктор техн. наук, професор;

**Сорокін М.С.** – канд. техн. наук, доцент (технічний редактор);

**Черемісін М. М.** – канд. техн. наук, професор;

**Черенков О. Д.** – доктор техн. наук, професор;

**Фурман І. О.** – доктор техн. наук, професор, академік Академії наук вищої освіти України (відповідальний секретар).

**Наукове фахове видання**

*Атестовано ВАК України*

*(Перелік No 9, Бюлетень ВАК України No 4. – 2010. – С. 3)*

**ББК 40.71**

**ISBN 5-7987-0176X**

© Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ МЕТОДОМ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

Давиденко Л. В.<sup>1</sup>, Давиденко В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет,

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування

*Запропоновано математичну модель електроспоживання, побудова якої базується на груповому урахуванні істотних змінних, що характеризують процес водопостачання та його ефективність.*

**Постановка проблеми.** Енергоефективність є важливим пріоритетом в сучасних умовах. Досвід європейських країн свідчить, що впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень для поліпшення енергетичної результативності діяльності організації. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Першим етапом на шляху ефективного управління енергоспоживання згідно [1] є енергетичне планування. Одним із його завдань є планування енергоспоживання, результатом якого є визначення БРЕ. Планування енергоспоживання – процес пізнання об'єктивних причинно-наслідкових зв'язків між енергетичним та іншими чинниками виробництва шляхом їх моделювання на певний період. Згідно вимог стандарту ISO 50001 [1] БРЕ повинен бути унормованим до відповідних змінних, що впливають на енергоспоживання. Одним із способів унормування БРЕ є побудова математичної моделі споживання енергії для виробничого об'єкту з урахуванням чинників, які суттєво впливають на величину витрати енергії [1]. Комплексний підхід до управління ефективністю електроспоживання заснований на багатфакторній моделі витрати електроенергії [2]. Будь-який виробничий об'єкт має унікальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і чинниками, що впливають на нього. Складність математичного моделювання електроспоживання будь-якого виробничого об'єкту обумовлена необхідністю урахування багатьох чинників, що впливають на споживання електроенергії, а також їх взаємозв'язків, інформація про які міститься в результатах спостереження. Для побудови математичної моделі в загальному випадку слід визначити її структуру та оцінити параметри, тобто вирішити завдання структурно-параметричної ідентифікації моделі за вибіркою статистичних або експериментальних даних. Причому, на практиці структура моделі, як правило, невідома. Жорсткі обмеження на обсяг вихідної інформації зумовлюють необхідність використання спеціалізованих методів, що орієнтовані на роботу саме за таких умов [3].

**Мета статті.** Підвищення точності прогнозування електроспоживання в СКВ шляхом автоматичної структурно-параметричної ідентифікації моделі.

**Основні матеріали дослідження.** Останнім часом великий інтерес проявляється до механізмів самоорганізації, яка як метод адаптивного синтезу складних систем, заснована на припущенні, що інформація про взаємної кореляції змінних прихована в експериментальних значеннях цих змінних. Самооргані-

зацію моделей можна визначити, як їх побудову при всебічному зменшенні необхідної апріорної інформації, зокрема, зводиться до мінімуму кількість вказівок автора моделювання [4]. З обчислювальної точки зору досить привабливим в цій ситуації є метод групового урахування аргументів (МГУА) [4] – один з найбільш успішних методів структурно-параметричної ідентифікації моделей в умовах невизначеності, що відрізняється застосуванням принципів автоматичної генерації варіантів, неостаточних рішень і послідовної селекції моделей оптимальної складності за зовнішніми критеріями [3, 4]. В його основу покладено принципи індуктивного моделювання складних систем: самоорганізації, зовнішнього доповнення і свободи вибору рішень під час автоматичної генерації та послідовної селекції дедалі складніших структур моделей [4]. МГУА не потребує представлення моделі в явному вигляді, оскільки модель конструюється сама в процесі роботи алгоритму на основі обробки наявних вибірок експериментальних даних. Для порівняння і вибору кращих моделей застосовують зовнішні критерії [4], засновані на поділі вибірки на дві чи більше частин, причому оцінювання параметрів і перевірка якості моделей виконуються на різних підвбірках. Це дозволяє уникнути обтяжливих апріорних припущень, оскільки поділ вибірки дає змогу неявно (автоматично) врахувати різні види апріорної невизначеності при побудові моделі та є одним з найбільш успішних способів боротьби з перенавчанням [3]. МГУА є індуктивним методом прямої побудови лінійних, нелінійних, різницевих та інших математичних моделей складних процесів за короткими вибірками даних в умовах істотної неповноти та невизначеності інформації, пов'язаної як із властивостями обмежених вибірок даних, так і з зовнішніми умовами моделювання або апріорною інформацією. За допомогою МГУА можна синтезувати адаптивні моделі за умови дефіциту апріорної інформації. Застосування МГУА дає найкращу оптимально спрощену модель для неточних, зашумлених або невеликих наборів даних [4].

В якості моделі електроспоживання використовується найкраща індуктивна модель, що отримана за багаторядним алгоритмом синтезу моделей (АСМ) МГУА [4] в результаті послідовного випробування моделей, отриманих із використанням множини їх опорних виглядів при заданій мінімальній похибці моделювання. Шуканою за допомогою МГУА моделлю електроспоживання об'єкту водопровідного господарства буде математична залежність, що представляється поліномом Колмогорова-Габбора [4]:

$$y = \theta_0 + \sum_{i=1}^m \theta_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \theta_{ij} x_i x_j + \dots \quad (1)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – вхідні змінні,  
 $\theta_0, \theta_i, \theta_{ij}, \dots$  – коефіцієнти або параметри.

Як такі, що мають істотний вплив на ефективність електроспоживання системи водопостачання в цілому вибрано змінні:  $X_1$  – величина об'єму піднятої води насосними станціями (НС) I-го підйому;  $X_2$  – об'єм води, поданої в мережу НС II-го підйому;  $X_3$  – втрати води в мережі;  $X_4$  – коефіцієнт ефективності використання продуктивності насосних агрегатів (НА);  $X_5$  – витрати води на технологічні потреби;  $X_6$  – коефіцієнт ефективності використання потужності приводу НА;  $X_7$  – комунально-побутові потреби. Вихідним параметром є електроспоживання. Навчальну вибірку утворюють дані про електроспоживання в СКВ та вибрані параметри по місяцях протягом 2015-2018 рр.

Моделювання електроспоживання виконувалося в програмному середовищі GMDH Shell DS 3.8.2 [5], що є інструментом інтелектуального аналізу даних і прогнозування на основі алгоритму МГУА. За його допомогою здійснюється структурно-параметрична оптимізація математичних моделей, що відображають закономірності багатопараметричних даних об'єкта.

Застосовано комбінаторний алгоритм. Пошук моделей оптимальної складності виконувався класі поліноміальних моделей з ефектом взаємодії. Модель вибирається з множини моделей-претендентів послідовним відбором спочатку за критерієм регулярності, потім – за критерієм мінімуму зсуву [4] (зовнішніми критеріями якості моделі).

Як стратегію валідації моделей (алгоритму використання "зовнішнього доповнення") вибрано перехресну перевірку (крос-валідацію) по К-блоках. Суть стратегії: деяку фіксовану частку (перші 10% зразків) виключають з вихідного набору даних, будують модель (використовуючи 90% даних, що залишилися) і застосовують її до виключеного набору; на наступному циклі видалені дані повертаються, видаляються інші 10% даних, знову будується модель, яка застосовується до виключених даних. Процедура повторюється доти, доки всі дані не побувають в числі виключених. У результаті використання МГУА отримано модель оптимальної складності у вибраному класі опорних функцій:

$$W = 130,8 + x_1 \cdot x_2 \cdot 5,55 + x_2 \cdot x_3 \cdot 1,17 + x_4 \cdot x_6 \cdot 1,51 + x_5 \cdot x_7 \cdot (-0,724) + x_1^2 \cdot 3,94 + x_2^2 \cdot x_3 \cdot 0,57 + x_1^2 \cdot x_7 \cdot 2,22 + x_4^2 \cdot x_6 \cdot 0,45 \quad (2)$$

Отримана модель забезпечує мінімум внутрішнього критерію  $\Delta^2(A)=0,00166$ , критерію регулярності  $\Delta^2(B)=0,0094$ , незміщеності  $n_{zc}=0$  та варіації похибки прогнозу  $\delta^2=0,00005$ , а також максимум коефіцієнта кореляції  $R=0,9996$ . Точність прогнозу  $\Delta^2(C)=0,0036$ . Отримані результати свідчать про достатньо високу якість моделювання та точність прогнозу.

**Висновки.** Застосування комбінаторного алгоритму МГУА до побудови математичної моделі електроспоживання в СКВ (структура і механізм взаємодії спостережуваних параметрів якої є невідомими) дало змогу шляхом перебору усіх можливих моделей із заданого базису вибрати форму залежності, тобто, здійснити структурно-параметричну ідентифікацію моделі за експериментальними даними, та отримати оптимальну у вибраному класі опорних функцій нефізичну модель електроспоживання.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 50001:2014. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 27 с.
2. Грунтович Н. В., Мороз Д. Р., Капанский А. А. Развитие методического обеспечения диагностирования и прогнозирования энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения. *Энергоэффективность*. 2015. № 1. С. 20-23.
3. Мороз О. Г., Степашко В. С. Обзор гибридных структур МГУА-подобных нейронных сетей та генетических алгоритмов. *Индуктивное моделирование сложных систем*. 2015. Вып.7. С.173- 191.
4. Ивахненко А. Г., Степашко В. С. Помехоустойчивость моделирования. Київ : Наукова думка, 1985. 216 с.
5. GMDH Shell for Data Science uses the power of the GMDH (Group Method of Data Handling). URL: <http://www.gmdh.net/>

#### Анотація

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕТОД ГРУППОВОГО УЧЁТА АРГУМЕНТОВ

Давыденко Л. В., Давыденко В. А.

*Предложена математическая модель электропотребления, построение которой основано на групповом учете влияющих переменных, характеризующих процесс водоснабжения и его эффективность.*

#### Abstract

### MODELING OF POWER CONSUMPTION IN THE SYSTEM OF MUNICIPAL WATER SUPPLY SYSTEM BY THE GROUP METHOD OF DATA HANDLING

L. Davydenko, V. Davydenko

*A mathematical model of power consumption, the construction of which is based on the group consideration of relevant variables characterizing the water supply process and its efficiency, has been proposed.*

## ЗМІСТ

### ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ АПК

Застосування інтелектуальної системи електропостачання з відновлювальними джерелами живлення <i>Сивенко М. М., Мірошник О. О., Мисловскі Я., Пазій В. Г.</i> .....	3
Регулювання частоти та амплітуди напруги в автономних асинхронних генераторах із самозбудженням <i>Пушкар М. В., Тригуб А. О., Романенко С. В.</i> .....	5
Основні напрямки розвитку та впровадження інформаційних технологій на базі платформи Smart Grid <i>Черемісін М. М., Черкашина В. В., Омеляненко О. В.</i> .....	8
Акустичні методи діагностики коронного розряду в лініях електропередач <i>Гриб О. Г., Крапалюк І. Т., Швець С. В., Рудевич Н. В., Захаренко Н. С.</i> .....	12
Технико-экономическое обоснование внедрения системы мониторинга надёжности электроснабжения и качества электроэнергии на примере сельскохозяйственного объекта <i>Большев В. Е., Виноградов А. В., Виноградова А. В.</i> .....	16
Обґрунтування та аналіз роботи мікропроцесорних терміналів для релейного захисту і телеуправління елементів енергосистеми <i>Бунько В. Я.</i> .....	19
Удосконалення конструкції неізолюваних проводів повітряних ліній, що знаходяться в експлуатації <i>Козловський О. А., Телота Р. В.</i> .....	21
Оглядовий аналіз ефективності основних видів сонячних панелей <i>Савченко О. А., Попадченко С. А., Коломієць В. О.</i> .....	23
Використання сонячної енергії у технології сушіння дубового шпону <i>Боярчук В. М., Коробка С. В., Кригуль Р. Є., Бабич М. І.</i> .....	26
Аналіз існуючих методів і технічних засобів організації моніторингу електричної мережі <i>Попадченко С. А., Тоберт М. Ю.</i> .....	29
Оцінка показників комбінованої локальної енергосистеми з накопиченням енергії <i>Лисенко О. В., Мельник О. А., Нестерчук Д. М.</i> .....	34
Діагностика оливнонаповненого устаткування з комбінованими дефектами за результатами аналізу розчинених у оливі газів <i>Шутенко О. В., Кулик О. С.</i> .....	39
Локальна електрична система розподіленої генерації з використанням приватних дахових СЕС та її вплив на ОЕС України <i>Жарков А. В.</i> .....	43
Аналіз можливості розпізнавання часткових розрядів в ізоляції високовольтних маслонаповнених ввідів за результатами періодичних випробувань <i>Шутенко О. В., Загайнова О. А., Сердюкова Г. М.</i> .....	45
Оцінювання надійності електропостачання у локальних системах з установками відновлюваної енергетики <i>Дерев'яно Д. Г., Панасенко В. С., Масло О. С.</i> .....	49
Дослідження ферорезонансних процесів в мережах з відновлювальними джерелами енергії <i>Кузнецов В. Г., Тугай І. Ю., Нікішин Д. А.</i> .....	51
On bayesian estimation of reliability function for lifetime distributions <i>Krivtsov V., Frankstein M.</i> .....	53

Вимоги законодавства України, щодо прогнозування генерації електричної енергії СЕС та шляхи вирішення цих вимог <i>Мороз О. М., Павлов А. О.</i> .....	56
Вплив початкових умов на перехідні процеси при комутаціях автотрансформаторів <i>Тугай Ю. І., Кучанський В. В., Лиховид Ю. Г.</i> .....	59
Определение потерь энергии в линейных тарельчатых изоляторах за счет определения $\text{tg}\delta$ и выделения активной составляющей тока утечки <i>Шевченко С. Ю., Борзенков И. И., Данильченко Д. А., Лебединский И. Л., Лебеда С. Н.</i> .....	61
Енергетична безпека України <i>Хоменко І. В., Стасюк І. В.</i> .....	64
Особливості вибору структури сонячних електростанцій <i>Дерев'яно Д. Г., Загорський О. М., Панасенко В. С.</i> .....	67

## **ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АПК**

Вплив опромінення різного оптичного спектру на посівні якості та ростові показники рослин озимої пшениці <i>Пашковська Н. І., Червінський Л. С.</i> .....	69
Енерговитрати при гіперполяризації монохроматичного поляризованого випромінювання <i>Лисиченко М. Л., Жила В. І.</i> .....	71
Оцінка стійкості електропривода при проектуванні потокових ліній біогазових установок <i>Потапенко М. В., Лецій Р. М., Семенова Н. П.</i> .....	73
Аналіз ефективності електрофізичних методів обробки насіння томатів <i>Гайдукевич С. В., Семенова Н. П.</i> .....	76
Модельовання електроспоживання в системі комунального водопостачання методом групового урахування аргументів <i>Давиденко Л. В., Давиденко В. А.</i> .....	80
Технології визначення діелектричних параметрів ізоляції конденсаторного типу в системах контролю під робочою напругою <i>Беляєв В. К., Паненко О. М.</i> .....	82
Визначення впливу поздовжніх коливань турбогенераторів на їх надійність <i>Шевченко В. В.</i> .....	85
Перехідні процеси в електроприводі транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі <i>Савченко В. В., Синявський О. Ю., Шагай Р. Г.</i> .....	88
Дослідження моделей та аналіз чутливості блоку фільтрації пристрою визначення якісних ознак біологічних структур <i>Яковлев В. Ф.</i> .....	90
Дослідження швидкості обертання змішувачів кормів та обґрунтування шляхів зменшення енергоспоживання <i>Жила В. І., Гузенко В. В.</i> .....	94
Development of a fuel element technology to reduce the technogenic load of the environment <i>Barsukova G. V.</i> .....	96

Вплив геометричних параметрів ротору синхронного реактивного двигуна на його енергетичні характеристики <i>Єгоров О. Б., Єгорова О. Ю.</i> .....	99
Оптимізація режимів керування енергетичними потоками в спорудах захищеного ґрунту з використанням нейронечіткого прогнозування <i>Лисенко В. П., Якименко І. Ю., Дудник А. О.</i> .....	102
Розробка алгоритму і структури пристрою захисту трифазного двигуна <i>Попова І. О., Курашкін С. Ф.</i> .....	104
Дослідження величини питомого електричного опору яблучної сировини в процесі сушіння <i>Савойський О. Ю., Яковлев В. Ф., Сіренко В. Ф.</i> .....	107
Визначення тривалості зондуючих імпульсів при локації внутрішніх пошкоджень біологічних структур акустичним методом <i>Яковлев В. Ф.</i> .....	111
Бездротова схема автоматичного керування насосною станцією системи водопостачання для фермерських господарств <i>Хандола Ю. М., Серєда А. І., Назаренко О. Ю., Федюшко Ю. М.</i> .....	114
Підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів <i>Гайдукевич С. В., Антонів О. С.</i> .....	117
Електромеханічні властивості електроприводів з асинхронними двигунами з масивними торцевими феромагнітними екранами при зниженні напруги живлення <i>Красношатка Н. Д.</i> .....	120
Обґрунтування використання торцевих асинхронних двигунів для привода подрібнювачів кормів <i>Сотнік О. В., Сотнік О. В., Манжос М. В.</i> .....	122
Вентильно-індукторний електропривод <i>Бурик М. П.</i> .....	124
Залежність розвитку внутрішніх органів птахів під впливом лазерного випромінення різних діапазонів. <i>Міленін Д. М., Лисиченко М. Л., Пархоменко Л. І., Дубін Р. А., Аль Саяснех Обада</i> .....	127
Аппаратура на светоизлучающих диодах для экстракорпорального облучения крови животных. <i>Алмазова О. Б., Лисиченко Н. Л., Вейцман П. Л.</i> .....	130

## **ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ТА ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ С.Г. ПРИЗНАЧЕННЯ**

Modern methods and devices for electromanipulation in cell engineering <i>Shigimaga V. A.</i> .....	136
Определение гидродинамических параметров герметизированного напорного экстрактора <i>Косулина Н. Г., Черенков А. Д., Михайлова Л. М.</i> .....	138
Використання інформаційних електромагнітних технологій в сільському господарстві <i>Чорна М. О., Вусатий М. В.</i> .....	141
Оцінка параметрів функціонального стану персоналу системи управління при інформаційному впливі НВЧ-випромінювання <i>Ляшенко Г. А., Полянова Н. В., Кравченко П. О.</i> .....	143
Prediction techniques and economic breeding index for analyzing multidimensional feature vectors <i>Megel Y. E., Mikhnova O. D., Kovalenko S. M.</i> .....	145



Анализ качества электрической энергии в сетях наружного освещения <i>Сапрыка В. А., Шмаров И. А., Сапрыка А. В., Морозов Д. И., Черенков А. Д., Косулина Н. Г.</i> .....	148
Моделювання взаємодії біомедичної апаратури з пацієнтом в концепції "людина – машина" <i>Ляшенко Г. А., Полянова Н. В., Кравченко П. О.</i> .....	150
Використання комбінаторного підходу до оцінки живучості флоту безпілотних літальних апаратів при виконанні ним моніторингу потенційно небезпечних об'єктів <i>Фесенко Г. В., Ляшенко Г. А., Черепньов І. А.</i> .....	152
Аналіз стану питання підвищення ефективності електропромінення рослин в теплицях <i>Попрядухін В. С., Попова І. О., Постнікова М. В.</i> .....	155

Наукове фахове видання

**Вісник**  
**Харківського національного технічного університету**  
**сільського господарства імені Петра Василенка**

**Випуск 203**

Технічні науки

**Проблеми енергозабезпечення та**  
**енергозбереження в АПК України**

Відповідальний за випуск – Мороз О. М.  
Технічний редактор – Сорокін М.С.

Підписано до друку . . . 2019 р.

Формат 60 × 84 /8 папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Офсетний друк. Умов. друк. арк. 19,58.  
Тираж 500 примірників.

---

*Віддруковано: поліграфцентр "Влавке", ФОП Панов А. М.  
Свідоцтво про державну реєстрацію В03 № 100291.  
61002, м. Харків, вул. Раднаркомівська, 10 оф. 6  
тел. +38(057)714-06-74, +38(050)976-32-87  
copy.vlavke@gmail.com, www.vlavke.com*