

БІОРЕСУРСНА ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

В. С. ФЕДОРЕЙКО, доктор технічних наук

І. С. ІСКЕРСЬКИЙ, кандидат технічних наук

В. М. ШУЛЬГА, провідний інженер

Тернопільський національний педагогічний університет

ім. Володимира Гнатюка

e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

Анотація. Запропоновано науково-технічні проекти, націлені на диверсифікацію джерел енергії, реалізація яких дасть змогу вирішити існуючі проблеми в економіці, енергетиці, екології та соціальній сфері України.

Ключові слова: біосировина, диверсифікація, теплогенератор, термоелектричний модуль, фотобіореактор, утилізатор, когенерація, твердооксидна паливна комірка

Наша держава нині в черговий раз наступає на енергетичні граблі. Масштабне підняття тарифів у парі з економічно алогічними субсидіями не дають шансу громадянам вийти на цивілізаційні форми суспільних відносин. Озвучені 64 млрд. дол., які консолідовано за 25 років "спалили" наші уряди на газових субсидіях, призвели до втрат територій, ядерної зброї, флоту, стратегічної авіації, принизливих угод із Росією. Заангажовані в бюджеті кошти на субсидії адекватні витратам на оборону й на порядок більші, ніж на реанімацію доріг.

Одним із перспективних шляхів для України є диверсифікація джерел енергії за допомогою переведення структур економіки на біоресурсну сировину [1].

Яскраві приклади наших європейських партнерів демонструють реальну можливість для нашої енергетики багаторазово зменшити залежність від архаїчних вуглеводневих джерел. Використовуючи традиційну біомасу, різноманітні відходи та нову біомасу, можна за короткий час диверсифікувати традиційні системи генерації, вирішивши економічні, енергетичні, екологічні та соціальні проблеми сьогодення. Ігнорування даного вектора призведе до катастрофічних екологічних наслідків, адже на сьогодні 9 % від території держави займають стихійні смітники, а неопорядкованість придорожніх насаджень вражає гостей з цивілізованого світу.

Мета досліджень – розкриття шляхів диверсифікації енергозбереження з використанням сучасних технологій та біоресурсів.

Результати досліджень. У контексті задекларованого вище та керуючись рішеннями Паризької конференції 2015 року, ми пропонуємо

для реалізації 4 науково-технічних проекти на базі біоресурсних диверсифікаційних джерел.

1. Біотеплогенератор потужністю 2,5 МВт для сушіння зернових.

Сушильний комплекс споживає близько 400 000 м³ природного газу. Сушіння зерна є одним із енергоємних процесів в агропромисловому комплексі. На сьогодні, основним джерелом енергії є природний газ, використання якого традиційно призводить до здорожчання процесу видалення вологи, а також до залежності підприємств від монополістів, постачальників газу. Запропонований проект націлений на значне зменшення затрат на сушіння (у 3 – 5 разів), а також на витіснення дорогого палива й використання значно дешевшого – місцевого походження (деревна стружка, тирса, елеваторні відходи, брикети, пілети тощо) [2].

У розробці використовується прямоточне безперервне горіння. Подача палива здійснюється за допомогою регульованого асинхронного електропривода, що дає змогу повністю автоматизувати режими роботи сушильного комплексу. Технологічний контролер, у режимі реального часу, підтримує параметри горіння і подачу гарячого повітря в сушарку.

Додаткові технологічні процеси, пов'язані із заготівлею, підготовкою та подачею біопалива в біотеплогенератор, створюють додаткові робочі місця за нульового техногенного навантаження на довкілля.

Проект пройшов виробничі випробування й експлуатується на чотирьох елеваторах Київської, Тернопільської та Чернігівської областей.



Рис. 1. Комплекс на базі зерносушарки Sukup і біотеплогенератора

Цей біотеплогенератор можна використовувати на елеваторах для сушки зерна, для обігріву житлових будинків, для забезпечення температурних режимів різних об'єктів господарювання.

Розглядається питання про його імплементацію в суміжні технології, пов'язані з тепловою генерацією для продукування електроенергії в локальних енергетичних системах.

На виготовлення біотеплогенератора потрібно затратити 1–2 місяці, проведення інженерних та проектних робіт – 3–5 місяців, монтажних робіт – 1 місяць.

Термін окупності проекту півтора сезону (150 робочих днів).

2. Генератор-утилізатор твердих побутових відходів, у тому числі – важколіквідних, потужністю 0,5 МВт.

На сьогодні в Україні є нерозв'язаними дві загальнонаціональні проблеми: генерація дешевої теплової енергії та утилізація твердих побутових відходів. Відсутність стратегії в області утилізації та переробки твердих побутових відходів призвела до того, що в Україні виникло 6 тис. сертифікованих сміттєзвалищ та понад 30 тис. незаконних, площа яких становить приблизно 9 % від території України.



Рис. 2. Піролізний генератор-утилізатор відходів потужністю 0,5 МВт

Запропонований проект націлений на значне зменшення кількості наявних твердих побутових відходів. Це забезпечить витіснення імпортованих вуглеводнів за рахунок використання твердих побутових та важколіквідних відходів. Такий підхід створить додаткові робочі місця для обслуговування технологічних процесів, пов'язаних із заготівлею, сортуванням, підготовкою та подачею відходів в утилізатор, за мінімального техногенного навантаження на довкілля.

Розробку можна використовувати для спалювання автомобільних шин, відходів хімічних та фармацевтичних компаній.

Для виготовлення утилізатора потрібно затратити 350 тис. грн. на 1 МВт потужності. Нині експериментальний взірець проекту проходить виробничі дослідження.

Цей утилізатор може бути спроектований, виготовлений та адаптований до відповідних режимів роботи упродовж 6 місяців.

Термін окупності буде залежати від режимів роботи, але не більше, ніж рік.

3. Теплогенератор потужністю від 20 кВт до 50 кВт з термоелектричним модулем для автономних систем електроживлення (у тому числі для військових об'єктів).

У результаті реалізації проекту досягнуто цілей:

- а) генерація теплової енергії практично з будь-якого палива;
- б) отримання гарячої води та можливості приготування їжі;
- в) отримання електричної енергії шляхом когенерації теплових викидів біотеплогенератора для живлення телекомунікаційних засобів.



Рис. 3. Виставочний зразок теплогенератора потужністю 30 кВт

Розробка дає змогу отримати найдешевшу теплову енергію з одночасним безшумним генеруванням електроенергії для живлення систем комунікації (радіозв'язок, мобільний зв'язок, планшети, освітлювальні пристрої тощо) на територіях і місцевості де відсутнє електроживлення. Таким чином, об'єкт господарювання (підрозділ) може автономно вести повноцінну життєдіяльність, включаючи комунікаційні системи [3].

4. Біотехнологічний комплекс на базі твердооксидного паливного елементу та фотобіореакторів з мікроводоростями для автономних систем електроживлення.

У результаті реалізації проекту досягнуто таких цілей:

- а) перетворення одним технологічним етапом хімічного палива (H_2 та CH_4) в електричний струм із ККД близько 70%;
- б) утилізація CO_2 шляхом використання мікробіотехнологій з подальшою генерацією високоякісної біосировини;
- в) генерація біометану та біодизеля із біомаси мікроводоростей та біологічної складової твердих побутових відходів.

Використання електрохімічного перетворювача на базі твердооксидного паливного елементу дозволить підвищити ККД енергосистеми до 70% (ККД газової турбіни – 45%), а використання біотехнологічного комплексу на базі фотобіореакторів із одноклітинними мікроводоростями, мінімізовуватиме викиди діоксиду вуглецю в атмосферу [4].



Рис. 4. Лабораторна установка біотехнологічного комплексу на базі фотобіореактора

Запропонований проект дасть змогу отримувати електроенергію для живлення об'єкта господарювання, генерувати високоякісну біосировину з подальшим продукуванням біодизеля та біометану та максимально знизити викиди діоксиду вуглецю в атмосферу, таким чином, зможе автономно вести повноцінну життєдіяльність, із низьким антропогенним впливом на довкілля.

Біоенергетичний комплекс реалізується при генерації електроенергії твердооксидною паливною коміркою, із застосуванням фотобіореакторів (як фільтр вуглекислого газу) з подальшою переробкою біосировини в біометан та біодизель. Це дасть змогу повноцінно функціонувати об'єкту господарювання без централізованого тепло- та електропостачання із нульовим викидом CO₂, що відповідає положенням Паризької конвенції 2015.

Стадія розробки: експериментальний взірець.

Учасники реалізації проектів: Науково-дослідна лабораторія «Енергетичний менеджмент» Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка, підприємство "Українські технологічні системи", Науково-виробниче об'єднання «Енергоощадні технології» (м. Тернопіль).

Висновки

1. Запропоновано нові науково-технічні проекти генерації та когенерації енергії для її диверсифікації в системах теплоелектропостачання.

2. Розроблені експериментальні комплекси і установки дозволяють в різних технологічних системах здешевити генерацію енергії в 3...5 разів із нульовим навантаженням на довкілля.

3. Застосування задекларованих розробок дозволить значною мірою одночасно вирішити економічні, енергетичні, екологічні та соціальні проблеми в Україні.

Список літератури

1. Федорейко В. С. Шляхи підвищення енергетичної ефективності економіки України / В. С. Федорейко, І. С. Іскерський // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК. – К. : НУБіП України, 17–18 грудня 2015. – 2015. – С. 14–19.

2. Федорейко В. С. Підвищення енергоефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / В. С. Федорейко, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – № 4. – С. 27–32.

3. Федорейко В. С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / В. С. Федорейко, І. Б. Луцик, М. І. Рутило, І. С. Іскерський, Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – № 6. – С. 111–116.

4. Fedoreyko, V. (2015). Independent power supply of menage objects based on biosolid oxide fuel systems. / V. Fedoreyko, O. Beshta, A. Palchuk, N. Burega // Power engineering, control & information technologies. –CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.– Boca Raton, London, New York, Leiden, 7.

References

1. Fedoreyko, V. S., Iskers'kyy, I. S. (2015). Shlyakhy pidvyshchennya enerhetychnoyi efektyvnosti ekonomiky Ukrayiny. [Ways to improve energy efficiency economy Ukraine]. Materialy III mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Problemy ta perspektyvy rozvytku energetyky, elektrotekhnologiy ta avtomatyky v APK. Kyiv: NUBiP Ukrainy, 17–18 grudnya 2015, 14–19.

2. Fedoreyko, V. S., Lutsyk, I. B., Iskers'kyy, I. S., Zahorodniy, R. I. (2014). Pidvyshchennya energoefektyvnosti bioteplogeneratora shlyakhom ratsional'nogo dozuvannya komponentiv gorinnya [The increase of energy efficiency bioheat generator by batching burning]. Naukovyy visnyk Natsional'nogo hirnychoho universytetu. – Dnipropetrovs'k : NHU, 4, 27–32.

3. Fedoreyko, V. S., Lutsyk, I. B., Rutylo, M. I., Iskers'kyy, I. S., Zahorodniy, R. I. (2014). Vykorystannya termoelektrychnykh moduliv u teplogeneratorykh kogeneratsiynykh systemakh [The use of thermoelectric modules in heating generators for cogeneration systems]. Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu. Dnipropetrovs'k : NHU, 6, 111–116.

4. Fedoreyko, V., Beshta, O., Palchuk, A., Burega, N. (2015). Independent power supply of menage objects based on biosolid oxide fuel systems. Power engineering, control & information technologies. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.– Boca Raton, London, New York, Leiden, 7.

БИОРЕСУРСНАЯ ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ

**В. С. Федорейко,
И. С. Искерский,
В. М. Шульга**

Аннотация. Предложены научно-технические проекты, нацеленные на диверсификацию источников энергии, реализация которых позволит решить существующие проблемы в экономике, энергетике, экологии и социальной сфере Украины.

Ключевые слова: биосырье, диверсификация, теплогенератор, термоэлектрический модуль, фотобиореактор, утилизатор, когенерация, твердооксидная топливная ячейка

BIORESOURCE DIVERSIFICATION OF ENERGY SOURCES IN UKRAINE

**V. Fedoreyko,
I. Iskersky,
V. Shulga**

Abstract. Proposed research projects aimed at the diversification of energy sources, the implementation of which will allow to solve the existing problems in the economy, energy, ecology and social sphere of Ukraine.

Keywords: biosyre, diversification, heat source, thermoelectric module, photobioreactor, heat recovery, cogeneration, solid oxide fuel cell

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ**

Д. С. СТРЕБКОВ, доктор технических наук, академик РАН
**Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ),
г. Москва, Россия**
e-mail: nauka-ds@mail.ru

Аннотация. Прогноз и поиск новых источников развития является приоритетной задачей фундаментальной науки. При переходе к шестому технологическому укладу ученые должны обеспечить стратегическое планирование и сформулировать главные направления развития в XXI веке.

Рассмотрены новые технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития. Представлен прогноз основных направлений технологического развития России и мировой экономики до 2100 года.

Ключевые слова: прогноз технологического развития, экологическая безопасность, новые энергетические технологии

Задача ученых – предсказывать будущее, опираясь на предшествующий опыт и потенциальные возможности научного и технологического развития.

Основные вызовы, угрозы и риски в XXI веке смещаются от военно-ядерной, продовольственной и энергетической безопасности к экологической безопасности, связанной с глобальным потеплением климата. Нашими исследованиями показано, что подписанное в 2016 г. Парижское соглашение об ограничении эмиссии парниковых газов не имеет научного обоснования, а главной причиной глобального потепления климата является антропогенное тепловое загрязнение атмосферы [1–3]. По разным оценкам, через 20–60 лет может возникнуть точка невозврата по потеплению климата Земли, когда никакие материальные ресурсы человечества не смогут остановить глобальную катастрофу, связанную с таянием ледников, повышением уровня океана на 80–100 м и перехода земного климата в состояние, несовместимое с биологической жизнью.

Необходим срочный переход на бестопливную энергетику, создание электрических генераторов, использующих энергию окружающей среды с ее охлаждением и изменение радиационного баланса Земли путем увеличения альбедо городов и пустынь и излучение избыточной энергии в оптическом диапазоне в открытый космос.

Наука – это инструмент для прогноза и поиска новых источников развития.

Академик РАН Сергей Глазьев подчеркивал, что для нового технологического уклада очень важно стратегическое планирование и понимание главных направлений развития. Стратегия опережающего развития должна включать экспертный отбор перспективных научных разработок, финансирование опытных образцов, венчурное финансирование инновационных проектов, кредитование новых производственных мощностей. Должна работать многоэшелонированная система государственной поддержки инновационной и инвестиционной активности.

Тесла Н. писал, что первостепенное значение для эволюции человека имеет создание изобретений. Это самый важный процесс его творческого мышления.

В результате недостаточной государственной поддержки инновационной активности вклад России в глобальный валовый продукт 3 %, а доля России на рынке высокотехнологичной продукции – 0,3 %, т. е. в 10 раз меньше (табл.1).

1. Инновационная активность в Китае, США и России

№	Страна	Число выданных патентов за год
1	Китай	1 300 000
2	США	500 000
3	СССР	300 000
4	Россия	29 000

Государственная поддержка науки в России в 5 раз меньше, чем в Швейцарии, в 3 раза меньше, чем во Франции и в 2 раза меньше, чем в Эстонии (табл. 2).

2. Расходы на фундаментальную науку, % от ВВП в промышленно развитых странах

№	Страна	% от ВВП
1	Швейцария	0,9
2	Южная Корея	0,76
3	Исландия	0,65
4	Нидерланды	0,56
5	Франция	0,54
6	Эстония	0,37
7	Словакия	0,31
8	Португалия	0,29
9	Греция	0,28
10	Польша	0,23
11	Россия	0,18
12	Чили	0,12
13	Мексика	0,11

Необходимо прекращение бессмысленной реструктуризации сложившейся в течение 86 лет системы институтов РАН и вывод фундаментальной науки из-под юрисдикции ФАНО в части утверждения планов научных исследований, оценки эффективности работы институтов и их руководства и назначения руководителей государственных научных учреждений.

Для усиления роли науки при принятии решений целесообразно введение должности вице-премьера правительства РФ по науке с назначением на эту должность академика РАН и введение должностей заместителей министра по науке во все наукоемкие министерства (образования и науки, сельского хозяйства, энергетики, здравоохранения и др.) с назначением на должности академиков или членов-корреспондентов РАН.

С целью развития механизма реализации перспективных научных направлений необходимо включение в бюджетные планы государственных научных учреждений защищенных статей расходов по созданию и охране объектов интеллектуальной собственности (патентов и компьютерных программ), созданию демонстрационных и пилотных образцов новой техники, приборов и оборудования и введение статистической отчетности по этим разделам плана.

Цель исследований – дать прогноз основных направлений технологического развития России и мировой экономики до 2100 года.

Результаты исследований. *Новые технологии.* Практически вся энергия, вырабатываемая генерирующими источниками всех видов, доводится до потребителей по системам передачи и распределения, где существенная ее часть теряется по техническим и коммерческим причинам. Кроме того, получаемая потребителями энергия используется во многих случаях неэффективно из-за технологического несовершенства энергопотребляющего оборудования и отсутствия соответствующих стратегий рационального энергетического менеджмента.

Вследствие указанных причин технического, организационного и коммерческого характера, во многих странах мира до 40–50% производимой первичной энергии полезно не используется. Так, в России в настоящее время неиспользуемый технический потенциал энергосбережения составляет до 420 млн. т у. т., или 45% от всего уровня потребления энергии в 2005 г.

Кроме того, передача электроэнергии сопровождается существенными потерями, составляющими в мире в среднем 8,8% от ее производимого объема. Суммарные потери электроэнергии в настоящее время в мире превышают объем ее производства в такой стране, как Китай (3433,4 ТВт.ч) [4, 5].

В настоящее время известно о принципиально новых отечественных технологиях создания глобальной электрической сети с применением однопроводных или беспроводных электропередач реактивного тока, основанных на идеях и опытах гениального ученого

Николы Теслы. Эти технологии позволяют не только решать указанные выше проблемы, но и создавать сверхнадежные глобальные системы электроснабжения с использованием солнечной энергии. На резонансные методы получения передачи и применения электрической энергии ученые ВИАХ получили более 50 патентов РФ [6]. Новые технологии будут использованы и для развития совместного электротранспорта.

Новые энергетические технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития, представлены в табл. 3.

В течение последующих 20 лет электромобили станут самым дешевым и широко используемым на рынке транспортным средством. К 2035 г. электромобиль с пробегом 300 км будет стоить дешевле автомобиля с Д.В.С. Электромобиль использует только 10% движущихся частей автомобиля с Д.В.С.

Число марок электромобилей на рынке выросло с 2 в 2010 г. до 25 в 2015 г. Компания «Тесла Моторс» получила 400 000 предварительных заказов на модель электромобиля стоимостью 35 000 долл. на общую сумму 14 млрд долл.

Форд инвестировал 4,5 млрд долл. в электромобили и к 2020 г. выпустит 13 моделей электромобилей, доведя объем выпуска электромобилей до 40 % от общего объема производства.

Литий-ионные аккумуляторы с 1990 г. по 2005 г. подешевели на 90 %. К 2020 г. стоимость литий-ионных аккумуляторов снизится до 100 долл/кВт·ч, а стоимость аккумулированной электроэнергии до 0,11 долл/кВт·ч.

Зарядка электромобилей от солнечных модулей обеспечит бестопливное энергоснабжение электротранспорта. За последние 30 лет стоимость солнечных модулей снизилась в 30 раз. Установленная мощность солнечных электростанций к 2020 г. увеличится в 3 раза и достигнет 600 ГВт, а цена за солнечное электричество снизится до 2,5 центов/кВт·ч, что в два раза дешевле электроэнергии от газовых и угольных электростанций. В Швейцарии разработан электрический самолет на солнечных батареях, который в 2016 г. совершил полет вокруг земного шара.

В Балтийском море перевозит пассажиров электрический корабль, аккумуляторы которого заряжаются во время остановки в порту для посадки пассажиров. Разрабатываются электрические вертолеты и беспилотники.

В ВИАХе за 20 лет (с 1996 по 2016 г.) разработаны беспроводные и однопроводные методы электроснабжения наземного, морского и воздушного транспорта, которые подробно рассмотрены в работах [6, 7].

В ВИАХе предложены новые высокоэффективные электрические машины с внешним и внутренним ротором и электрические двигатели без отброса массы с управляемым вектором тяги для наземных и космических транспортных средств [8].

3. Новые энергетические технологии

№	Разделы науки и техники	Новые энергетические технологии
1	Физика твердого тела и полупроводниковая электроника	Глобальная солнечная фотоэлектрическая энергетика с круглосуточным производством электроэнергии. Гибридные кровельные солнечные панели для глобальной программы «Один миллиард солнечных крыш».
2	Единая физическая теория пространства-времени, материи и поля	Электрические генераторы, использующие энергию окружающей среды Сверхпроводящие электромагнитные двигатели без отброса массы.
3	Резонансная электротехника Н. Тесла	Новые электрические машины Евразийская и мировая энергетическая система. Бесконтактное электроснабжение наземного и морского электротранспорта. Пресная вода из воздуха и морской воды.
4	Лазерная и электронно-лучевая техника	Беспроводные направленные методы передачи электрической энергии в атмосфере и в космическом пространстве.
5	Плазменные и электроимпульсные технологии	Водородная энергетика. Быстрый пиролиз твердых органических отходов в газообразное и жидкое топливо.
6	Холодный ядерный синтез	Новая ядерная энергетика.
7	Трансмутация ядер	Новые методы получения материалов.
8	Новая ядерная физика	Снижение радиоактивности отходов АЭС.
9	Сверхкритическое водное окисление	Получение метана из жидких органических отходов.

Прогноз технологического развития. Наш прогноз по технологическому развитию России и мировой экономики до 2100 г. сводится к следующему:

1. На сельскохозяйственных плантациях будут работать электрические машины-роботы с активными рабочими органами – 2040 г. [9].

2. Новые технологии позволят создать роботизированные комплексы для выращивания продуктов питания в арктической зоне и в районах, непригодных для сельскохозяйственного производства. В мегаполисах будут строиться многоэтажные автоматизированные биотехнологические фабрики для производства экологически чистых продуктов – 2030 г. [9, 10].

3. Воздушные линии электропередачи будут заменены на подземные волноводные однопроводниковые кабельные линии – 2050 г. [6].

4. Жидкое топливо и газ будут вырабатываться из биомассы энергетических плантаций с помощью резонансных одноэлектродных плазматронов – 2030 г. [5, 9].

5. Жидкие и твердые органические отходы будут использоваться в качестве топлива для производства метана для когенерационных электростанций – 2030 г. [5, 9].

6. Микроводоросли будут использоваться для получения биотоплива и кормовых добавок в животноводстве и рыбоводстве – 2035 г. [9].

7. Светодиодные светильники будут заменены на более экономичные люминесцентные лампы с холодными катодами и автоэлектронной эмиссией – 2030 г. [6].

8. Будут созданы объединенные энергосистемы Москва-Пекин, Москва-Дели и Владивосток-Лиссабон – 2060 г. [6].

9. Будет создана глобальная солнечная резонансная энергетическая система, производящая электроэнергию, водородное топливо и тепло для каждого человека на Земле – 2080 г. [6, 11].

10. Бестопливная энергетика обеспечит 80–90% мировых потребностей в энергии – 2090 г. [5, 6].

11. Электроснабжение летательных аппаратов в космическом пространстве и передача электрической энергии на мобильные объекты на Земле будут осуществляться резонансными беспроводными методами – 2060 г. [6].

12. Тепловые двигатели для транспортных средств будут заменены электрическими движителями без отброса массы с управляемым вектором тяги 2–10 т. – 2050 г. [8, 12].

13. Космические корабли будут стартовать с Земли на электрических ракетных двигателях, имея отношение массы полезного груза к стартовой массе 80–90% вместо сегодняшних 5% – 2060 г. [6, 12].

14. Будут разработаны экзафлопсные компьютерные технологии с производительностью 1 экзафлопс = 10^{18} операции в секунду для управления крупными технологическими проектами и энергетическими потоками в региональных и глобальных энергосистемах – 2030 г. [13].

15. Беспроводные методы передачи электрической энергии в водной среде будут использованы для энергоснабжения морских судов – 2030 г. [14].

16. По оценке нобелевских лауреатов Фейнмана и Дж. Уиллера, в вакууме, заключенном в объеме лампы накаливания, достаточно энергии, чтобы вскипятить все океаны на Земле. Будут разработаны методы получения энергии из окружающей среды и управления процессами глобального изменения климата – 2075 г. [1–3, 15].

17. Резонансные методы будут использоваться для лечения болезней человека и животных, уничтожения сорняков (вместо пестицидов), обеззараживания питьевой воды и отходов, создания новых особо чистых материалов (в первую очередь, солнечного кремния) – 2040 г. [6].

Выводы

1. Прогноз и поиск новых источников развития является приоритетной задачей фундаментальной науки. При переходе к шестому технологическому укладу ученые должны обеспечить стратегическое планирование и сформулировать главные направления развития России в XXI веке.

2. Рассмотрены новые технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития. Представлен прогноз основных направлений технологического развития России и мировой экономики до 2100 года.

Список литературы

1. Виноградов Ю. Е. Расчет параметров климата с учетом антропогенной теплоты / Ю. Е. Виноградов, Д. С. Стребков // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – Вып. 1 (22). – С. 94–102.

2. Виноградов Ю. Е. Исследование антропогенного воздействия на изменение климата / Ю. Е. Виноградов, Д. С. Стребков // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2016. – Вип. 240. – С.18–30.

3. Виноградов Ю. Е. Исследование возможности регулирования процессов глобального изменения климата / Ю. Е. Виноградов, Д. С. Стребков // Сборник трудов XIII Международная ежегодная конференция «Возобновляемая и малая энергетика 2016» ; под ред. П. П. Безруких, С. В. Грибкова. Комитет ВИЗ РосНИО, 7–8 июня 2016 г., Москва, Конгресс-центр Экспоцентра. – С. 75–89.

4. Федоров М. П. Энергетические технологии XXI столетия. Тенденции развития Т. III / М. П. Федоров, В. Р. О कोरोков, Р. О. О कोरोков // Энергетические технологии транспорта, передачи и распределения электрической энергии // Академия Энергетики. – 2009. – № 5 (31). – С. 28–33.

5. Strebkov, D. S. (2014). The problems of increasing the energy conversion efficiency // Research in Agricultural Electric Engineering, 2, 1, 2–9.

6. Стребков, Д. С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии / Д. С. Стребков, А. И. Некрасов. – М. : Изд-во ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 580 с.

7. Юферев Л. Ю. Экспериментальные модели резонансных систем передачи электрической энергии / Юферев Л. Ю., Стребков Д. С., Роцин О. А. – М. : ВИЭСХ, 2010. – 179 с.

8. Лиманский В. Г. Единая физическая теория пространства – времени, материи и поля / В. Г. Лиманский ; под ред. Д. С. Стребкова. – М. : ВИЭСХ, 2016. – 147 с.

9. Strebkov, D. S. (2015). Biofuel and food security // Frontiers of Agricultural Science and Engineering, March, 1, 1–12.

10. Strebkov, D. S., Powerin, D. I. (2014). Technological prospects of resolving the civilization impass in the field of food production. // Research in Agricultural Electric Engineering 2, 1, 1017.

11. Strebkov, D. S. (2015). Contribution of VIESH to the contemporary photovoltaic technology // Research in Agricultural Electric Engineering, 3, 1, 3–10.

12. Лиманский В. Г. Краткое изложение физической теории пространства – времени, материи и поля / В. Г. Лиманский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – Вып. 4 (17). – С. 51–58.

13. Шабаров А. В. Система организационного управления реализацией программы развития эксафлопных технологий / А. В. Шабаров // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – Вып. 4 (13). – С. 72–81.

14. Strebkov, D. S. (2015). Noncontact power supply for land and marine electric transport // Research in Agricultural Electric Engineering, 3, 1, 11–21.

15. Стребков Д. С. Принципы экстракции низкопотенциальной энергии из окружающей спокойной среды / Д. С. Стребков, Е. Д. Сорокодун // Альтернативный киловатт. – 2012. – № 5 (17). – С. 44–48.

References

1. Vinogradov, YU. E., Strebkov, D. S. (2016). Raschet parametrov klimata s uchetom antropogennoy teploty [Calculation of the climate parameters, taking into account the anthropogenic heat]. Vestnik VIESKH, 1 (22), 94–102.

2. Vinogradov, YU. E., Strebkov, D. S. (2016). Issledovaniye antropogennoy vozdeystviya na izmeneniye klimata [The study of human impact on climate change]. Naukoviy Visnik Natsional'nogo Univesitetu Bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukrayiny, 240, 18–30.

3. Vinogradov, YU. E., Strebkov, D. S. (2016). Issledovaniye vozmozhnosti regulirovaniya protsessov global'nogo izmeneniya klimata [Study the possibility of regulating the processes of global climate change]. Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnaya ezhegodnaya konferentsiya «Vozobnovlyayemaya i malaya energetika 2016» pod red. P.P. Bezrukih, S.V. Gribkova, Komitet VIZ RosNIO. 7–8 iyunya 2016, Moskva, Kongress-tsentr Ekspotsentra, 75–89.

4. Fedorov, M. P., Okorokov, V. R., Okorokov, R. O. (2009). Energeticheskiye tekhnologii XXI stoletiya. Tendentsii razvitiya g. III Energeticheskiye tekhnologii transporta, peredachi i raspredeleniya elektricheskoy energii [Energy technologies of the XXI century. Tendencies of development V. III. Energy transport technology, transmission and distribution of electric energy]. Akademika Energetiki. Oktyabr', 5 (31), 28–33.

5. Strebkov, D. S. (2014). The problems of increasing the energy conversion efficiency. Research in Agricultural Electric Engineering, 2 (1), 2–9.

6. Strebkov, D. S., Nekrasov, A. I. (2013). Rezonansnyye metody peredachi i primeneniya elektricheskoy energii. Moscow, GNU VIESKH, 580.

7. Yuferev, L. Yu., Strebkov, D. S., Roshchin, O. A. (2010). Eksperimental'nyye modeli rezonansnykh sistem peredachi elektricheskoy energii [Experimental models of resonant systems of electric energy transfer], Moscow, VIESKH, 179.

8. Limanskiy, V. G. (2016). Edinaya fizicheskaya teoriya prostranstva – vremeni, materii i polya [A unified physical theory of space – time, matter and fields], pod redaktsiyey Strebkova D. S. Moscow, VIESKH, 147.

9. Strebkov, D. S. (2015). Biofuel and food security. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 1, 1–12.

10. Strebkov, D. S., Powerin, D. I. (2014). Technological prospects of resolving the civilization impass in the field of food production. Research in Agricultural Electric Engineering, 2 (1), 10–17.

11. Strebkov, D. S. (2015). Contribution of VIESH to the contemporary photovoltaic technology. Research in Agricultural Electric Engineering, 3 (1), 3–10.
12. Limanskiy, V. G. (2014). Kratkoye izlozheniye fizicheskoy teorii prostranstva - vremeni, materii i polya [A summary of the physical theory of space – time, matter and field]. Vestnik VIESKH, 4 (17), 51–58.
13. Shabarov, A. V. (2013). Sistema organizatsionnogo upravleniya realizatsiyei programmy razvitiya ekzaflopnykh tekhnologiy [Organizational management system implementation – development program ekzaflopned technologies]. Vestnik VIESKH, 4 (13), 72–81.
14. Strebkov, D. S. (2015). Noncontact power supply for land and marine electric transport, Research in Agricultural Electric Engineering, 3(1), 11–21.
15. Strebkov, D. S., Sorokodum, E. D. (2012). Printsipy ekstraktsii nizkopotentsial'noy energii iz okruzhayushchey spokojnoy sredy [Principles of extraction low potential energy from the surrounding environment calm]. Al'ternativnyy kilovatt, 5 (17), 44–48.

ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК

Д. С. Стребков

Анотація. Прогноз і пошук нових джерел розвитку є пріоритетним завданням фундаментальної науки. При переході до шостого технологічного укладу вчені повинні забезпечити стратегічне планування та сформулювати головні напрями розвитку в ХХІ столітті.

Розглянуто нові технології, що визначають розвиток енергетики в ХХІ столітті й перехід сучасної цивілізації на шлях сталого ноосферного розвитку. Подано прогноз основних напрямів технологічного розвитку Росії та світової економіки до 2100 року.

Ключові слова: прогноз технологічного розвитку, екологічна безпека, нові енергетичні технології

FUNDAMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT

D. Strebkov

Abstract. The forecast and search of new sources of development is a priority task of fundamental science. Upon transition to the sixth technological way scientists shall provide strategic planning and formulate the main directions of development in the 21st century.

The new technologies determining development of power in the 21st century and transition of a modern civilization to a way of sustainable noosphere development are considered. The forecast of the main directions of technology development of Russia and world economy till 2100 is provided.

Keywords: forecast of technology development, ecological safety, new energy technologies

**TECHNOLOGY ENHANCED ENGINEERING EDUCATION
IN CONTEXT OF CRUNT TEMPUS EUROPEAN UNION PROJECT**

Adrian ADĂSCĂLITEI, professor
*Electrotechnics Department, "Gh. Asachi" Technical University, Iași,
România*
Petru TODOS, professor
Electro-Mechanics Department
Nicolae SECRIERU, associate professor
*Department of Information Technologies, Technical University of
Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*
e-mail: adrian.adascalitei@yahoo.com

Abstract. *In the CRUNT TEMPUS project, e-pedagogy of using ITC learning environments was used. Elearning inter-university network of Moldova uses a virtual learning environment for training and learning process improvement dedicated to engineering students. The article presents some methodological elements that contributed to the success of TEMPUS CRUNT Project. Several web courses, based on Blended Learning methodology are highlighted.*

This paper presents elearning instruction materials for engineering undergraduates developed on the Virtual Learning Environment <http://elearning.utm.md/moodle/login/index.php/>. Electrical Engineering and Technology (EET) Discipline model is a new approach to learning electrical technology-one that presents concepts in the customary logically developed order but illustrates them with exemplars that reflect the applications students are interested in. Electrical Engineering Discipline resources are especially for secondary school teachers and students, with topics ranging from introductory to advanced Electrical Engineering and Technology.

Teachers will find reliable and quality resources including videos, articles, demonstrations, worksheets, assessments and activities all in one location. Resources are searchable by topic and standards. eLearning Modules are using visualization of electrical engineering concepts.

Keywords: *powers in nonsinusoidal situations, measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions, harmonic pollution of power systems*

1. Introduction

Teaching Engineering as one of the components in the foundation technological program has been a challenging task to electrical engineering lecturers. A course webpage was constructed with the Moodle software system that utilizes various applications such as forum discussions, on-line assessments, accessing course information and learning resources including videos and useful

links. The web application is not a duplicate of classroom content but serves as a complementary to further provide guidance and assistance to students' learning outside the classroom. Therefore, the research will investigate students' perception on the usefulness of the course webpage in terms of content, accessibility, satisfaction and whether the experience stimulated their interest towards learning Engineering. The hybrid approaches offer flexibility and provide adequate support to students in learning EET.

The principles of ICT integration in engineering education are expressed as seven specific learning objectives for Teaching Engineering by using Blended Learning:

1. Critically apply the pedagogical principles of ICT integration in education.
2. Develop and facilitate ICT-based learning activities in the context of teaching EET.
3. Analyse and evaluate appropriate content and context for the use of ICT in EET teaching.
4. Use appropriate and varied communication and multimedia tools (emails, websites etc) in teaching and learning EET.
5. Use ICT efficiently in research, problem solving and project-based learning in EET.
6. Use ICT efficiently for professional development in the context of teaching and learning EET.
7. Integrate ICT appropriately into EET curriculum activities that will foster students ownership of their ICT-rich learning environment.

Methodology. Electrical Technology courses in higher education have traditionally been composed of lectures, problem-solving sessions, and laboratories. This study was aimed at developing a freshmen Web-based EET course and investigating the performance of the students who use it. The course Web site included the following elements:

- Weekly problem sets, for which solutions were provided a week later
- Hyperlinks to Web sites that provide information about topics in EET that are relevant to the course, including historical and philosophical background
- Hyperlinks to sites that provide access to free computerized electrical circuits and drives modeling software
- An electronic forum that enables students to pose questions and instructors to answer them

An optional, individual CMM project. The Capability Maturity Model project was originally developed as a tool for objectively assessing the ability of government contractors' processes to implement a contracted software project.

2. Using the moodle platform in class

Moodle is a tool which enables teachers to create a website environment for your class with online activities such as forums and quizzes.

"Moodle is a Course Management System (CMS), also known as a Learning Management System (LMS) or a Virtual Learning Environment

(VLE). It is a free web application that educators can use to create effective online learning sites.” (<http://moodle.org/>)

Course Webpage Design and Description by using Moodle platform (VLE, Virtual Learning Environment)

The blended learning environment was designed for a course entitled “Electrical Engineering and Technology, EET”, which was a core module offered to engineering students. The front webpage provides the overall course content of the EET module with the names of the chapters, followed by the activities in a drop-down list for each chapter. The activities involved in each chapter include: course materials, additional materials, quizzes, open forum/chat and latest news message/calendar.



Fig. 1. Blended Learning course developed at the Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Course materials. There are a total of nine chapters in EET with topics of namely, Each of these chapters has plenty of information and activities related to the topic. This includes the course materials in the form of PowerPoint slides and Acrobat PDF documents, which are the duplicates of hand-outs that the students received in class. It is important to provide a softcopy to the students, as it is colored compared to their hardcopy and helps better in comprehending complex diagrams or figures.

Additional Materials. Nowadays students are very much visual learners. The majority of the students expressed the strongest preference to visual learning style compared to other learning style dimensions. This implies that engineering students are strongly depending on visual learning environment. Video is clearly a valuable additional learning activity that provides a sensory experience that allows concepts and ideas to actually become alive and connected. It has the option to rewind and review a particular section of the video to ensure students understand the key concept.

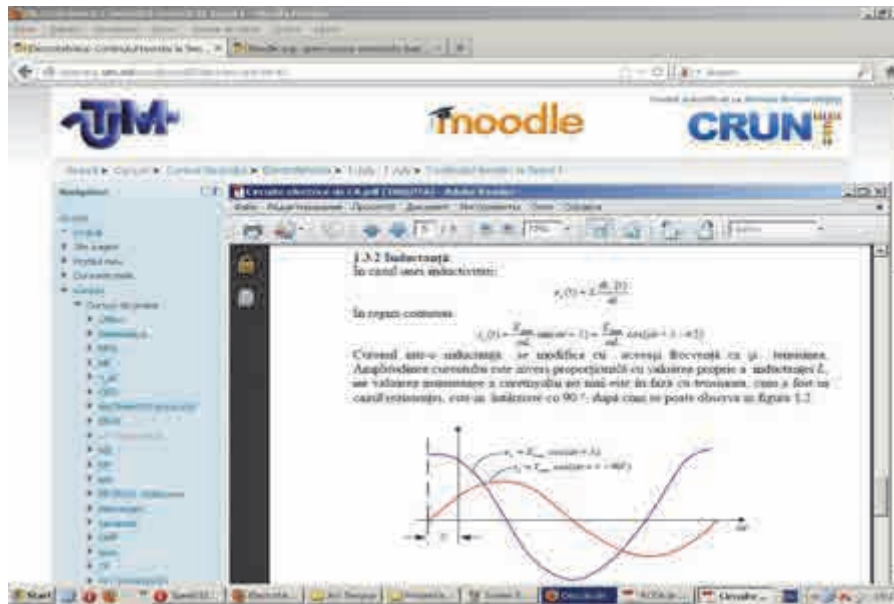


Fig. 2. The Content Presentation of "Electric Drive and Automation of Industrial Mechanisms"

Thus, free educational video sharing websites that explained the EET theories were uploaded in the webpage. In addition to this were video links from You Tube. Apart from this, problems and solutions as well as simplified diagrams explaining complex concepts, taken from textbooks or take-home questions which were not discussed in class, were made available online for students. In each of these adapted materials, references were stated clearly in order to allow students to seek the original sources if the need arises, apart from avoiding copyright infringement.

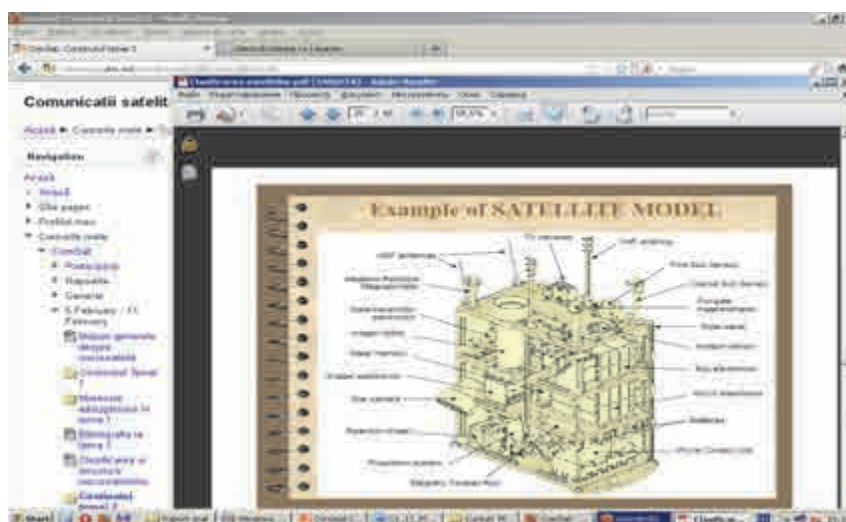


Fig. 3. The Content Presentation in "Satellite Communications"

Quizzes. Quizzes were incorporated in each chapter for students who were keen to self-test their knowledge and learning after the revision of a chapter. Short quizzes in the form of true/false, multiple choice, short answers or numerical questions were assigned, depending on the chapter content. The

majority of the questions were of problem solving type that involved calculation with pre-determined specific units and significant figures of the numerical answers. Two attempts were allowed for each question and the students received immediate feedback if they failed in their first attempt. Positive responses were provided if the students were successful in answering the questions. However, there was no time limit to answer each question as the students were given sufficient time to read and understand the questions, and to answer calmly at their own pace.

Since the quizzes were not part of the students' assessment, it was considered as an independent study at the students' own will. Hence, the quizzes were designed with a due date of two weeks, in order to encourage the students to have a constant revision and to avoid last-minute cramming before examination.

Open Forum. Open forum serves the purpose of allowing a student to post his/her questions or doubts and can be viewed by their fellow peers. This allows the lecturer to disseminate the answered questions to the whole class without repeating in the classroom. Hence, each of the chapters was constructed with their very own Open Forum. Students were also encouraged to use the chat function that facilitated live discussion and interaction with their instructors and peers.

Latest news Message/Calendar. Another interesting feature of Moodle is the function on the right of the webpage which allows the lecturers to post any new messages. It also comes with the list of recent activities so that students can keep-track with any updates. General announcements such as due date of assignments, examination dates and venues, replacement classes etc. were posted at this section and these were linked to the students' email accounts, so that they were notified of every update.

3. General Presentation of Open Educational Resources and MOOCs

Open Educational Resources (OER) have the potential to broaden access to education and to improve the quality and cost-effectiveness of teaching and learning in Europe. The best way to put OERs into practice is through Massive Open Online Courses (MOOCs). MOOCs are large-scale courses that represent one of the latest developments in open education, an initiative that is always trying to improve quality, access and equality in education and training.

MOOCs can be implemented in formal, informal and non-formal learning, and make learning ubiquitous.

Project will use leading-edge technology to create a combined Moodle MOOC platform– based on individual platforms and resources provided by project partners – making it possible to combine and transfer pilot activities in all the hubs involved.

Project will contribute to increasing awareness of the advantages of open education in Europe. The project will prove the potential of MOOCs (courses and communities) for breaking down technological barriers in learning across people with special needs or at risk of exclusion.

MOOCs adopted definition: MOOC is an online course designed for large number of participants that can be accessed by almost anyone anywhere as long as they have an internet connection, is open to everyone without entry qualifications and offers a full/complete course experience online for free.

A MOOC includes educational content, facilitation interaction among peers (including some but limited interaction with academic staff), activities/tests, including feedback, some kind of (nonformal) recognition options and a study guide / syllabus.

4. Utilising the virtual lessons and laboratory resources for electrical engineering

Teaching electrical engineering laboratory procedures by means of a virtual laboratory on a personal computer will be much welcome by educational institutions for whom maintaining a hands-on electric engineering lab is not viable due to various reasons. Instructional laboratory simulations can be incorporated in the virtual laboratory resources where students are free to make the decisions they would confront in an actual laboratory setting.

Electrical Engineering and Technology eLearning Resources

Real-life situations and problems are faced by them, where they have to make/take decisions and face the consequences thereof.

The available links to following websites are given below as examples for the teachers to have an idea of such virtual laboratories.

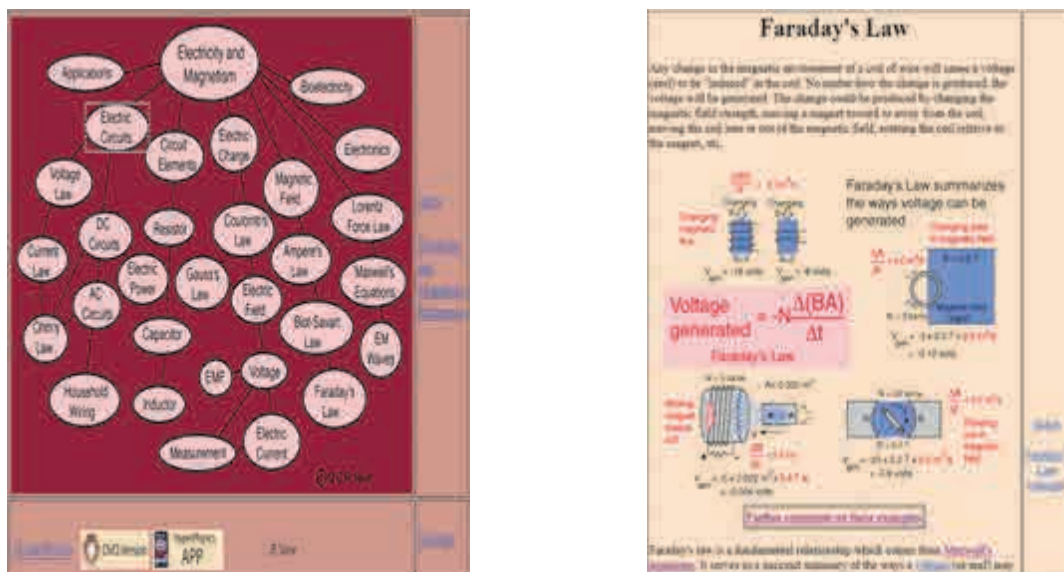


Fig. 4. Hyperphysics, Electricity and Magnetism, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/emcon.html#emcon>

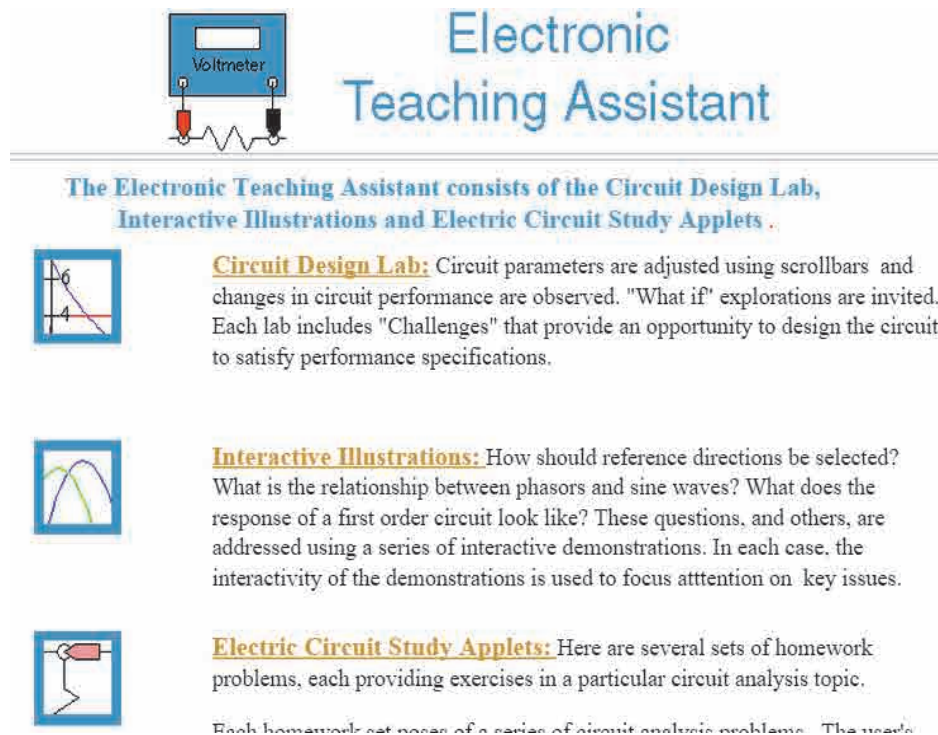


Fig. 5. The Electronic Teaching Assistant: the Circuit Design Lab, Interactive Illustrations and Electric Circuit Study Applets

5. MOOC Electrical Circuit Theory Course Organization

Course organization is based on Bloom's taxonomy of education objectives applied to e-learning of electric circuit theory, see Tables 3a and 3b.

As engineering curricula and courses continue to be restructured due to emerging technologies and ideas, it has become difficult to decide what body of knowledge to be retained and what is to be left out, given that the length of time for undergraduate education is limited to four years.

The selection of e-learning technologies should involve the assessment of course content, learning outcomes, and interaction needs. Olcott (1999) provides what he calls five "Five I's" of effective e-learning: interaction, introspection, innovation, integration, and information.

Interaction refers not only to the communication that should occur between the student and the instructor and the student with other students but also the interaction between the students and the content of the course. Thus, asynchronous and synchronous communications as well as the presentation of print materials and links to the Internet from the technology needs of interaction. Introspection is the interpretation, revision, and demonstrated understanding of concepts. Discussion boards and graphics can be effective technologies to encourage introspection. Innovation refers to the ability of instructors to experiment with technologies to address various learning styles.

Thus, combination of audio, video, and asynchronous discussion can provide various opportunities for students to learn. Integration reflects the integration of facts, concepts, theories, and practical application of knowledge. Using case studies, print exercises, and role-play can create a setting in which

integration can occur. Information refers to the knowledge and understanding that is a prerequisite for students to move to the next level of learning.

1. Sample Instructional Objective for Circuit Analysis

1.	Be able to explain basic concepts in electrical engineering: - Give a descriptive definition of an electric circuit. - List electrical and magnetic quantities, their units, and symbols. - Use scientific and metric unit notations. - Describe the relationship among the basic quantities in electric circuit theory: charge, current, potential, voltage, work (energy), and power - Distinguish between passive and active circuit elements
2.	Be able to explain experimental and basic laws: - Explain Ohm's law - Calculate current, voltage, and resistance in a circuit; for elements in series, parallel and combinations of both. - Derive the conditions for voltage and current division. - Explain Kirchhoff's current and voltage laws. - Apply Kirchhoff's current law to determine an unknown branch current. - Apply Kirchhoff's voltage law to determine an unknown voltage drop.
3.	Be able to apply methods of network (circuit) analysis
4.	Be able to apply circuit theorems to analyze circuit.
5.	Be able to use operational amplifiers as active circuit components
6.	Be able to describe the structure and characteristics of energy storage elements (capacitors and inductors)
7.	Be able to relate sinusoids, phasors, and complex numbers to circuit elements and variables.
8.	Be able to apply Ohm's law and Kirchhoff's laws in AC circuits
9.	Be able to determine sinusoidal and pulse response of RC circuits.
10.	Be able to determine sinusoidal and pulse response of RL circuits.
11.	Be able to analyze basic RC and RL filters.
12.	Be able to explain the concept of electromagnetism, magnetic induction, and mutual inductance.
13.	Be able to describe the construction and operation of transformers.
14.	Be able to analyze circuits with transformers.

The instructional objectives provide the basis for instructional activities in and outside of the classroom. For each class, the students come in with different learning styles and capabilities. Variation in learning styles of the students can be addressed through course organization. At this point, course organization is generally at the prerogative of the instructor who teaches the course. However, there is a general consensus and effort is being mounted by

all faculty members to adapt instructional techniques that enhance student learning in and out of the classroom. It is therefore the instructor who is required to take into consideration the different learning styles and the teacher builds the class presentations around a hybrid of pedagogical techniques so as to accommodate all the students enrolled in the course.

Shown in Table 1 is a sample of course objective for Circuit Analysis. It is obvious from the objectives that this is not the traditional first circuit course in a typical Electrical Engineering program. Also note worthy is that only the first two sets of objectives are written out in detail. The objectives indicate things that the student must be able to do at the end of the course.

It is pertinent to call the reader's attention to the entries in the instructional objective Table 1. The writing of instructional objectives or course objectives is an elaborate exercise that takes a lot of time. Generally, the instructional objectives are divided into weekly activities and entered into the course calendar.

The basic outline of the course consists of Content Building Blocks (Table 2).

2. Course Content Building Blocks

Content	Circuits Analysis
AC Fundamentals	BK/ AP
DC Fundamentals	BK/ AP
Circuit Theorems	BK/ AP
Complex Numbers	BK/ AP
Energy Storage Elements	BK/ AP
Transients	BK/ AP
AC Power Analysis	BK/ AP
Three-Phase Circuits	BK/ AP
Magnetically Coupled Circuits	BK/ AP
AC Steady-State Analysis	BK/ AP
Analog Filters	BK/ AP
Fourier Transforms	BK/ AP
Laplace Transforms	BK/ AP

BK = Basic Knowledge

AP = Application

Some helpful strategies for establishing education objectives for on line courses are:

- a) Establishing online threaded discussions that deal specifically with assignments and projects;
- b) Establishing course projects that:
 - require problem finding and problem solving, not only the rote memorization of facts and information; and
 - challenge everyday thinking to address diverse perspectives on issues;
- c) Establishing learning outcomes that translate to and have lasting benefit to real-world practice.

Create conditions for a knowledge sharing community to emerge and create as many opportunities for others to learn your infrastructure for knowledge sharing.

3A. Bloom's Taxonomy of Education Objectives

Six categories of learning	(1) Knowledge / Remembering	(2) Comprehension / Understanding	(3) Application
<i>Student</i>	Simple Memory/General knowledge	Student knows and understands information.	Student knows, understands, and uses information.
<i>Computer Tool:</i>	Drill and Practice.	Visualization software, tutorials	Internet research, Databases, Spreadsheets, Simulations
<i>Internet Task:</i>	As students read articles and triangulate to determine the accuracy of facts, they learn the facts.	In order to avoid plagiarism, students must summarize information and relay it in their own words.	The use of an Internet based simulation / game would be useful here.

3B. Bloom's Taxonomy of Education Objectives

Six categories of learning	(4) Analysis	(5) Synthesis / Creating	(6) Evaluation
<i>Student</i>	Student knows, understands, uses and critically examines information.	Student internalizes information to generalize about and beyond what is known.	Student judges known and/or hypothesized information
<i>Computer Tool:</i>	Presentation Software, Visualization Software, Databases, Spreadsheets, Simulations	Presentation Software, Word Processing	Presentation Software, Word Processing, Internet Research
<i>Internet Task:</i>	During the process of triangulation, students must examine, compare and test information and ideas for accuracy and logic	When students write their report, they create a new piece of work compiling ideas and facts as well as generating conclusions.	When students write a conclusion for their report they judge among competing ideas and draw a conclusion.

The numbers in parentheses are based on the six categories of learning from Bloom's Taxonomy of Education Objectives.

Traditionally, categories (4)–(6) are considered more challenging, requiring higher level thinking skills.

As examples we considered :

- the objectives for chapter ac power analysis (1 introduction; 2 instantaneous and average power; 3 maximum average power transfer; 4 the effective value; 5 apparent power and power factor; 6 complex power; 7 conservation of ac power; 8 power factor correction; 9 applications; 9.1 power measurement; 9.2 electricity consumption cost) and the objectives (see Table 4) for the review of single-phase power and power factor correction, (• solve for the real, reactive, apparent, and complex power of a circuit and determine the power factor (leading or lagging); • use the power triangle to relate the power components of a given circuit;
- explain the purpose of performing power factor correction;
- determine the reactive power and capacitance required to obtain a specified power factor, see figure 2).

4. Objectives for chapter ac power analysis

(2) Comprehension	(3) Application	(4) Analysis
Describe (2) how the power triangle for a given circuit relates to the impedance components on the complex plane.	Solve (3) for the instantaneous power $p(t)$, average (or real) power P , reactive power Q , apparent power S , complex power S , and power factor for any of the elements of an AC circuit.	Explain (4) the physical meaning of instantaneous power, average power, reactive power, apparent power, complex power and the power factor (leading or lagging).
Describe (2) how the power triangle for a given circuit relates to the impedance components on the complex plane.	Use (3) the power triangle to describe the power components of a given circuit or element.	
Explain (2) the purpose of doing power factor correction.		

Conclusions

This paper is a synthesis that presents the conception of a project devoted to use moodle Virtual Learning Environment for the development of MOOC courses which mainly contains OER materials in order to educate the Engineering Students.

Engineering School teaching and students' learning are moving through transition processes that use education technology in support of academic work. There exists a greater acceptance of the online mode of instruction as an adjunct to learning. Nevertheless, the results of our work showed that most students preferred a moderate use of e-learning in their courses. Their positive attitude was observed towards the model of blended learning approach, and Moodle platform

did create a positive impact on students' learning experiences in terms of the accessibility of learning materials and the support of online assessment activities.

Students reported that the most valuable benefits of using Moodle platform in learning EET were the convenience of accessing the course materials and completing the online assessment tasks. Overall, the majority of the students perceived the use of course website as an opportunity to enhance their academic experience.

Although the students agreed that the hybrid learning provided them with the needed assistance, one of the drawbacks observed was that this method of delivery was prone to become a one-way communication. Responses to this study showed that the number of the students' email correspondences to the lecturers were minimum. The students were expecting to be "spoon-fed" with information, announcements and notes. Thus, a more interactive learning is needed to promote a two-way communication. Communication tools such as forum discussion and online chat room have the features that create interaction with instructors and among the peers.

However, as mentioned earlier in the study, most students are likely to participate in the learning practices only if the activities are considered as part of the evaluation of their academic performance. It is therefore necessary to assign grading procedure in e-learning activities to increase students' participation. With the improvements at these loose ends, Moodle application in Electrical Engineering will be an invaluable and imperative tool for the instructors as well as for the students.

References

1. EECS Course WEB Sites, <http://inst.eecs.berkeley.edu/classes-eecs.html>http://media.pearsoncmg.com/ph/chet/chet_electronics_student_1//.
2. J. A. Svoboda: The Electronic Teaching Assistant: the Circuit Design Lab, Interactive Illustrations and Electric Circuit Study Applets . <http://people.clarkson.edu/~jsvoboda/eta/>.
3. Špaldonová, Darina, and Milan Guzan. "Application of Excel in three-phase circuit analysis." *Acta Electrotechnica et Informatica* No 6.1,4. 2006: <http://aei.tuke.sk/papers/2006/4/Guzan.pdf>.
4. Sergiu Ivanov: e-Learning tools for Electrical Engineering, <http://em.ucv.ro/elee/ro/realisations/CircuitsElectriques/index.htm>.
5. Enache, S., Campeanu, A., Enache, M. A., & Ivanov, S. (2007). E-learning tools for education in asynchronous machines. *WSEAS transactions on advances in engineering education*, 4 (11), 238–241.
6. JAVA Applets for Electrodynamics, www.walter-fendt.de/ph14ro.
7. Learning objects that cover a broad-based electromechanical engineering program, <http://electronics.wisc-online.com/>; and <https://www.wisc-online.com/learn/technical/>.
8. Engineering Open Educational Resources, <http://guides.oer.hawaii.edu/engineeringOER>.
9. Interactive simulations, <http://phet.colorado.edu/en/simulations/translated/en>
10. Open Courseware Consortium, www.ocwconsortium.org/.

11. Online Repositories for Open Educational Resources, <http://www.cincinnati.state.edu/online/faculty-resources/online-repositories-for-open-educational-resources>.

12. MIT Open Courseware (OCW), Electrical Engineering and Computer Science, <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science>.

УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ В КОНТЕКСТІ ПРОЕКТУ CRUNT TEMPUS

**Адріан А. Адескеліцей,
Петру Тодос,
Ніколає Секрієру**

Анотація. У проекті CRUNT TEMPUS використано методи електронної педагогіки з використанням середовища навчання ІТК. Міжвузівська мережа електронного навчання Молдови використовує віртуальне середовище навчання для вдосконалення навчального процесу та навчання студентів інженерних факультетів. У статті представлені деякі методологічні елементи, які зробили свій внесок в успіх проекту TEMPUS CRUNT.

Першочергову увагу приділено веб-курсам, заснованим на методології змішаного навчання. У цій статті представлено навчальні матеріали електронного навчання для студентів інженерних факультетів, розроблених на основі Virtual Learning Environment (<http://elearning.utm.md/moodle/login/index.php>). Модель дисципліни «Електротехніка та технології (ЕЕТ)» являє собою новий підхід до вивчення електричної технології, яка представлена концепцією її вивчення в звичайному логічному порядку, але ілюструється прикладами, які можуть зацікавити студентів.

Ресурси електротехнічної дисципліни можуть бути використані викладачами і студентами технікумів, починаючи від початкового до просунутого рівня електротехніки і технології. Викладачі знайдуть надійні та якісні ресурси, включаючи відео, статті, демонстрації, робочі листи, оцінку навчання, які знаходяться в одному місці. Ресурси можуть бути знайдені за темами і стандартами. Модулі електронного навчання використовують візуалізацію електротехнічних концепцій.

Ключові слова: *потужність при несинусоїдальних режимах, вимірювання електричної потужності при синусоїдальному, несинусоїдальному, рівномірному або нерівномірному навантаженні, забруднення енергосистем гармоніками*

УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ПРОЕКТА CRUNT TEMPUS

**Адриан А. Адэскэлицей,
Петру Тодос,
Николае Секриеру**

Аннотация. В проекте CRUNT TEMPUS использованы методы электронной педагогики с использованием среды обучения ИТК. Межвузовская сеть электронного обучения Молдовы использует виртуальную среду обучения для совершенствования учебного процесса и обучения студентов инженерных факультетов. В статье представлены некоторые методологические элементы, которые внесли свой вклад в успех проекта TEMPUS CRUNT.

Первостепенное внимание уделено веб-курсам, основанным на методологии смешанного обучения. В настоящей статье представлены учебные материалы электронного обучения для студентов инженерных факультетов, разработанных на основе Virtual Learning Environment (<http://elearning.utm.md/moodle/login/index.php>). Модель дисциплины «Электротехника и технологии (EET)» представляет собой новый подход к изучению электрической технологии, которая представлена концепцией ее изложения в обычном логическом порядке, но иллюстрируется примерами, которые могут заинтересовать студентов.

Ресурсы электротехнической дисциплины могут быть использованы преподавателями и студентами техникумов, начиная от начального до продвинутого уровня электротехники и технологии. Преподаватели найдут надежные и качественные ресурсы, включая видео, статьи, демонстрации, рабочие листы, оценки обучения, которые находятся в одном месте. Ресурсы могут быть найдены по темам и стандартам. Модули электронного обучения используют визуализацию электротехнических концепций.

Ключевые слова: мощность при несинусоидальных режимах, измерения электрической мощности при синусоидальной, несинусоидальной, равномерной или неравномерной нагрузке, загрязнения энергосистем гармониками

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ С ПОМОЩЬЮ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОКИ ЧЕРТОПОЛОХА И ЭРЕМУРУСА

А. И. ИСМАНЖАНОВ, доктор технических наук
Т. ДЖ. ДЖОЛДОШЕВА, кандидат технических наук
Ч. А. АДЫЛОВ, старший преподаватель
Кыргызско-Узбекский университет, г. Ош
e-mail: anvis2012@mail.ru

Аннотация. Разработана технология брикетирования угольной мелочи с помощью связующих, полученных из эремуруса и чертополоха и с бентонитом. Приведены результаты исследований прочностных и теплотворных характеристик брикетов. Установлено, что разработанная технология позволяет получать прочные брикеты с хорошими теплотворными способностями.

Ключевые слова: технология брикетирования, угольный брикет, связующее, эремурус, чертополох, порошок, бентонит, прочность, теплотворность

Кыргызстан обладает огромными запасами угля. Ориентировочно его запасы оцениваются в 30 млрд тонн.

Значительное количество угля в виде мелочи теряется на месте добычи, при транспортировке, хранении и при сжигании на колосниковых решетках.

Одним из способов утилизации угольной мелочи является их брикетирование или гранулирование с помощью связующих.

Наиболее перспективными с точки зрения теплотворности брикетов являются органические связующие. Однако, их ресурсы ограничены. Кроме этого, например, отходы масложировой и пищевой промышленности также идут на откорм скота.

Базу органических связующих можно было бы восполнить за счет использования продуктов переработки растительности, произрастающих на территории Центральной Азии в частности, Кыргызстана.

Наши исследования показали, что для этих целей подходят дикорастущие растения – эремурус и чертополох.

С древних времен растение эремурус (рис.1) применялось для изготовления клея, используемого в столярном и сапожном деле, при изготовлении раствора для кладки кирпичей и т. д.

В корнях разных видов эремуруса содержится 27–30 % эремурина (камеди), состоящей из кальциевой соли арабиновой кислоты, которая может заменить гуммиарабик. В корнях также содержатся алое-сапорол, даукостерол и β-ситостерол, хризопланол и фталиевая кислота. Установлено, что вязкость 5 % раствора эремурина в 90 раз больше вязкости гуммиарабика [1].



Рис. 1. Эремурус на месте произрастания



Рис. 2. Чертополох

Другим растением, которое можно использовать для получения связующего вещества, является чертополох, который все больше распространяется на площадях пастбищ, вытесняя там полезные кормовые травы и кустарники и сокращая полезные площади пастбищ. Существует примерно 120 разновидностей этого растения (рис. 2) [1, 2].

Семена чертополоха содержат жирное масло (до 35 %), эфирное масло (0,08%), смолы, слизь, биогенные амины (тирамин, гистамин), флаваноно-гликаны (2,8–3,8%) – силибин, силидианин, таксифолин, силихристин; макро-элементы (мг/г) – калий – 9,2, кальций – 16,6, магний – 4,2, железо – 0,08; микроэлементы (мкг/г) – марганец – 0,1, медь – 1,16, цинк – 0,71, хром – 0,15, селен – 22,9, йод – 0,09, бор – 22,4 и др. [2, 3].



Рис. 3. Семена (а) и мука (б) чертополоха

Цель исследований – разработка и исследование технологии брикетирования угольной мелочи с помощью клеящих веществ, получаемых из листьев, семян и корней эремуруса и чертополоха, произрастающих на пастбищах Ошской области Кыргызстана в качестве связующего при брикетировании угольной мелочи.

Расход порошка эремуруса и чертополоха можно уменьшить, если в качестве дополнительного связующего использовать определенное количество бентонита, который, хотя несколько и уменьшает теплотворность брикетов, но повышает их прочность [3, 4].

Материалы и методика исследований. Для экспериментов угольная мелочь бралась из трех месторождений, расположенных на юге Кыргызстана: Кожокеленского, Алайского и Сулюктинского, отличающихся между собой как по составу, так и теплотворностью. Для брикетирования выбирали фракцию 0–1 мм, способствующую получению наиболее прочных брикетов [4]. При этом фракции, имеющие более крупный состав, измельчались на шаровой мельнице до нужного (0–1 мм) гранулометрического состава.

Блок-схема разработанной нами технологии получения угольных брикетов со связующими из продуктов переработки Эремуруса и Чертополоха с добавлением бентонитовой глины приведена на рис. 4.

Процесс подготовки связующего из эремуруса и чертополоха производится по следующей схеме: сначала выдергиваются стебли эремуруса и чертополоха с корнями и очищаются от прилипшего грунта. Встряхиванием отделяются семена, стебли и корни хорошенько высушиваются. Затем высушенные корни и стебли измельчаются в муку в шаровой мельнице. Получающийся порошок имеет фракционный состав 0–1 мм.

Добавление порошков эремуруса и чертополоха в угольную мелочь проводилось в двух его видах: первое – в сухом состоянии с последующим добавлением воды в шихту (смесь угля и порошка) и второе – в виде эмульсии, полученной кипячением порошка в воде до получения клейкого вещества.

В другой серии экспериментов в угольную мелочь, кроме порошка и эмульсии эремуруса и чертополоха, добавлялась и бентонитовая глина.

Готовая шихта прессовалась в специальных пресс-формах при давлении 6 МПа. Готовые брикеты имели диаметр 50 мм и высоту 30–35 мм (рис. 5).

Результаты исследований. Эксперименты показали, что с повышением концентраций как эремуруса, так и бентонита, прочность брикетов повышается (рис. 6, 7). Характер повышения прочности брикетов различна для различных степеней измельчения угля, от концентрации порошка эремуруса и бентонита а также от физического состояния добавляемого порошка эремуруса (в виде порошка или в виде эмульсии).

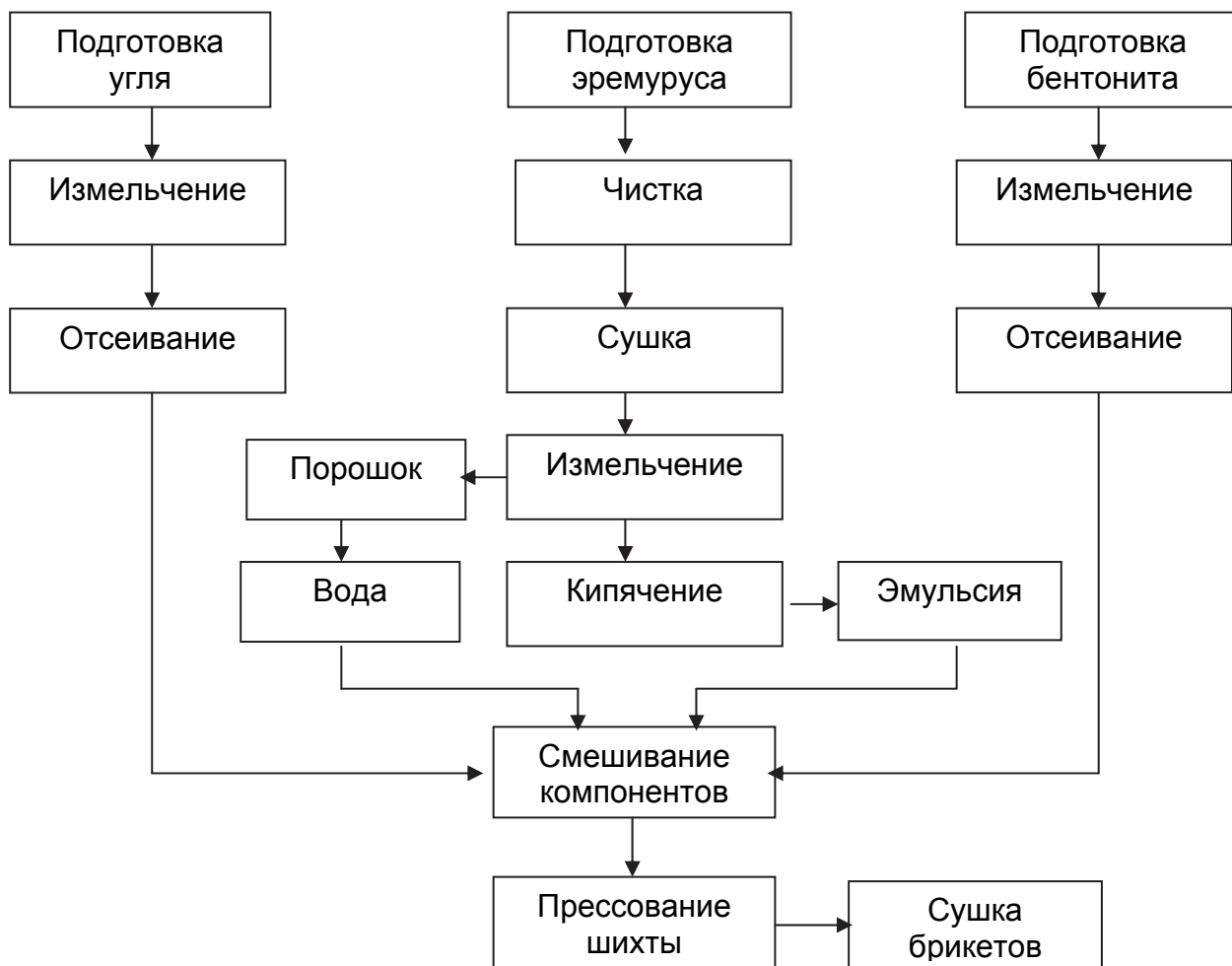


Рис. 4. Блок-схема технологии получения угольных брикетов со связующими из порошков Эремуруса, Чертополоха и бентонитовой глины



Рис. 5. Брикет из Кожокеленского угля с порошком эремуруса и бентонитовой глиной

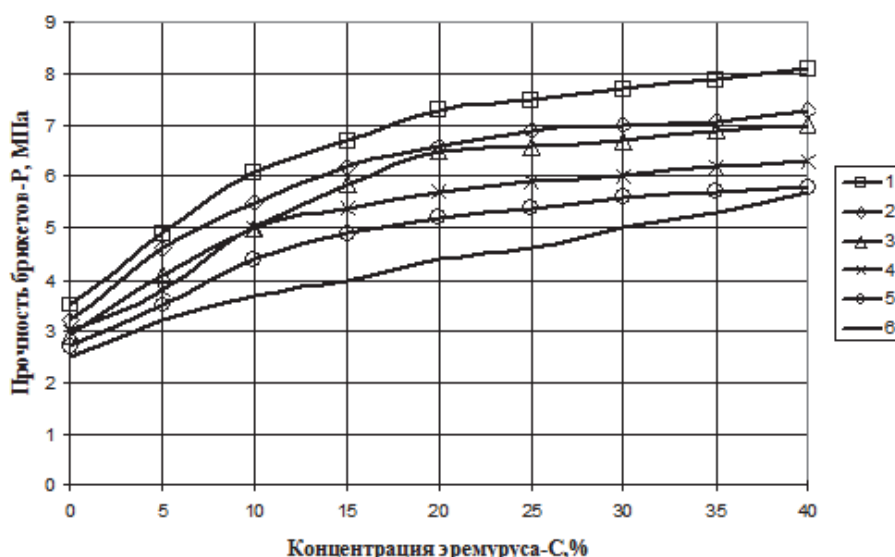


Рис. 6. Зависимость прочности брикетов с бентонитом от концентрации порошка эремуруса:

- 1 – угли кожокеленского месторождения с 10% бентонитом;
- 2 – угли кожокеленского месторождения с 7% бентонитом;
- 3 – угли сулюктинского месторождения с 7% бентонитом;
- 4 – угли алайского месторождения с 10% бентонитом;
- 5 – угли кожокеленского месторождения без бентонита;
- 6 – угли алайского месторождения без бентонита

Как видно из рисунка, прочности брикетов с ростом концентрации связующего возрастают. При концентрациях эремуруса 20–22% и более такой рост несколько снижается.

Прочность брикетов с ростом концентрации эмульсии эремуруса растет. Благодаря смачиванию угольных частиц эмульсией эремуруса достигается более полный контакт между ними, а также вытесняется воздух из их пор, возникают межмолекулярные силы взаимного сцепления отдельных частиц, конечным результатом которых является прочность получаемых брикетов.

Как видно из рис. 7, с увеличением концентрации порошка эремуруса, теплотворность брикетов линейно возрастает. Этому способствует возрастание количества органического (горючего) вещества – эремуруса в составе брикета.

При увеличении концентрации негорючего компонента (балласта) – бентонитовой глины, как и следовало ожидать, теплотворность брикетов снижается.

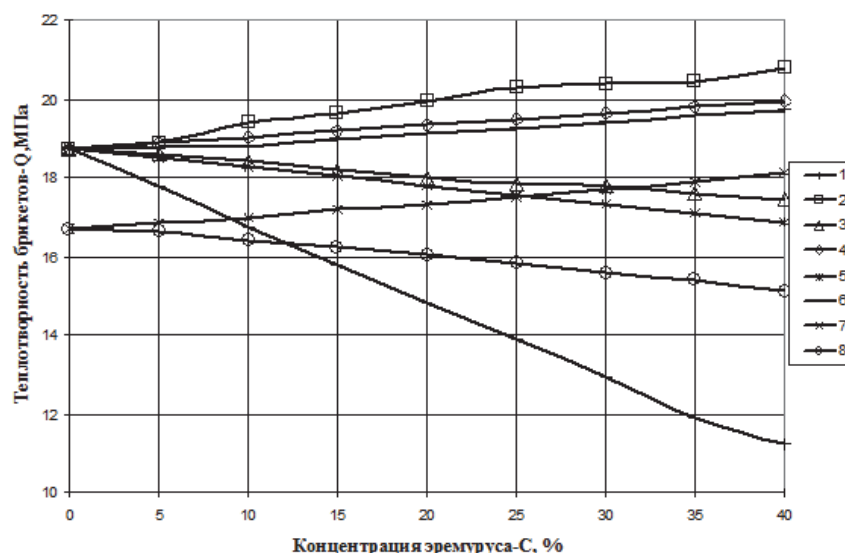


Рис. 7. Зависимости теплотворности брикетов при различной концентрации бентонита и порошка эремуруса:

- 1 – угли кожокеленского месторождения с бентонитом;
- 2 – угли кожокеленского месторождения с эремурусом;
- 3 – угли кожокеленского месторождения с 7% бентонитом без эремуруса;
- 4 – угли кожокеленского месторождения с 7% бентонитом и с эремурусом;
- 5 – угли кожокеленского месторождения с 10% бентонитом без эремуруса;
- 6 – угли кожокеленского месторождения с 10% бентонитом и с эремурусом;
- 7 – угли алайского месторождения с эремурусом;
- 8 – угли алайского месторождения с 10% бентонитом с эремурусом.

Зависимость прочности брикетов от концентрации связующего из чертополоха показана на рис. 8.

Как видно из рисунка, зависимость прочности брикетов из муки и эмульсии чертополоха имеет оптимальный характер. Более прочные брикеты получаются при добавлении эмульсии чертополоха от 15–27 %. Превышение концентрации 27% приводит к увеличению влажности шихты и не происходит ее полное сжатие.

Эксперименты показали, что с повышением концентрации эмульсии чертополоха, прочность брикетов несколько повышается (рис. 9).

Как показали наши эксперименты, использование при брикетировании эмульсии чертополоха как органического связующего выгодно. Чертополох распространен близ жилья, у дорог, на полях и пастбищах. Это сорное растение, против которого используются различные методы уничтожения: зяблевой, вспашка, лущение стерней и обработка гербицидами.

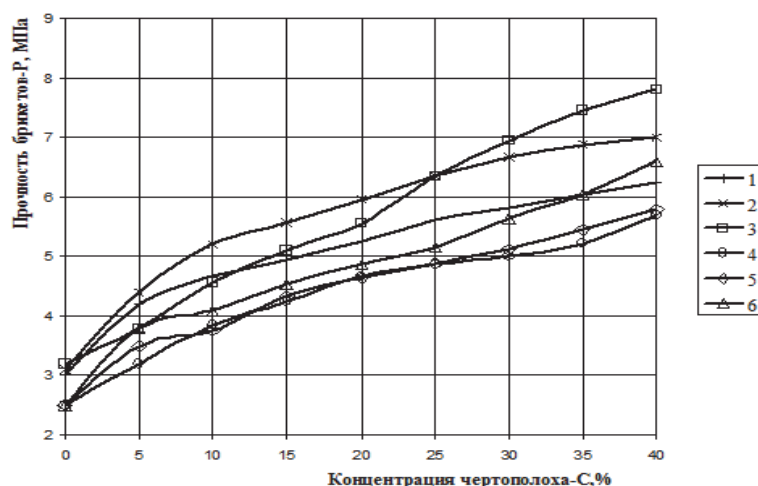


Рис. 8. Зависимость прочности брикетов из углей Алайского и Кожокеленского месторождений от концентрации связующего:

- 1 – угли кожокеленского месторождения с чертополохом (мука);
- 2 – угли кожокеленского месторождения чертополохом (эмульсия);
- 3 – угли кожокеленского месторождения с 7 % бентонитом и с чертополохом (эмульсия);
- 4 – угли алайского месторождения с чертополохом (мука);
- 5 – угли алайского месторождения с чертополохом (эмульсия);
- 6 – угли алайского месторождения с 7 % бентонитом и с чертополохом (эмульсия)

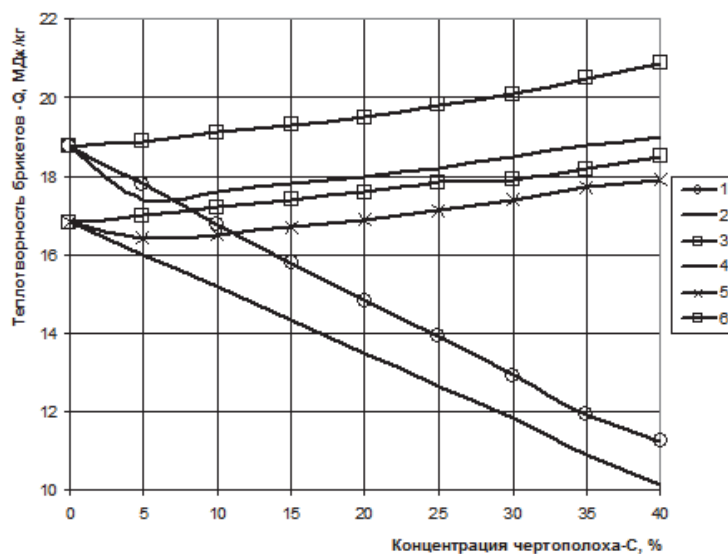


Рис. 9. Зависимость теплотворности брикетов из углей Алайского и Кожокеленского месторождений от концентрации эмульсии чертополоха:

- 1 – угли кожокеленского месторождения с бентонитом;
- 2 – угли кожокеленского месторождения с 7 % бентонитом и с чертополохом;
- 3 – угли кожокеленского месторождения с чертополохом;
- 4 – угли алайского месторождения с бентонитом;
- 5 – угли алайского месторождения с 7 % бентонитом и с чертополохом;
- 6 – угли алайского месторождения с чертополохом

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование порошка Эремуруса и Чертополоха как органического связующего вещества для брикетирования углей способствует получению прочных брикетов с хорошими теплотворными способностями.

2. Использование бентонита в качестве вспомогательного связующего позволяет уменьшить расход порошка Эремуруса и Чертополоха, получать брикеты с удовлетворительными прочностными и теплотворными характеристиками.

3. Для широкого использования порошка Эремуруса в качестве связующего необходимо расширить площади его естественного произрастания а также выращивать его в промышленных масштабах.

4. Сбор и использование Чертополоха в качестве сырья для получения связующего позволяет очистить площади пастбищ от этой сорной травы и повысить их продуктивность.

Список литературы

1. Хохряков А. П. Эремурусы и их культура / А. П. Хохряков. – М. : Наука, 1965. – 129 с.

2. Флора СССР. Т. 26 / ред. Бобров Е. Г., Черепанов С. К. – М.-Л. : АН СССР, 1963. – 656 с.

3. Васильченко И. Т. Определитель сорных растений районов орошаемого земледелия / Васильченко И. Т., Пидотти О. А. – Л. : Колос, 1975. – 375 с.

4. Исманжанов А. И. Повышение теплотворной способности брикетов / А. И. Исманжанов, Г. Дж. Джолдошева, Ч. А. Адылов // Научно-технич. конф. «Проблемы комплексного использования энергетических ресурсов Кыргызстана», посвящ. 80-летию д. т. н., проф. А. С. Джаманбаева, 20.12.13. – Бишкек : КГТУ, 2013.

5. Исманжанов А. И. Разработка технологии брикетирования угольной мелочи с помощью продуктов переработки биомассы / А. И. Исманжанов, Г. Дж. Джолдошева, Ч. А. Адылов // Международн. научн. конф. «Актуальные проблемы развития науки, образования и интеграции ВУЗов», 21.05.15. – Ош : КУУ, 2015.

6. Текенов Ж. Т. Утилизация низкосортных углей Кыргызстана окускованием с неорганическими связующими / Текенов Ж. Т., Исманжанов А. И., Джолдошева Т. Дж. – Бишкек : Илим, 2008. – 146 с.

References

1. Khokhryakov, A. P. (1965). Eremurusy i ikh kul'tura.[Eremuruses and its culture]. Moskaw, «Nauka», 129.

2. Bobrov, E. G., Cherepanov, S. K ed (1963). Flora SSSR. T. 26. [Flora USSR]. M.-L.: AN SSSR, 656.

3. Vasil'chenko, I. T., Pidotti, O. A. (1975). Opredelitel' sornykh rasteniy rayonov oroshayemogo zemledeliya [The determinant of weed areas of irrigated agriculture]. L.: Kolos, 375.

4. Ismanzhanov, A. I., Dzholdosheva, G. Dzh., Adylov, Ch. A. (2013). Povyseniye teplotvornoy sposobnosti briketov [Improving the ability of the calorific value of the briquettes]. Nauchno-tekhnich. konf. «Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya energeticheskikh resursov Kyrgyzstana», posvyashch. K 80-letiyu d.t.n., prof. A.S. Dzhamanbayeva, 20.12.13, Bishkek, KGTU.

5. Ismanzhanov, A. I., Dzholdosheva, G. Dzh., Adylov, Ch. A. (2015). Razrabotka tekhnologii briketirovaniya ugol'noy melochi s pomoshch'yu produktov pererabotki biomassy [Development of technology for briquetting fine coal using biomass products]. Mezhdunarodn. nauchn. konf. «Aktual'nyye problemy razvitiya nauki, obrazovaniya i integratsii VUZov», 21.05.15, Osh, KUU.

6. Tekenov, Zh. T., Ismanzhanov, A. I., Dzholdosheva, T. Dzh. (2008). Utilizatsiya nizkosortnykh ugley Kyrgyzstana okuskovaniyem s neorganicheskimi svyazuyushchimi [Utilization of low-grade coals Kyrgyzstan by agglomerating with inorganic binders], Bishkek: Ilim, 146.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БРИКЕТУВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ДРІБНИЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ЧОРТОПОЛОХА І ЕРЕМУРУСА

**А. І. Ісманжанов,
Т. Дж. Джолдошева,
Ч. А. Адилов**

Анотація. Розроблено технологію брикетування вугільної дрібниці за допомогою сполучних, отриманих із еремуруса і чортополоха і з бентонітом. Наведено результати досліджень міцності і теплотворних характеристик брикетів. Встановлено, що розроблена технологія дає змогу отримувати міцні брикети з гарними теплотворними здібностями.

Ключові слова: технологія брикетування, брикет, сполучна, еремурус, чортополох, порошок, бентоніт, міцність, теплотворність

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF BRIQUETTING COAL POWDERS BY LINKAGE BY WORK-ON BIOMASS OF EREMURUS AND THISTLE

**A. Ismanzhanov,
T. Dzholdosheva,
Ch. Adylov**

Abstract. Technology of briquetting coal powders with linkage by powder of Eremurus, Thistle and bentonyte are developed. Presented results of researches of the strength and calorific abilities of briquettes. Determined, that developed technology allowed to produce briquettes with good strength and calorific ability.

Keywords: *briquette technology, coal briquette, cohesive, eremurus, thistle, powder, bentonyte, strength, calorific ability*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК
ВОДООЧИСТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОТАЦИЙ UML**

А. А. КУЗНЕЦОВ, доктор технических наук
*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

В. Н. ШТЕПА, кандидат технических наук

Р. Е. КОТ, инженер

А. В. МОРГОЛЬ, инженер
*Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь
e-mail: shns1981@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена созданию программных средств решения важной научно-прикладной проблемы – разработке методов очистки сточных вод промышленных объектов. Рассмотрены существующие методы очистки воды, проанализированы их недостатки с точки зрения использования в производственных условиях в режиме реального времени. Представлена технологическая интеграция известных способов воздействия на водные растворы в одном электротехническом комплексе – системе безопасного водопользования (СБВ). На унифицированном языке моделирования UML в CASE-средстве Rational Rose построены соответствующие диаграммы, на основе которых возможен синтез интеллектуального программного обеспечения блока адаптивного управления.

Ключевые слова: производственные сточные воды, экологическая безопасность, комбинированные установки водоочистки, проектирование информационных систем

Актуальность исследований, направленных на создание метода и технических средств для качественной и эффективной очистки сточных вод производственных предприятий (лёгкая, аграрная, пищевая промышленности, гальванопроизводства) с возможностью её повторного использования в технологических процессах, подтверждается проектом программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы, где указано, что предусматривается снижение выброса загрязняющих веществ в водные объекты, повышение эффективности использования природных ресурсов, максимальное вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья со снижением негативного воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду.

На сегодняшний день из общего объема сточных вод применяются соответственно: к 68% – механические методы очистки воды, к 3% –

физико-химические методы очистки воды и к 29% – биологические методы очистки. Как показала практика внедрения систем водоочистки [1, 3, 4] действительный эффект достигается только при комбинировании разных методов.

С технологической точки зрения, разработка новых методов использования технологий водоочистки вызвана их известными эксплуатационными недостатками. Для систем, которые применяют физические (механические) методы, такими технологическими недостатками являются [2, 3]:

- возможность создания, в результате частичного засорения фильтрующих элементов, колоний бактерий на работающих средствах водоочистки (фильтры);
- накопление вредной для человека и окружающей среды отфильтрованной массы (фильтры, центрифуги, отстойники, гидроциклоны);
- исключительно проточный непрерывный режим работы (фильтры, центрифуги, гидроциклоны);
- уничтожение только самих вирусов, микробов и бактерий, а не более вредных продуктов их жизнедеятельности (ультразвук, облучение, озонирование);
- уничтожение полезной (необходимой для человека) микрофлоры (ультразвук, озонирование, облучение);
- ограниченность эффекта последствия и проникающей способности при высокой концентрации загрязнителя (озонирование, облучение, ультразвук).

Недостатки химических методов [1, 3]:

- высокая вероятность образования в результате химических реакций новых соединений, которые больше вредны для человека и окружающей среды, чем первоначальные загрязнители (все средства);
- накопление большого объема вредных комплексов "отработанный реагент + загрязнитель" (коагуляция, флокуляция);
- уничтожение полезной микрофлоры (хлорирование);
- наличие реагентного хозяйства, которое само и является загрязнителем окружающей среды (все средства).

Недостатки биологических методов [2, 5]:

- высокие требования по соблюдению технологии (температура, давление, входящий состав воды); соответственно, большие затраты энергоресурсов или остановка очистки (все средства);
- неадаптированность к существующим "залповым" выбросам химически активных вредных веществ (все средства);
- большая сложность и затратность интенсификации (ускорение) процессов очистки (вермикультура, биологические пруды).

Общим недостатком методов является то, что необходимо контролировать в режиме реального времени десятки параметров качества воды и технологических процессов, а существуют и надёжно

работают на промышленных объектах только единицы автоматизированных измерительных приборов.

Проанализировав вышеприведенное, очевидно, что для улучшения эффективности использования систем водоочистки необходимо создавать системы автоматизации с возможностью работы в условиях неопределённости и размытости входной информации.

Синтез соответствующего программного обеспечения возможен только после моделирования проблемной области, например с применением нотаций языка UML.

Цель исследований – провести проектирование программного обеспечения системы автоматизации комбинированных установок водоочистки.

Материалы и методика исследований. Базовое технологическое оборудование, для которого планируется проектирование программного обеспечения, предназначено для очистки промышленных водостоков производственных объектов. Используемая технология позволяет с помощью физических полей (ультразвук, магнитное поле, световое излучение) управлять надмолекулярной структурой водных растворов, получая на выходе установки заранее заданные параметры качества воды и/или состав извлекаемых компонентов.

Принцип действия СБВ основан на постадийной проточной переработке рабочей среды в жидкой и газообразной фазе в трех замкнутых байпасных рециркуляционных контурах в целом составляющих систему «потребитель» – «источник водоснабжения».

Очистка производится в процессе обеспечения в потоке электрокинетических процессов (рис. 1), при использовании в качестве реагента солей железа, полученных в процессе электролиза из металлической стружки (отходы металлообработки на производстве).

Для проектирования программного обеспечения используем Unified Modeling Language (UML), поскольку его методология объектно-ориентирована, в результате чего, методы описания результатов анализа и проектирования семантически близки к методам программирования на современных объектно-ориентированных языках (C#, Java). Также UML позволяет описать систему практически со всех возможных точек зрения и разных технологических аспектов поведения системы – расширяется возможность применения систем поддержки принятия решений (СППР) при синтезе структуры создаваемого продукта.

В результате анализа производственных испытаний [1, 3, 5], устанавливаем, что в проектируемой информационной системе имеются следующие актёры-люди (согласно нотации UML): инженер-технолог, дежурный оператор.

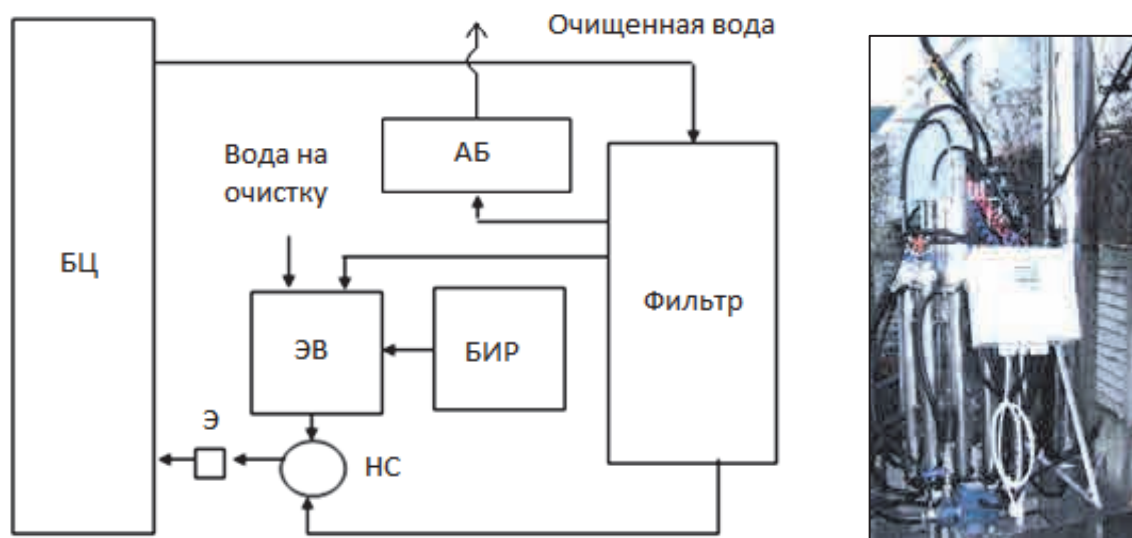


Рис. 1. Структурная схема СБВ: БЦ – блок электрогидроциклонов:
 Э – эжектор; ЭВ – электролитическая ванна; НС – насос;
 БИР – блок интенсификации реакций; АБ – анаэробный блок (без интеграции биогенератора)

Кроме них, есть актёры, соответствующие внешним системам: измерительно-аналитический комплекс, блок управления, интеллектуальный блок эффективных приёмов управления, технические средства.

Для упрощения структуры концептуальной модели примем, что локальные системы автоматизации входят в глобальный блок управления, а технические средства (физические, биологические, физико-химические) объединим в одну внешнюю систему.

Конкретные варианты использования отражаются в основном и альтернативном потоках событий (проектирование реализовано в CASE-приложении Rational Rose).

Результаты исследований. Прецеденты, инициируемые интеллектуальным блоком эффективных приёмов управления (рис. 2):

Получать, хранить и анализировать информацию относительно процессов водоочистки, с возможностью доступа к данным инженера-технолога. Систематически получать информацию с измерительно-аналитического комплекса; на основе блока синтезируется и функционирует база данных протекания процессов водоочистки.

Рассчитывать ресурсоэффективные значения настроек параметров технических средств водоочистки. С использованием интеллектуальных технологий, например, нейронных сетей, когнитивных моделей и сетей Петри, определять в режиме реального времени ресурсоэффективные значения настроек технических средств водоочистки.

Передать рассчитанные ресурсоэффективные значения на блок управления. Систематически передавать значения настроек на блок управления.



Рис. 2. Прецеденты интеллектуального блока эффективных приёмов управления

Прецеденты технических средств водоочистки (рис. 3):

– *Реализовывать ресурсоэффективные режимы водоочистки.* Обеспечение технологических режимов работы водоочистки, которые определены интеллектуальным блоком эффективных приёмов управления.

– *Регистрировать и передавать на блок управления информацию о техническом состоянии средств водоочистки.* С помощью штатных измерительных приборов регистрировать состояние номенклатуры оборудования водоочистки.

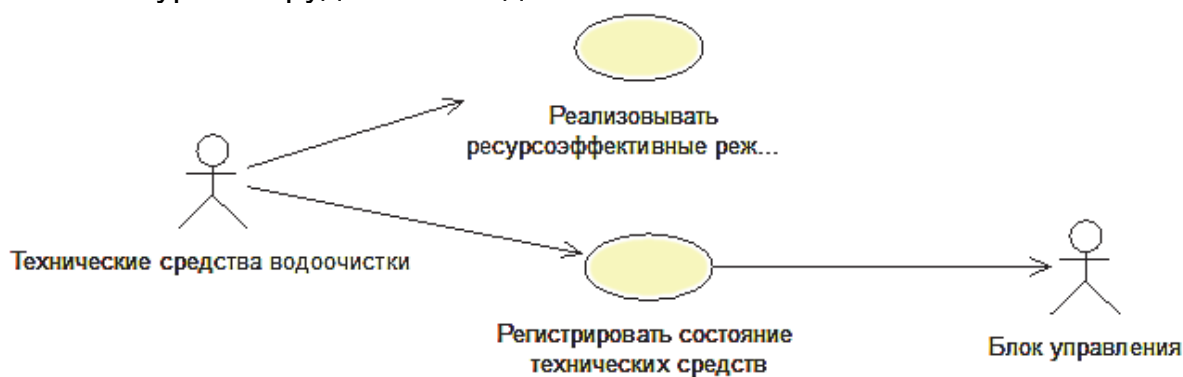


Рис. 3. Прецеденты технических средств водоочистки

Поскольку комбинированную систему водоочистки можно считать состоящей из нескольких способов водоочистки, класс “система водоочистки” моделируется как составной, включающий физическую, биологическую и физико-химическую установки. В модели это будет представлено с помощью иерархии обобщения/специализации (рис. 4).

При этом каждый класс “технические средства” агрегирует в себя класс “контроллер” и определенное количество (больше одного) “измерительный блок состояния оборудования”.

Между классами “блок управления”, “дежурный оператор” и “интеллектуальный блок” имеется двунаправленная ассоциация. Однонаправленная ассоциация связывает “измерительно-аналитический комплекс” и “блок управления”. Таким же образом соединены “измерительно-аналитический комплекс” и “интеллектуальный блок”. При этом “измерительно-аналитический комплекс” агрегирует: “блок измерения технологических параметров”, “блок преобразования сигналов” и “блок нетехнологической информации”.

Для эффективности работы и сохранения характеристик “интеллектуальный блок” агрегирует “вычислительный модуль” и “базу данных”.

“Инженер-технолог” концептуально определяет работу “интеллектуального блока” и при этом пользуется результатами его работы. Связь между “инженером-технологом” и “дежурным оператором” реализуется с помощью двунаправленной ассоциации. Множественность между классами определена согласно технологического анализа из соображений обеспечения автоматизации производственных процессов [4].

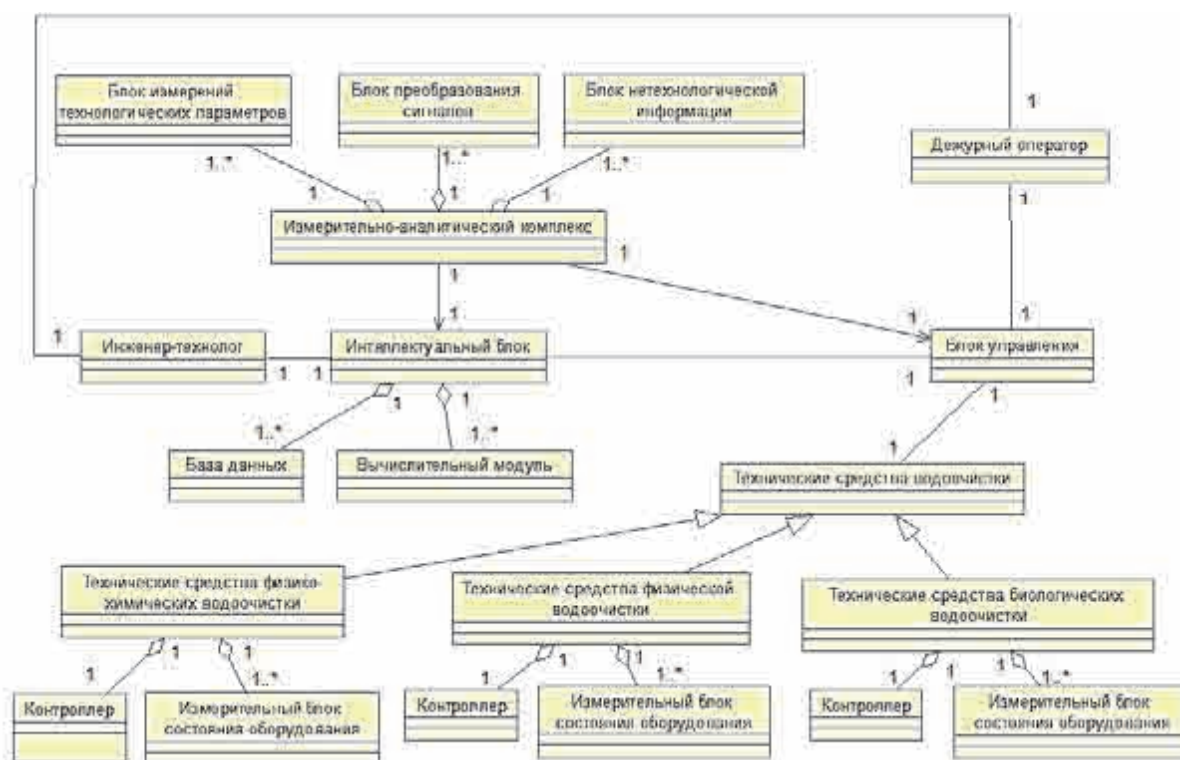
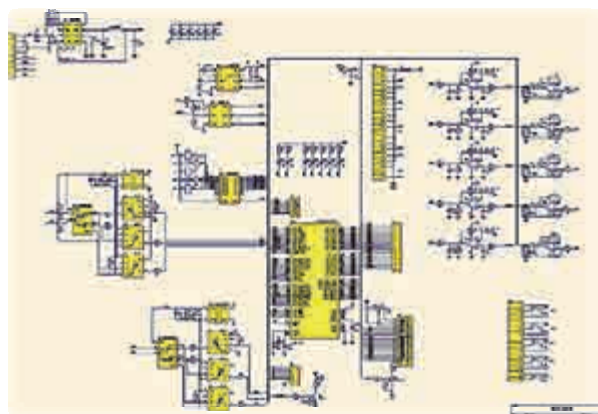


Рис. 4. Концептуальная статическая модель системы рационального управления комбинированными установками водоочистки

Разработанная система с нейросетевым модулем управления (рис. 4), аппаратная часть реализована на базе микропроцессора AtMega (рис. 5), проходит производственную проверку на ООО «Системная инженерия», где

СБВ обеспечивает очистку сточных вод лакокрасочного производства до норм повторного использования в производственных процессах: на протяжении месяца эксплуатации энергоэффективность данного технологического процесса улучшилась на 16%, что подтверждает адекватность спроектированной структуры системы управления и верность выбора функциональных блоков (связей между ними).



А)



Б)

Рис. 5. Микропроцессорная система управления СБВ:
А – принципиальная электрическая схема, Б – внешний вид

Выводы

С учётом многофакторности и размытости входной информации в процессе синтеза программного обеспечения систем автоматизации комбинированных установок водоочистки, рационально изначально провести проектирование (моделирование) концептуальной структуры информационной системы на универсальном языке UML, что повысит надёжность и структурную устойчивость создаваемого программного продукта.

Список литературы

1. Гончаров Ф. І. Експериментальні дослідження електролізних процесів у водних розчинах із миючими засобами / Ф. І. Гончаров, В. М. Штепа, А. П. Левчук [та ін.] // Енергетика і автоматика. 2012. – № 1 (11).
2. Гончаров Ф. І. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій / Ф. І. Гончаров, В. М. Штепа // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2012. – Вип. 16 (30). – Кн. 2. – С. 97–104.
3. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В. М. Штепа // Енергетика і автоматика. – 2012. – 1 (11).
4. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очистки стічних вод промислових об'єктів / В. М. Штепа //

Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНУТСГ. – 2014. – Вип. 154. – С. 48–50.

5. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 259–265.

References

1. Honcharov, F. I., Shtepa, V. M., Levchuk, S.V. [ta in.] (2012). Eksperymentalni doslidzhennia elektroliznykh protsesiv u vodnykh rozchynakh iz [Experimental studies electrolysis processes in aqueous solutions of detergents]. Enerhetyka i avtomatyka, 1, 11.

2. Honcharov, F. I., Shtepa, V. M. (2012). Metodolohiia pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky ob'ektiv ahropromyslovoi ta kharchovoi industrii [Methodology improve the environmental safety of agricultural and food industry]. Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniky i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske: UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho, 16 (30), 2, 97–104.

3. Shtepa, V. M. (2014). Obhruntuvannia alhorytmu eksperymentalno-analitychnykh doslidzen rezhyviv elektrotekhnichnoi ochystky stichnykh vod ahropromyslovykh ob'ektiv z metoiu pobudovy enerhoefektyvnykh system upravlinnia [Justification algorithm experimental and analytical studies of electrical regimes agricultural wastewater treatment facilities to build energy-efficient control systems]. Enerhetyka i avtomatyka, 1 (11).

4. Shtepa, V. M. (2014). Obhruntuvannia arkhitektury systemy upravlinnia kompleksnymy metodamy ochystky stichnykh vod promyslovykh ob'ektiv [Justification architectural complex management methods wastewater of industrial plants]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, 154, 48–50.

5. Shtepa, V. M. (2014). Otsinka enerhetychnykh kharakterystyk protsesiv ochyshchennia stichnykh vod ahropromyslovykh pidpriemstv elektrotekhnichnymy kompleksamy [Energy performance assessment processes sewage of agricultural enterprises by electrotechnical complexes]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, 194 (3), 259–265.

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОМБІНОВАНИХ УСТАНОВОК ВОДООЧИСТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НОТАЦІЙ UML

**А. А. Кузнєцов,
В. М. Штепа,
Р. Є. Кот,
А. В. Морголь**

Анотація. *Стаття присвячена створенню програмних засобів вирішення важливої науково-прикладної проблеми – розробки методів очищення стічних вод промислових об'єктів. Розглянуто існуючі методи очищення води, проаналізовано їх недоліки з точки зору використання в виробничих умовах у режимі реального часу. Представлено*

технологічну інтеграцію відомих способів впливу на водні розчини в одному електротехнічному комплексі – системі безпечного водокористування (СБВ). На уніфікованій мові моделювання UML в CASE-засобі Rational Rose побудовані відповідні діаграми, на основі яких може бути здійснений синтез інтелектуального програмного забезпечення блоку адаптивного керування.

Ключові слова: *виробничі стічні води, екологічна безпека, комбіновані установки водоочищення, проектування інформаційних систем*

SOFTWARE SYSTEMS DESIGN OF AUTOMATION SYSTEMS COMBINED WATER TREATMENT USING UML NOTATION

**A. Kuznetsov,
V. Shtepa,
R. Kot,
A. Morgol**

Abstract. *The article is devoted to the creation of software solutions an important scientific and applied problem – the development of sewage treatment facilities of the industrial methods. The existing water treatment methods, their shortcomings are analyzed in terms of use in a production environment in real time. The technological integration of the known methods of exposure to aqueous solutions in one electrical complex – safe water system (SWT). On the unified modeling language UML CASE-tool Rational Rose constructed the corresponding chart on the basis of which the possible synthesis of intelligent software adaptive control unit.*

Keywords: *industrial waste water, environmental safety, combined installation of the water purification, systems design*

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

В. В. КОЗИРСЬКИЙ, доктор технічних наук
В. В. САВЧЕНКО, кандидат технічних наук
О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук
e-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. Проведено дослідження зміни водопоглинання насіння пшениці під дією магнітного поля. Встановлено залежності водопоглинання зерна від характеристик магнітного поля.

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

Передпосівна обробка насіння зернових культур у магнітному полі – енерго- та ресурсозберігаюча технологія, яка дає можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур та якість продукції.

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

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

Мета досліджень – встановлення впливу магнітного поля на водопоглинання насіння.

Матеріали і методика досліджень. Якщо мембрана розділяє два розчини різної концентрації, то, залежно від її проникності, будуть проходити або розчинник, або розчинена речовина, і в результаті процесу дифузії відбувається вирівнювання концентрації [4].

Якщо два розчини різної концентрації розділені мембраною, то вирівнювання концентрації може досягатися за рахунок дифузії молекул води. Молекули води переміщуються в розчин з більшою концентрацією речовини, оскільки мембрана є непроникною для розчиненої речовини [5].

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

Експериментальні дослідження проводилися з пшеницею сорту «Наталка». Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, що створювалося постійними магнітами.

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0–0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху

насіння через магнітне поле регулювали за допомогою перетворювача частоти струму.

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

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

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

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

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

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

$$\frac{C_1 V}{V + \Delta V} = \frac{C_2 V}{V - \Delta V}, \quad (2)$$

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

Із рівняння (2) отримаємо

$$(C_1 - C_2)V = (C_1 + C_2)\Delta V, \quad (3)$$

звідки

$$\Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (4)$$

Процес дифузії води через мембрану описується законом Фіка:

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

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

ΔL – товщина мембрани, м.

Звідси маємо:

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

або

$$\frac{\Delta L^2}{D} \frac{d\Delta V}{dt} + \Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (7)$$

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

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

Звідси водопоглинання клітини:

$$\Delta m = \rho \Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V \left(1 - e^{-\frac{D}{\Delta L^2} t} \right), \quad (9)$$

де ρ – густина води, кг/м^3 .

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

$$D = k_{\partial} a^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (10)$$

де k_{∂} – коефіцієнт, с^{-1} ;

a – міжатомна відстань, м;

E_a – енергія активації дифузії, Дж;

k – стала Больцмана, Дж/К;

T – абсолютна температура, К.

При дії магнітного поля розмір пори в мембрані зростає і буде становити $a + K_m \frac{\Delta B}{\Delta L}$, де B – магнітна індукція, K_m – коефіцієнт.

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

$$\Delta m = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \rho V \left(1 - e^{-\frac{k_{\partial} (a + K_m \frac{\Delta B}{\Delta L})^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}}{\Delta L^2} t} \right). \quad (11)$$

Експериментально встановлено, що при зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл, водопоглинання насіння пшениці зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися (рис. 1). Встановлено, що

при магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, водопоглинання змінюється неістотно і становить для насіння пшениці 11,5 % (у контролі – 8,2 %).

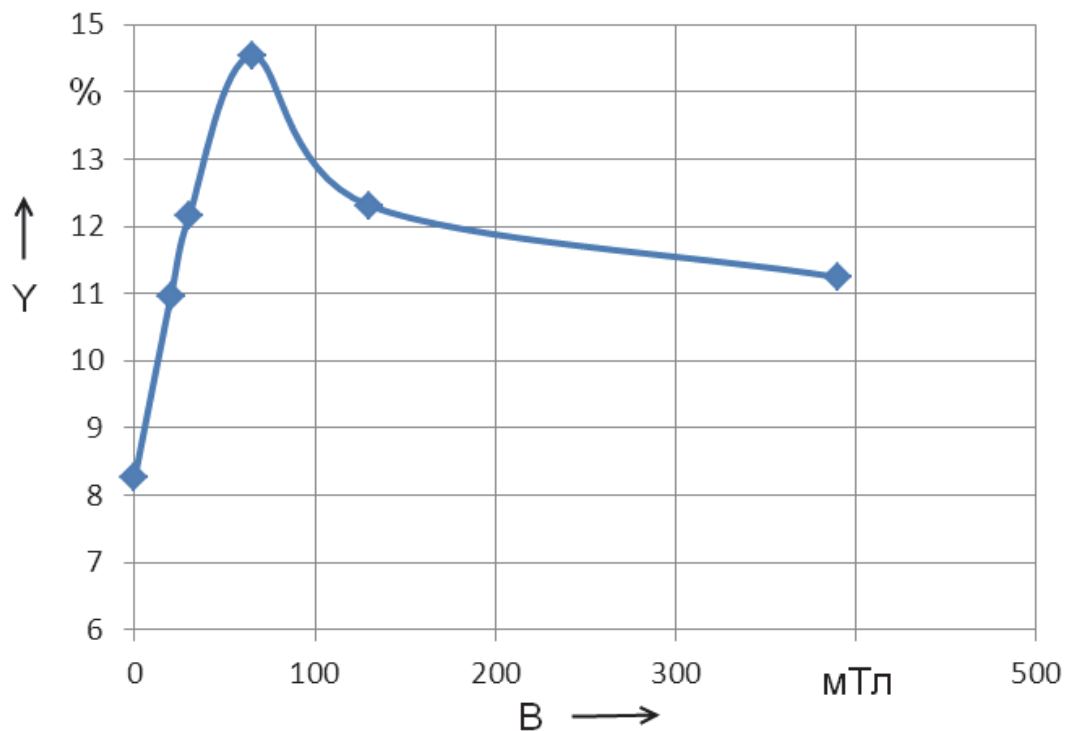


Рис. 1. Залежність питомого водопоглинання насіння пшениці від магнітної індукції

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

$$Y = 8,894 + 154,53B - 1,028v - 33,333Bv - 844,181B^2. \quad (12)$$

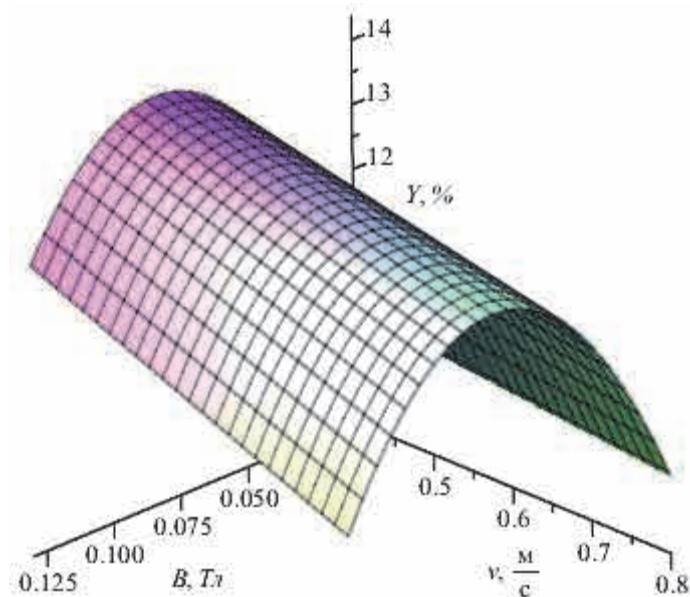


Рис. 2. Зміна питомого водопоглинання при обробці насіння пшениці в магнітному полі

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

Висновки

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

Список літератури

1. Сидорцов И. Г. Повышение эффективности воздействия постоянного магнитного поля на семена зерновых культур при их предпосевной обработке : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» / И. Г. Сидорцов. – Зерноград, 2008. – 18 с.
2. Агрохимия / [Ягодин Б. А., Смирнов П. М., Петербургский А. В. и др.] ; под ред. Б. А. Ягодина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1989. – 639 с.
3. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки / Д. Кларксон. – М. : Мир, 1978. – 368 с.
4. Козырский В. В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В. В. Козырский, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 2 (15). – С. 16–19.
5. Козирський В. В. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння / В. В. Козирський, В. В. Савченко, О. Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 1. – С. 16–20.
6. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М. : Наука, 1976. – 278 с.

References

1. Sidortsov, I. G. (2008). *Povysheniye effektivnosti vozdeystviya postoyannogo magnitnogo polya na semena zernovykh kul'tur pri ikh predposevnoy obrabotke* [Improving the efficiency of the impact of a constant magnetic field on crops seed at their pre-treatment]. Zernograd, 18.
2. Yagodin, B. A., Smirnov, P. M., Peterburgskiy, A. V. i dr. (1989). *Agrokhimiya* [Agrochemicals] ; pod red. B. A. Yagodina. Moskow: Agropromizdat, 639.
3. Klarkson, D. (1978). *Transport ionov i struktura rastitel'noy kletki* [Transport of ions and the structure of the plant cell]. Moskow: Mir, 368.
4. Kozyrskiy, V. V., Savchenko, V. V., Sinyavskiy, A. Y. (2014). *Vliyanie magnitnogo polya na diffuziyu molekul cherez kletochnuyu membranu semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The influence of magnetic field on the diffusion of

molecules through the cell membrane of seed crops]. Vestnik VIESKH, 2 (15), 16–19.

5. Kozyrskyi, V. V., Savchenko, V. V., Sinyavskyi, O. Y. (2014). Vplyv mahnitnoho polia na vodopohlynannia nasinnia [The influence of magnetic field on water absorption of seeds]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 194 (1), 16–20.

6. Adler, Y. P., Markova, E. V., Granovskiy, Y. V. (1976). Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [The planning of experiment in the search for optimal conditions]. Moscow: Nauka, 278.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

**В. В. Козырский,
В. В. Савченко,
А. Ю. Синявский**

Аннотация. Проведено исследование изменения водопоглощение семян пшеницы под действием магнитного поля. Установлены зависимости водопоглощение зерна от характеристик магнитного поля.

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

EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON WATER ABSORPTION OF CEREAL SEEDS

**V. Kozyrsky,
V. Savchenko,
A. Sinyavsky**

Abstract. The changes in water absorption of wheat seeds under the influence of a magnetic field was carried out. The dependences of the water absorption of the wheat from the magnetic field characteristics was established.

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

КОНТРОЛЬНІ КАРТИ В СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДАХ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ

Л. О. ВЛАСЕНКО, кандидат технічних наук

e-mail: vllida@yandex.ru

А. П. ЛАДАНЮК, доктор технічних наук

Національний університет харчових технологій

e-mail: ladanyuk@ukr.net

Анотація. *Наведено результати аналізу та синтезу автоматичних систем регулювання об'єктами харчової промисловості. Для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів харчової промисловості запропоновано використовувати методи статистичного керування. Наведено результати використання контрольних карт, побудованих в програмному пакеті STATISTICA.*

Ключові слова: *статистичне керування, статистична діагностика, контрольна карта, розподіл, вибірка, неполадка*

Більшість сучасних автоматичних систем регулювання (АСР), встановлених на виробництвах харчової промисловості, базуються на використанні стандартних регуляторів. До основних недоліків таких систем належать: відносна інерційність, деяке запізнення процесу регулювання, необхідність параметричного, а інколи навіть і структурного, коригування пристрою керування через зміну зовнішніх і внутрішніх збурень, що діють на об'єкт регулювання. В умовах високої конкуренції та стрімкого технічного розвитку, для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів харчових виробництв активно впроваджують багатовимірні оптимальні регулятори [1], нейромережеві регулятори, сценарні підходи, когнітивні карти, методи та способи синергетики тощо. Особливістю застосування вищезазначених підходів є обов'язкова розробка адекватної математичної моделі об'єкта керування, що зазвичай пов'язано з великою кількістю проблем, починаючи від суттєвих часових обмежень на її отримання, можливістю організації проведення пасивного або активного експерименту і закінчуючи складністю встановлення залежностей між параметрами.

Використання статистичних методів при керуванні суттєво підвищує його ефективність, оскільки не потребує попереднього і обов'язкового виводу та використання математичних моделей і забезпечує оперативну оцінку стану системи та швидке коректне реагування на ситуацію, що склалася.

Аналіз публікацій з даної тематики свідчить про те, що напрям використання статистичних методів при керуванні технологічними комплексами активно розвивається в різних напрямках і є так само злободенним, як це зазначав ще Д. Хіммельблау [2]. В умовах сучасної

промисловості оцінка якості продукту та напівпродукту на всіх стадіях виробництва займає провідне місце при оцінці ефективності роботи підприємства, оскільки, якісна кінцева продукція за мінімальних витрат забезпечує високі прибутки підприємства. Для оперативного визначення якості продукції та виявлення на ранніх стадіях неполадок, для дискретних процесів успішно використовують методи одно- та багатомірного статистичного контролю процесів [3], зокрема одномірні та багатомірні контрольні карти [4, 5]. Для неперервних технологічних процесів контроль якості за допомогою статистичних методів є не менш актуальним, але гірше дослідженим.

Мета досліджень – підвищення ефективності функціонування АСР шляхом використання методів статистичної діагностики.

Матеріали і методика досліджень. На прикладі опрацювання числових даних роботи випарної станції цукрового заводу показано виявлення неполадок технологічного процесу на ранніх стадіях за допомогою різних типів контрольних карт.

Результати досліджень. На практиці більшість порушень нормального ходу технологічних процесів виявляються операторами при простому візуальному спостереженні. Успішність регулювання при цьому залежить від його досвіду, кваліфікації і того, наскільки сумлінно він виконує свою роботу [6]. При цьому необхідно зважати на ряд проблем, що виникають:

- оператор одночасно повинен реагувати на зміну великого обсягу оперативної інформації;
- виявлення порушень оператор проводить безсистемно, часто інтуїтивно, інколи випадково;
- оскільки оператор ідентифікує порушення на основі свого попереднього досвіду, він може визначити проблему невчасно або взагалі звернути на неї увагу занадто пізно, якщо подібна ситуація для нього нова чи невідома;
- через монотонність роботи увага оператора знижується, що може призвести до невчасного реагування на появу порушення;
- зазвичай оператор орієнтується на власний набір ознак, за якими визначає появу небезпечної ситуації і які спонукають його до дій;
- головну мету при виявленні порушення оператор вбачає в упередженні зменшення виробництва продукції, а не в оперативному виявленні й усуненні «проблемного» місця;
- існує складність щодо оперативного визначення ситуації, що склалася, як неполадки або тимчасового викиду;
- якою б не була кваліфікація оператора, він без спеціальних методів і розрахунків не може виявити появу розлагодження технологічного процесу на ранніх стадіях.

Для усунення вищезазначених недоліків і полегшення роботи особи, що приймає рішення, доцільно використовувати підсистему підтримки прийняття рішення, що побудована на статистичних методах. Зокрема, статистичний контроль при керуванні технологічними процесами забезпечує своєчасне введення коригуючих дій: зміни настроєнь або

структури регульовального пристрою. Контрольні карти забезпечують оперативність, сигналізують про зміни в процесі, дають змогу оцінити величину зміни регульованої змінної та частоти подібних випадків, є основою для введення коригуючих впливів із урахуванням обмежень на час прийняття рішень. Контрольні карти представляють собою графічні засоби аналізу, які легко інтерпретуються та будуються у виробничих умовах в реальному часі. Також до переваг використання контрольних карт слід віднести забезпечення візуального спостереження регульованої змінної та визначення змін у технологічному процесі на ранніх стадіях [7].

Аналіз якості технологічного процесу, що підпорядковується нормальному закону розподілу, можна проводити за допомогою одновимірних карт для незалежних змінних і багатовимірних – для корельованих. Одновимірні контрольні карти Шухарта набули популярності за простоту побудови й інтерпретації, оперативне виявлення викидів. Їх особливістю є одночасний аналіз розташованих на одному листі карти, призначеної для керування за кількісною ознакою, для середнього $\bar{X}$ і карти розмахів R . Оскільки розмах характеризує міру швидкості зміни регульованої змінної, то викид на R -карті, при його відсутності на $\bar{X}$ -карті, сигналізує про виникнення проблеми ще задовго до появи сигналу тривоги при аналізі зміни середнього $\bar{X}$.

Для прикладу розглядається процес регулювання температури кипіння сиропу в першому корпусі випарної станції (ВС) цукрового заводу. Контрольні карти побудовані за допомогою програмного продукту STATISTICA [8].

Досліджувана експериментальна вибірка відповідає нормальному закону і може бути використана для статистичного контролю. Основні статистичні характеристики вибірки наведені в табл. 1.

1. Основні статистичні характеристики вибірки, що аналізується

n	$\bar{X}$	σ	Мода	Медіана	Коеф. ексцесу	Коеф. асиметрії
97	120,86	0,01	120,91	120,86	3,07	0,25

На картах Шухарта на рис. 1 для температури соку в I корпусі ВС: на $\bar{X}$ -карті, за нормального розподілу значень є викид за нижню контрольну межу, що є сигналом появи неполадки, тобто відхилення від прийнятої області значень спостережної змінної, та необхідності введення коригуючих дій.

Контрольні межі не є границями, передбаченими технологічним регламентом і дають змогу уникнути регулювання змінної, коли воно не потрібно, а також збою керування у разі потреби. Вони визначаються за допомогою простих статистичних розрахунків на основі аналізу досліджуваного процесу:

$$НМК = \mu - 3\sigma, \quad (1)$$

$$ВМК = \mu + 3\sigma, \quad (2)$$

де НКМ та ВКМ – нижня та верхня контрольні межі, відповідно;

μ – загальне вибіркове середнє;

σ – дисперсія;

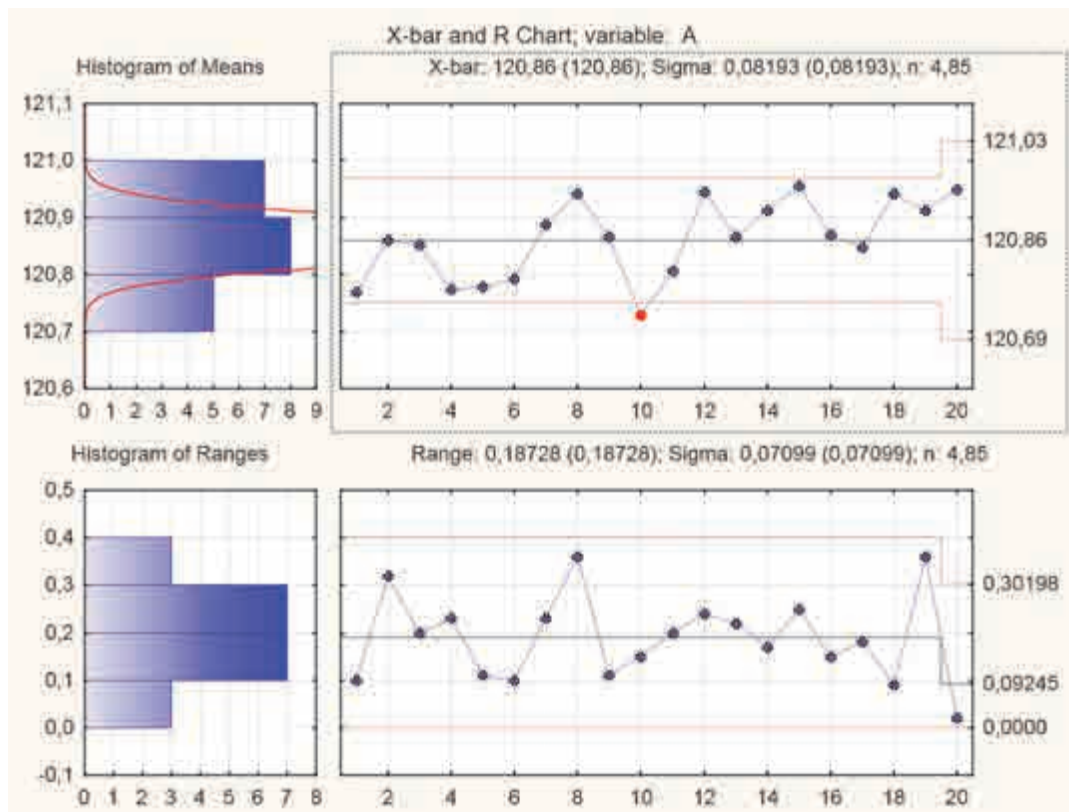


Рис. 1. Контрольні карти Шухарта для температури сиропу в I корпусі ВС

Після нанесення на контрольні карти верхнього (USL) і нижнього (LSL) граничних допусків протікання технологічного процесу, згідно з регламентом ($\pm 1^\circ\text{C}$), видно, що викид спонукає оператора звернути увагу на появу тривоги задовго до того, як змінна вийде за межі технологічних контрольних границь, адже процес у цілому статистично керований (рис. 2).

Для оцінки адекватності отриманого результату побудовано та проаналізовано комплексний графік (рис. 3), що містить контрольні карти Шухарта, з урахуванням граничних допусків, передбачених технологічним регламентом, і показники придатності.

У нижньому лівому куті (рис. 3) розташовано графік окремих спостережень за вимірами температури в I корпусі ВС. Як видно з графіка, усі значення лежать усередині коридора допусків, отже, жодне вимірювання не свідчить про вихід значення температури кипіння сиропу за допустимі технологічні межі й навіть в 10 вимірюванні, яке на X-карті характеризується викидом, не було жодного критичного значення регульованого параметра. Це свідчить про те, що є якась інша причина, через яку виник сигнал тривоги і оператору необхідно коректно відреагувати на його появу.

Візуальна оцінка нормального ймовірнісного графіка, що розташований в правому верхньому куті рис. 3, свідчить про те, що вибірккові дані підпорядковуються закону нормального розподілу й коригування не потрібні.

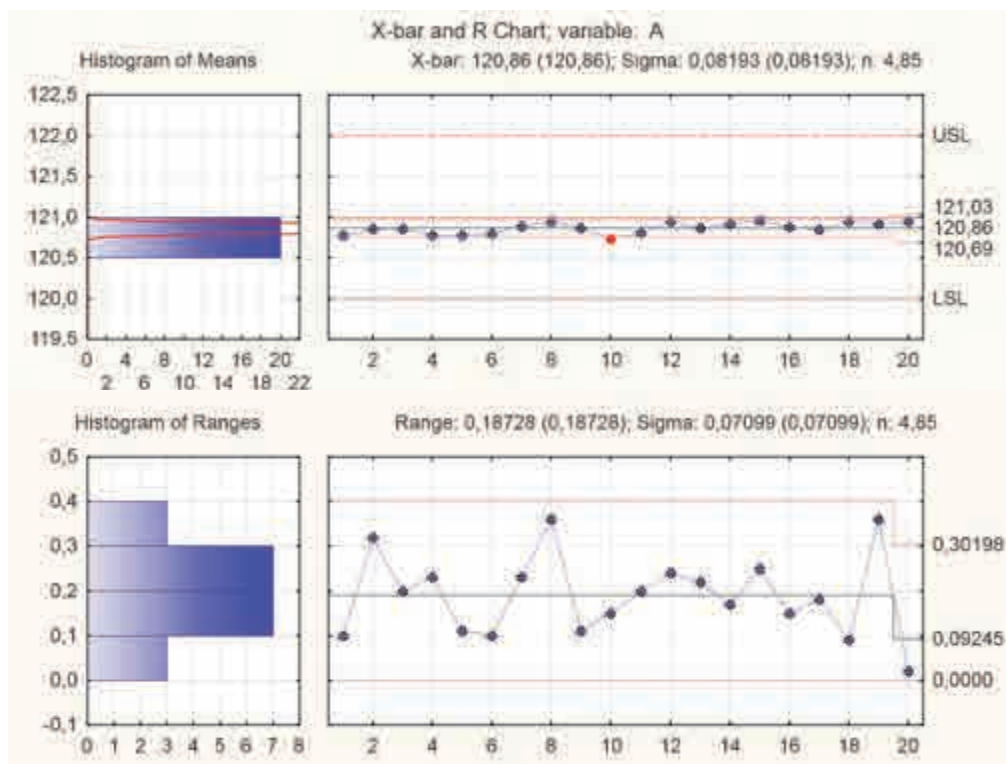


Рис. 2. Контрольні карти Шухарта для температури сиропу в I корпусі ВС з границями, передбаченими технологічним регламентом

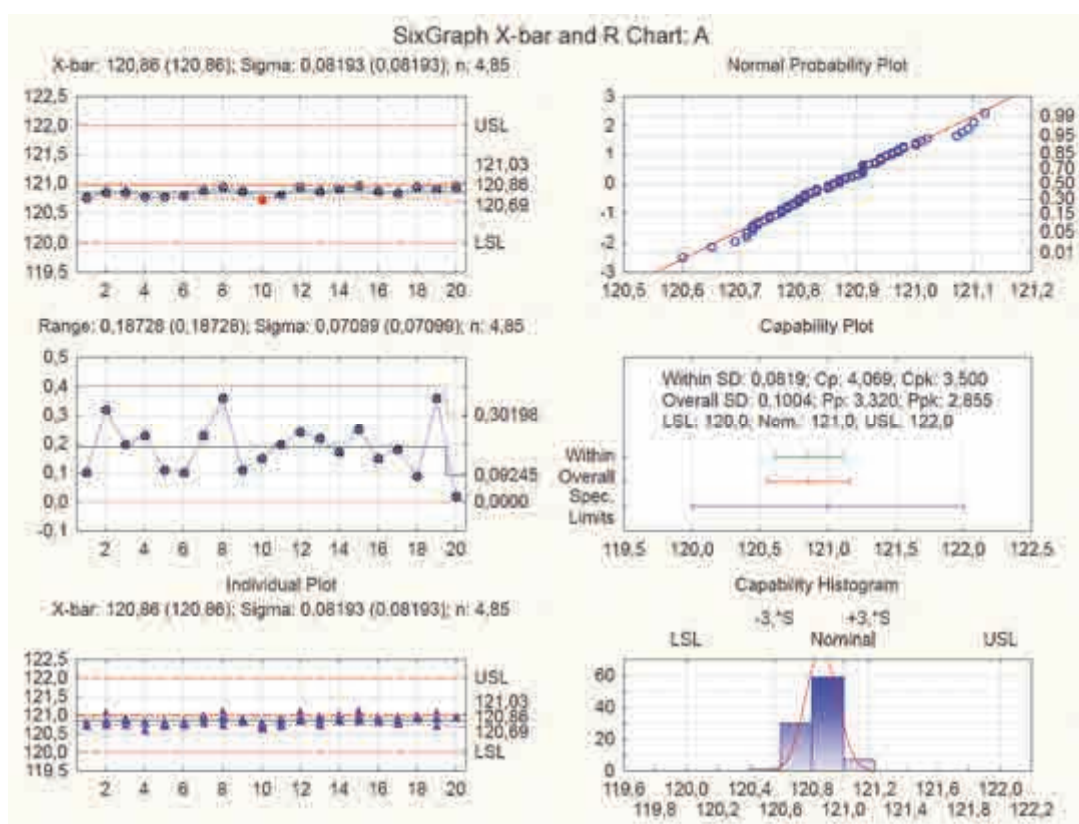


Рис. 3. Комплексний графік для температури сиропу в I корпусі ВС з границями, передбаченими технологічним регламентом

Графік придатності роташований справа всередині на рис. 3. На ньому можна побачити індекси придатності процесу, які виражають (у вигляді відношення), яка частина значень регульованої технологічної змінної, отриманих в межах поточного виробничого процесу, за своїми характеристиками потрапляє у визначені технологічним регламентом межі (зокрема, технологічні граничні допуски).

Найпоширенішим індексом придатності є індекс C_p , який розраховується за формулою:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

Якщо розподіл регульованої змінної підкоряється нормальному закону і процес абсолютно точно центрований (тобто середнє значення процесу відповідає положенню центральної лінії на контрольній карті), то цей індекс інтерпретується як частина стандартної кривої нормального розподілу (ширина процесу), яка знаходиться всередині коридору допустимих значень за технологічним регламентом. Для "придатного" процесу індекс C_p повинен бути більше за 1. У разі нецентрованого процесу, замість індексу C_p використовується уточнений індекс C_{pk} . Для досліджуваного процесу середнє значення процесу несуттєво зміщене відносно положення центральної лінії (на графіку центр зеленої прямої, що відповідає 6σ зміщене відносно центра синьої прямої, що відповідає граничним допускам), тому необхідно щоб було $C_p > 1$, $C_{pk} > 2$ – це означає, що для того, щоб можна було очікувати потрапляння більше, ніж 99% усіх регульованих значень температури кипіння сиропу в I корпусі ВС в межах регламентованих технологічних допусків, величина інтервалу між контрольними межами планових значень повинна перевищувати 6σ . У розглянутому випадку $C_p = 4,069 > 1$, $C_{pk} = 3,5 > 2$, згідно з табличними даними, кількість очікуваних «дефектів» на мільйон виміряних значень регульованої змінної повинна бути менше за 1.

Висновки

У роботі показано доцільність та переваги використання одномірних контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технологічному процесі на ранніх стадіях для подальшого введення коригувальних дій. Оцінка показників придатності, на прикладі роботи ВС, свідчить про адекватність результатів, відображених на контрольних картах, а доповнення АСР картами Шухарта з урахуванням того, що вони лише сигналізують про появу сигналу тривоги, але не вказують точне місце її виникнення, дасть змогу підвищити ефективність роботи технологічного комплексу.

Список літератури

1. Луцька Н. М. Розробка багатовимірних оптимальних регуляторів для випарної станції цукрового виробництва, що функціонує в умовах інтервальної невизначеності / Н. М. Луцька, Л. О. Власенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – К. : НУХТ, 2013. – № 52. – С. 48–61.

2. Клячкин В. Н. Программное обеспечение многомерного статистического контроля процесса с учетом погрешностей измерений / В. Н. Клячкин, В. А. Сафин, Ю. К. Сагдеева, А. А. Сидякина // Информатика и вычислительная техника : сб. научных трудов / под. ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 648–652.
3. Garcia-Diaz, A. C. (2007). The effective variance control chart for monitoring the dispersion process with missing data // European J. Industrial Engineering, 1, 1.
4. Клячкин В. Н. Управление качеством продукции на основе совершенствования методов многомерного статистического контроля процессов / В. Н. Клячкин, В. А. Сафин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – № 4 (2). – С. 537–542.
5. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах / Д. Химмельблау – Л. : Химия, 1983. – 352 с.
6. Ладанюк А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А. П. Ладанюк, Н. А. Заєць, Л. О. Власенко – К. : Ліра-К, 2016. – 312 с.
7. Власенко Л. О. Статистична діагностика процесу функціонування випарної станції цукрового заводу / Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк, М. А. Сич // Автоматизація технологічних і бізнес процесів. – Одеса : ОНАХТ, 2014. – № 2 (18). – С. 50–60.
8. Statsoft [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.statsoft.ru>.

References

1. Lutsкая, N. M., Vlasenko, L. O. (2013). Rozrobka bagatovimirnih optimalnih regulatoriv dlya viparnoyi stancii cukrovogo virobniictva, scho funkcionue v umovah intervalnoi neviznachenosti [Development of multidimensional optimal controllers for sugarmill evaporation plant which operates in interval indetermination conditions]. Scientific works of National University of food technologies, 52, 48–61.
2. Klyachkin, V. N., Safin, V. A., Sagdeeva U. K., Sidyakina A. A. (2010). Programmnoe obespechenie mnogomernogo statisticheskogo kontrolya processa s uchotom pogreshnostey izmereniy [Software multivariate statistical process monitoring with consideration of measurement errors]. Computer science: collection of scientific works / under. edited by V. N. Negoda, 648–652.
3. Garcia-Diaz, A. C. (2007). The effective variance control chart for monitoring the dispersion process with missing data. European J. Industrial Engineering, 1, 1.
4. Klyachkin, V. N., Safin, V. A. (2011). Upavlenie kachestvom produktsii na osnove sovershenstvovaniya metodov mnogomernogo statisticheskogo kontrolya processov [Product quality management on the basis of perfection of methods of the multivariate statistical control of processes]. Proceedings of the Samara scientific center by Russian Academy of Sciences, 4 (2), 537–542.
5. Himmelblau, D. (1983). Obnarugenie i diagnostica nepoladok v himicheskikh i neftehimicheskikh processah [Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes]. Leningrad, Chemical, 352.
6. Ladanyuk, A., Zaec, N., Vlasenko L. (2016). Suchasni tehnologii konstruyuvannya system avtomatizacii skladnih system (meregevi strukturi, adaptacija, diagnostika ta prognozuvannya: monografija [Modern technologies of designing of systems of automation of complex objects (network structure, adaptation, diagnostics and forecasting): the monograph]. Kiev, Lira-K, 312.

7. Vlasenko, L., Ladanyuk, A., Sich, M. (2014). [Statistical diagnostics of operating process of sugar factory evaporator plant]. Automation of technological and business processes, 2 (18), 50–60.

8. Statsoft [Electronic resource]. Available at: <http://www.statsoft.ru>.

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ В СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Л. О. Власенко,
А. П. Ладанюк**

Аннотация. Приведены результаты анализа и синтеза автоматических систем регулирования объектами пищевой промышленности. Для повышения эффективности функционирования технологических комплексов пищевой промышленности предложено использовать методы статистического управления. Приведены результаты использования контрольных карт, построенных в программном пакете STATISTICA.

Ключевые слова: статистическое управление, статистическая диагностика, контрольная карта, распределение, выборка, неполадка

CONTROL CARDS IN THE STATISTICAL ANALYSIS AND SYNTHESIS METHODS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

**L. Vlasenko,
A. Ladanyuk**

Abstract. The results of analysis and synthesis of automated control systems by food industry objects are shown in the article. It is proposed to use statistical control methods for improving efficiency of food industry technological systems. The results of control cards usage created with the help of software STATISTICA are shown.

Keywords: statistical control, statistical diagnostics, control card, set, defect

ТЕПЛОМАССОБМЕН В ПОРАХ АДСОРБЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук

Ю. Ф. СНЕШКИН, доктор технических наук

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. Проанализированы основные характеристики гетерогенных систем и процесса адсорбции. Приведено моделирование теплообмена в пористых средах. Определено производство энтропии анализируемых явлений.

Ключевые слова: адсорбция, пористая среда, адсорбционный тепловой насос, правило фаз по Гиббсу, уравнение Гиббса-Дюгема, преобразование Ханкеля и Лапласа, функция Бесселя, производство энтропии

Анализ процессов тепломассообмена в пористой среде является актуальной научной задачей.

Цель исследований – разработка метода моделирования тепломассообменных процессов в микропористых каналах адсорбционных тепловых насосов.

Материалы и методика исследований. Анализируемый объект представляет собой гетерогенную систему. В химической термодинамике гетерогенную систему обычно рассматривают как совокупность однородных фаз и используют приближенное свойство аддитивности, согласно которому экстенсивные величины для системы в целом (внутренняя энергия U , энтропия S и т. п.) равны сумме соответствующих значений этих величин для отдельных фаз [1]. При таком подходе, который имеет определенное практическое значение, исключается возможность описания поверхностных явлений, обусловленных существованием физических границ между фазами.

С другой стороны, гетерогенную систему можно рассматривать как целое, не деля ее на однородные фазы. Для n -компонентной (открытой) системы в целом будет справедливо фундаментальное уравнение

$$dU = TdS + \sum_{j=1}^k X_j dx_j + \sum_{i=1}^n \mu_i dm_i, \quad (1)$$

где U – внутренняя энергия системы;

S – ее энтропия;

T – абсолютная температура;

X_j – обобщенная сила, действующая на систему;

x_j – соответствующая ей обобщенная координата;

μ_i – химический потенциал i -го компонента;

m_j – его масса (выраженная, например, в молях).

Уравнение (1) обладает свойством фундаментальности в том смысле, какой придавал этому понятию Гиббс [2].

Результаты исследований. Из свойства аддитивности следует, что полный дифференциал любой экстенсивной функции Y гетерогенной r -фазной системы равен сумме полных дифференциалов этой функции для отдельных фаз:

$$dY = dY^{(1)} + dY^{(2)} + \dots + dY^{(r)}. \quad (2)$$

$$Y^{(1)} = \sum_{i=1}^{n^{(1)}} m_i^{(1)} \bar{Y}_i^{(1)}, \quad (3)$$

$$Y^{(2)} = \sum_{i=1}^{n^{(2)}} m_i^{(2)} \bar{Y}_i^{(2)}, \quad (4)$$

Для однородных фаз 1 и 2 можно записать уравнения Гиббса-Дюгема [3]:

$$\sum_{j=1}^{k^{(1)}} x_j^{(1)} dX_j^{(1)} + S^{(1)} dT^{(1)} + \sum_{i=1}^{n^{(1)}} m_i^{(1)} d\mu_i^{(1)} = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{k^{(2)}} x_j^{(2)} dX_j^{(2)} + S^{(2)} dT^{(2)} + \sum_{i=1}^{n^{(2)}} m_i^{(2)} d\mu_i^{(2)} = 0. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) дают связь между приращениями интенсивных переменных, характеризующих фазы.

Пористая среда широко используется в процессах аккумулирования тепла, в том числе и в адсорбционных тепловых насосах [5].

Исходная система уравнений движения для осесимметричного и стационарного случая процессов тепломассобмена записывается так:

- состояния:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r^n \rho v) = 0, \quad (7)$$

- движения в направлении координаты z :

$$\frac{\partial}{\partial z}(p\nu u) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r^n \rho \nu u) = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_e \frac{\partial u}{\partial r} \right) - f \frac{\mu_e u}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| u, \quad (8)$$

- движения в направлениях радиуса r :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z}(\rho u v) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho \nu v) = & -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_e \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \\ & - f \frac{\mu_e v}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| v - \frac{\mu_e v}{r^2} n, \end{aligned} \quad (9)$$

где u, v – компоненты скорости;

ρ – плотность;

f – параметры, определяющие степень пористости исследуемого тела;

μ_e – эффективная вязкость;

K – площадь, м²;

F – показатель интенсивности;

$|u| = (u^2 + v^2)^{0,5}$, м/с.

Уравнение энергии, если пренебречь эффектом диссипации, в силу вязкости, а также теплообмена, имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho_e c_e u T) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(\rho_e c_e r^n v T) = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_e \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n k_e \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (10)$$

где k_e , c_e , и ρ_e – соответственно эффективный коэффициент теплопроводности, эффективный коэффициент теплообмена и эффективная плотность.

Анализ теплообмена в пористых средах в адсорбционных процессах.

Можно принять, что основным процессом передачи тепла является теплопроводность. Задача формулируется следующим образом: дано ограниченный цилиндр ($-h < z < h$, $\omega < r < R$), что сначала имеет температуру, равную температуре окружающей среды T_0 . В начальный момент времени боковая поверхность цилиндра и поверхности торцов начинают нагреваться с постоянной скоростью b град/с, где $b \leq \lambda \sqrt{a}$ – коэффициент тепловой активности

(λ – теплопроводность; a – температуропроводность).

Согласно формулировке задачи, математическая модель формируется в виде двумерного уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах [4]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]. \quad (11)$$

Краевые условия записываются следующим образом:

$$T(r, z, 0) = T_0; \quad (12)$$

$$T(r, h, \tau) = T(R, z, \tau) T_0 + b\tau; \quad (13)$$

$$\frac{\partial T(r, 0, \tau)}{\partial z} = 0; \quad (14)$$

$$\frac{\partial T(0, z, r)}{\partial r} = 0. \quad (15)$$

Общее решение сформулированной задачи основывается на методе интегральных преобразований Ханкеля и Лапласа [5]:

$$T(r, z, t) - T_0 = b\tau - \frac{bR^2}{4a} \left[1 - \frac{r^2}{R^2} - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0 \left(\mu_0 \frac{r}{R} \right) ch \mu_0 \frac{z}{R}}{\mu^3 J_1(\mu_n) ch \mu_n k} \right] +$$

$$\frac{4bh^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \lambda_m \frac{z}{h}}{\mu_n J_1(\mu_n) \lambda_m (\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2)} \times \exp[-(\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2) F o_h] \quad (16)$$

В этом уравнении, кроме вышеуказанных, приняты, обозначения:
 J_0, J_1 – функции Бесселя нулевого и первого порядка первого рода:
 $k=h/R$; $Fo=a\tau/h$ – критерий Фурье; μ_n – корни характеристического уравнения:
 $J_0(\mu)=0$. (17)

С учетом (17), можно получить безразмерные зависимости для рассматриваемого процесса:

$$\frac{\theta}{PdFo} = f\left(k, \frac{r}{R}, \frac{z}{h}, Fo\right), \quad (18)$$

где $Pd = \left(\frac{d\theta}{dFo}\right)_{\max}$ – критерий Предводителя;

$\theta = \frac{T(r, z, \tau) - T_0}{T_0}$ – относительная избыточная температура в произвольной точке тела.

Выводы

Пористые среды играют существенную роль не только в области технических устройств, но и в явлениях природы, биологии [6, 7]. В статье приведено решение динамики тепломассобмена в адсорбционных тепловых насосах.

Список литературы

1. Пригожин И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Р. Дефэй // Новосибирск : Наука, 1956.
2. Гиббс Дж. В. Термодинамические работы / Дж. В. Гиббс. – М.; Л. : Гостехиздат, 1950. – 492 с.
3. Morosuk, T. (2003). Porous media for fouling problems in heat exchangers of refrigeration machines and heat pumps, on current issues on heat and mass transfer in porous media: Proceeding on the NATO Advanced Study Institute on Porous Media, 19–20 June 2003, Neptune Romania, 406–416.
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высш. шк., 1967. – 600 с.
5. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли – М. : Мир, 1987. – 272 с.
6. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М. : Мир, 2002. – 461 с.
7. A. Bejan. Entropy generation minimization in heat transfer. In: E. Sciubba. M. Moran (Eds) second Law Analysis of Energy systems: toward the 21st century. Proceedings of International Conferences ROMA, 1995. – P. 363–372.
8. Lage, J. L., Narasimhan, A. (2000). Porous media enhanced forced convection fundamentals and applications, in K. Vafai, H. A. Hadim (Eds), Handbook of Porous Media, Marcel Dekker, New York.

References

1. Prigozhin, I., Defei, R. (1956). Khimicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics]. Novosibirsk : Nauka, 509.
2. Gibbs, Dzh. V. (1950). Termodinamicheskiye raboty [Thermodynamic work]. – Moscow; Leningrad: Gostekhiizdat, 492.

3. Morosuk, T. (2003). Porous media for fouling problems in heat exchangers of refrigeration machines and heat pumps, on current issues on heat and mass transfer in porous media: Proceeding on the NATO Advanced Study Institute on Porous Media, 19–20 June 2003, Neptune Romania, 406–416.
4. Lykov, A. V. (1967). Teoriya teploprovodnosti [The theory of heat conduction]. – Moscow: Vysshshk., 600.
5. Bekman, G. (1987). Teplovoye akkumulirovaniye energii [Thermal energy storage]. Moscow: Mir, 272.
6. Prigozhin, I., Kondepudi, D. (2002). Sovremennaya termodinamika. Ot teplovykh dvigateley do dissipativnykh struktur [Modern thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures]. Moscow: Mir, 461.
7. A. Bejan. Entropy generation minimization in heat transfer (1995). In: E. Scubba. M. Moran (Eds) second Law Analysis of Energy systems: toward the 21st century. Proceedings of International Conferences ROMA, 363–372.
8. Lage, J. L., Narasimhan, A. (2000). Porous media enhanced forced convection fundamentals and applications, in K. Vafai, H. A. Hadim (Eds), Handbook of Porous Media, Marcel Dekker, New York.

ТЕПЛОМАСООБМІН У ПОРАХ АДСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ

**Б. Х. Драганов,
Ю. Ф. Снешкін**

Анотація. Проаналізовано основні характеристики гетерогенних систем і процесу адсорбції. Наведено моделювання теплообміну в пористих середовищах. Визначено виробництво ентропії аналізованих явищ.

Ключові слова: адсорбція, пористе середовище, абсорбційний тепловий насос, правило фаз за Гіббсом, рівняння Гіббса-Дюгема, перетворення Ханкеля і Лапласа, функція Бесселя, виробництво ентропії

HEAT AND MASS TRANSFER IN THE PORES ADSORPTION THERMOTRANSFORMERS

**B. Draganov,
Y. Sneshkin**

Abstract. The main characteristics of heterogenous and adsorption process are analyzed. An modeling heat transfer in porous media are shows. The production of analyzed phenomena entropy are defined.

Keywords: adsorption, porous media, absorption heat pump, phase rule on Gibbs, Gibbs-Duhem equation, Laplace and Hankel on radial transformation, Bessel function, production of entropy

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТИМУЛЯЦІЇ СХОЖОСТІ ТА РОСТУ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Г. Б. ІНОЗЕМЦЕВ, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто новий метод визначення енергії проростання насіння різних сільськогосподарських культур, який дає змогу отримувати об'єктивну інформацію по енергетичному потенціалу та енергії проростання на базі застосування акустичної енергії.

Ключові слова: електромагнітна енергія, ультразвукові коливання, акустична енергія, енергія проростання насіння, передпосівна обробка, теплообмінні процеси

Базуючись на результатах багатьох досліджень, здійснених вченими Бельгії, Німеччини, Росії, США, Франції, Японії та ін. можна констатувати, що дія електромагнітної енергії на насіння сільськогосподарських культур у передпосівний період сприяє підвищенню посівних та врожайних його показників [1, 2]. Схожі результати отримано і у нас в Україні шляхом дії різних видів електромагнітної енергії на об'єкти рослинного походження [3, 4].

Разом з тим, практична реалізація накопичених результатів значною мірою гальмується відсутністю високоточних методів із визначення енергії проростання, об'єктивної інформації щодо енергетичного потенціалу, який суттєво відрізняється у різних біологічних об'єктів, що стримує розробку відповідних технологій та устаткування.

Мета досліджень – розробка методу визначення корисної акустичної дії для стимуляції насіння культурних рослин.

Визначення корисної енергії (енергії проростання), яка необхідна для активації проростання та схожості насіння, являє собою першорядну задачу, тому що практична відсутність чисельних методів її визначення стримує практичну реалізацію новітніх технологій по дії різноманітних носіїв електромагнітної енергії на практичний ресурс насіння різних сільськогосподарських культур.

Матеріали і методика досліджень. Одним із ефективних методів підвищення проростання та врожайності сільськогосподарських культур є застосування ультразвукових коливань.

Результати досліджень. Дослідження, проведені автором, демонструють можливість поліпшення новітніх якостей насіння різних культур за допомогою застосування ультразвукових коливань із різними частотами та різною енергією [2, 3].

При цьому спостерігаються такі ефекти: змінюються фізико-хімічні та біохімічні властивості насіння [4], збільшується проникність клітинних оболонок, що сприяє прискоренню набухання, активації обміну речовин, інтенсифікації фотосинтезу, які й сприяють активації проростання [5], схожості насіння.

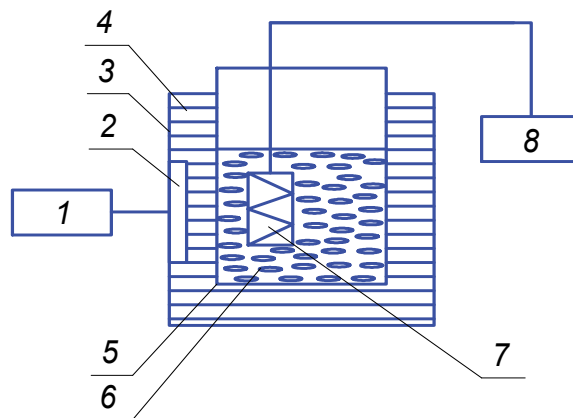


Рис. 1. Принципова схема передпосівної обробки насіння акустичними коливаннями:

- 1 – генератор; 2 – випромінювач; 3 – корпус посудини з контактною рідиною;
4 – контактна рідина; 5 – робоча ємність; 6 – живильний розчин із насінням;
7 – термістор; 8 – вимірювач інтенсивності коливань у робочій ємності

При цьому доведено, що максимальна швидкість проростання насіння досягається при його обробці (рис. 1) у спеціально обладнаних ємностях, наповнених водними розчинами. Це, у першу чергу, сприяє більшому надходженню вологи (водних розчинів) у насіння, набухання його і, як результат, прискоренню (активації) пророщування (рис. 2).

Разом з тим, дослідження демонструють і деякі суперечності, особливо у визначенні впливу режимів та параметрів ультразвукової обробки на розвиток та здатність проростання різних рослин. Так, наприклад, при обробці насіння гороху, сої, рису на частоті 800 кГц і енергії 0,5...3,0 Вт/см² спостерігається посилення їх здатності до проростання на 15...25 %, а при збільшенні енергії до 3,5...5,0 Вт/см² – затримання росту, а в ряді випадків навіть повна їх загибель (рис. 3).

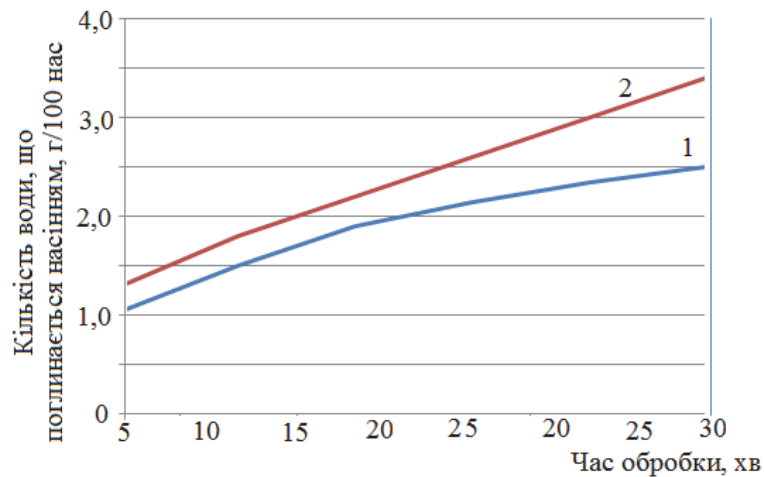


Рис. 2. Інтенсивність поглинання води у насіння кукурудзи:
1 – замочене у воді; 2 – оброблене ультразвуком

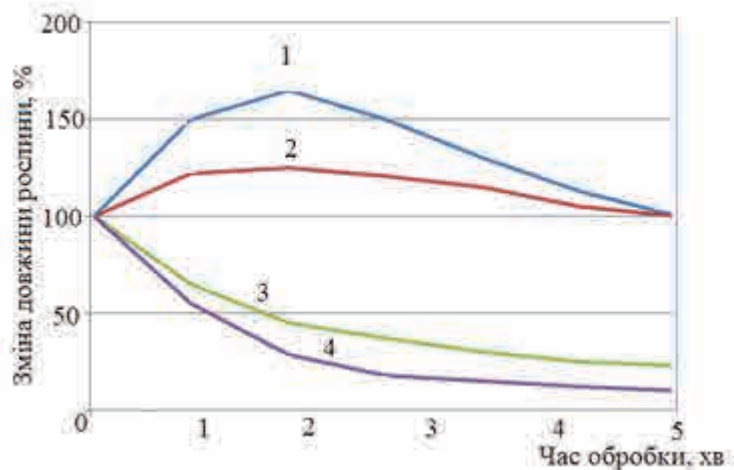


Рис. 3. Зміна довжини рослини (горох) від акустичної енергії та часу обробки:
1 – 1,6 Вт/см²; 2 – 2,5 Вт/см²; 3 – 3,4 Вт/см²; 4 – 4,8 Вт/см²

На наш погляд, це можна пояснити підвищенням теплової енергії та коефіцієнтом поглинання у різних видів насіння, труднощами визначення величини корисної енергії, яка необхідна для активації проростання для кожного біологічного об'єкта (рослини) конкретно.

При визначенні корисної акустичної потужності ми використали калориметричний метод, для реалізації якого було запропоновано спеціальну методику, що базується на застосуванні рівнянь теплообмінних процесів, які відбуваються в окремих частинах експериментальної установки (рис. 1).

Рівняння теплового балансу для ємності з випромінювачем ультразвукових коливань мало вигляд:

$$P_1 = c_1 m_1 (t_1^k - t_1^{n1}) + k_{12} (t_1^k - t_2), \quad (1)$$

де P_1 – потужність випромінювача, яка витрачається на нагрів контактної рідини;

k_{12} – коефіцієнт теплообміну між робочою камерою з рідиною та ємністю з випромінювачем;

c_1, m_1 – відповідно, питома теплоємність контактної рідини, наприклад води та її маса;

t_1^k, t_1^{n1} – відповідно, кінцева та початкова температури контактної рідини, температури насіннєвої маси.

Рівняння теплового балансу для робочої камери (контактна рідина – насіння) за період обробки ($dT_{об}$) буде мати наступний вигляд:

$$P_p dT_{об} = m_p \cdot c_p dT_{об} + k_{12}(t_p - t_1^k) dT_{об} + k_{3om}(t_p - t_{от}), \quad (2)$$

де P_p – корисна акустична потужність у робочій камері;

k_{3om} – коефіцієнт тепловіддачі від робочої камери в навколишнє середовище.

Сумісне рішення рівнянь (1, 2) дало можливість отримати вираз для визначення корисної акустичної потужності при ультразвуковій обробці насіння різних рослинних культур:

$$P_p = \frac{k_{12}}{k_1 + k_{12}} P_1 - \frac{k_{12} \cdot k_1 \cdot t_1}{k_1 + k_{12}} + k_p \cdot t_{от}. \quad (3)$$

Результати, отримані на базі теоретичних досліджень (3), продемонстрували значну схожість із результатами експериментальних досліджень (різниця не перевищувала 4 %).

Висновки

1. Запропонований метод дає можливість з високою точністю визначати корисну акустичну енергію при розробці технологічних процесів та режимів роботи при передпосівній обробці насіння різних сільськогосподарських культур.

2. Метод базується на застосуванні рівнянь теплообмінних процесів, що відбуваються в робочій камері ультразвукової установки.

Список літератури

1. Богатина Н. И. Влияние электрических полей на растения / Н. И. Богатина, Н. В. Шейнина // Биология, химия. – 2011. – Т. 24 (63). – № 1. – С. 10–17.

2. Іноземцев Г. Б. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві / Г. Б. Іноземцев, В. Ф. Яковлев, В. В. Козирський. – К. : АграрМедіаГруп, 2013. – 171 с.

3. Іноземцев Г. Б. Електротехнології в рослинництві / Г. Б. Іноземцев, В. В. Козирський, О. В. Окушко ; за ред. Г. Б. Іноземцева. – К. : АграрМедіаГруп. – 2012. – 160 с.

4. Смирнов Н. А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления / Н. А. Смирнов. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 168 с.

5. Стерхова Т. Н. Моделирование процессов влияния электромагнитного поля на энергию проростания овощных культур / Т. Н. Стерхова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – Вып. 6 (14).

References

1. Bogatina, N. I. (2011). Vliianie elektricheskikh poley na rasteniia [Influence of electric fields on plants]. *Biologiya, khimiya*, 24 (63), 10–17.
2. Inozemcev, H. B., Yakovliev, V. F., Kozyrskiy, V. V. (2013). Zastosuvannia akustychnykh tekhnologii v agrarnomu vyrobnytstvi [The use of acoustic technologies in agricultural production]. Kyiv, Ukraina: AhrarMediaHrup, 171.
3. Inozemtsev, H. B., Kozyrskiy, V. V., Okushko, O. V. (2012). Elektrotekhnologii v roslinnytstvi [Electrotechnology in plant]. Kyiv, Ukraina: AhrarMediaHrup, 160.
4. Smirnov, N. A. (1988). Vyraschivanie posadochnogo materiala dlia lesovosstanavlivaniia [Growing planting material for reforestation]. Moskva, Rossiia: Lesnaia promyshlennost, 168.
5. Sterhova, T. N. (2016). Modelirovanie processov vliianiia elektromagnitnogo polia na energiiu prorostannia ovosnykh kultur [Effect Modeling processes electromagnetic field for energy crops prorastanyia ovosnykh]. *Innovacii v selskom hoziastve*, 6 (14), 25–33.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ВСХОЖЕСТИ И РОСТА СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Г. Б. Иноземцев

Аннотация. Рассмотрен новый метод определения энергии прорастания семян различных сельскохозяйственных культур, который позволяет получать объективную информацию по энергетическому потенциалу и энергии прорастания на базе применения акустической энергии.

Ключевые слова: электромагнитная энергия, ультразвуковые колебания, акустическая энергия, энергия прорастания семян, предпосевная обработка, теплообменные процессы

METHOD FOR DETERMINING ACOUSTIC ENERGY TO STIMULATE THE GERMINATION AND GROWTH OF CROP SEEDS

G. Inozemtsev

Abstract. A new method for determining the energy of germination of seeds of different crops, which allows you to receive objective information on the energy potential and vigor on the basis of the application of acoustic energy.

Keywords: electromagnetic energy, ultrasonic vibrations, acoustic energy, seed germination, pre-processing, heat transfer processes

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ПЕРЕШКОД НА ШЛЯХУ РУХУ РОБОТИЗОВАНОЇ ЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

В. П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
С. А. ШВОРОВ, доктор технічних наук
Д. С. КОМАРЧУК, кандидат технічних наук
Д. В. ЧИРЧЕНКО, аспірант*
e-mail: sosdok@i.ua

Анотація. Розглянуто підхід та методичні основи щодо побудови системи розпізнавання перешкод на шляху руху безпілотної роботизованої збиральної техніки (БРЗТ). За допомогою запропонованої системи вирішуються такі задачі: сприйняття образу (технічне вимірювання), попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація), виділення потрібних характеристик (індексація), класифікація образу (прийняття рішення) для розпізнавання перешкод на шляху руху БРЗТ.

Ключові слова: роботизовані комбайни, безпілотна збиральна техніка, розпізнавання образів, перешкоди руху, нейронні мережі

На сьогодні для підвищення ефективності польових робіт широко застосовуються новітні інформаційні технології та системи точного позиціонування техніки на полі. Однак на такій техніці працюють люди, які виконують функції від управління до спостереження за її роботою в автоматизованому режимі. Техніка, яка б могла самостійно без участі людини проводити польові роботи, знаходиться на етапі розробки та експериментальних випробувань. Нині ряд американських компаній працює над створенням роботизованої техніки, яка дасть змогу проводити обробку ґрунтів, засів поля та збирання врожаю без участі людини. У довгостроковій перспективі створення сільськогосподарської платформи безпілотної робототехніки значно підвищить ефективність польових робіт. Така техніка повинна мати можливості виявлення перешкод на шляху її руху та бути безпечною для оточуючих.

Результати проведеного аналізу наукових праць [1–4] свідчать, що на сьогодні існуючі системи технічного зору здатні розпізнавати задані об'єкти, проте, при погіршенні умов спостереження (інші кути обзору, розмиття, зміна освітлення), їх працездатність значно знижується. Тому актуальним завданням є вдосконалення методів та систем розпізнавання будь-яких видів перешкод на шляху руху роботизованої збиральної техніки, що забезпечить безаварійність її застосування.

Мета досліджень – удосконалення методу й технічних принципів побудови системи розпізнавання перешкод на шляху руху роботизованої збиральної техніки.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор С. А. Шворов

© В. П. Лисенко, С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, Д. В. Чирченко, 2016

Матеріали і методика досліджень. На етапі вирішення задачі побудови системи розпізнавання перешкод на шляху руху РЗТ постає необхідність у розробці портативного інтерфейсу та спеціального програмного забезпечення для персонального комп'ютера (ПК), який дасть змогу користувачеві забезпечити планування та контроль польових робіт, запускати техніку і відправляти її на виконання поставлених завдань в автоматичному режимі. Програмне забезпечення повинно відображувати запланований шлях пересування техніки на екрані ПК та спостерігати за процесом виконання завдань РЗТ, а також відображувати в реальному часі відео по периметру РЗТ. Користувачі матимуть можливість контролювати та змінювати ряд параметрів РЗТ, у тому числі швидкість руху та налаштування швидкості роботи систем збору врожаю. Однією з найважливіших переваг такого РЗТ є здатність забезпечити 24-годинні польові роботи під час ключових частин сезону збирання врожаю [7].

Концепція автономного автоматичного управління дає можливість відкрити абсолютно нові горизонти для майбутнього сільського господарства і, зокрема, для збору енергетичних культур та органічної сировини для виробництва біогазу [5, 6, 8].

Існуючим засобам розпізнавання перешкод на шляху руху РЗТ властиві і основні недоліки: низький рівень точності розпізнавання в умовах динамічної невизначеності, висока залежність від рівня освітлення об'єктів-перешкод у нічний час, значні капітальні та експлуатаційні витрати на створення та застосування обладнання [3]. Одним із напрямів усунення зазначених недоліків є широке застосування нейронних мереж (НМ). Однак, у зв'язку з великими обсягами початкових даних і відсутністю ефективних інженерних методик вирішення даної задачі постає необхідність у проведенні цілеспрямованих досліджень з цього напрямку.

Розпізнавання образів-перешкод включає в себе ряд кроків:

1. Сприйняття образу (технічне вимірювання).
2. Попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація).
3. Виділення потрібних характеристик (індексація).
4. Класифікація образу (прийняття рішення).

Для сприйняття образу, наприклад, можна використати сприймаючий елемент (рис. 1).



Рис. 1. Сприймаючий елемент Kinect

Він може працювати в трьох режимах: відрізняти шість кольорів, чи розподіляти сприйнятий колір на три кольори режиму RGB (червоний,

зелений, синій); фіксувати зовнішнє освітлення і видавати результат в умовних одиницях; фіксувати відбите світло, створене власним випромінювачем і видавати результат в умовних одиницях.

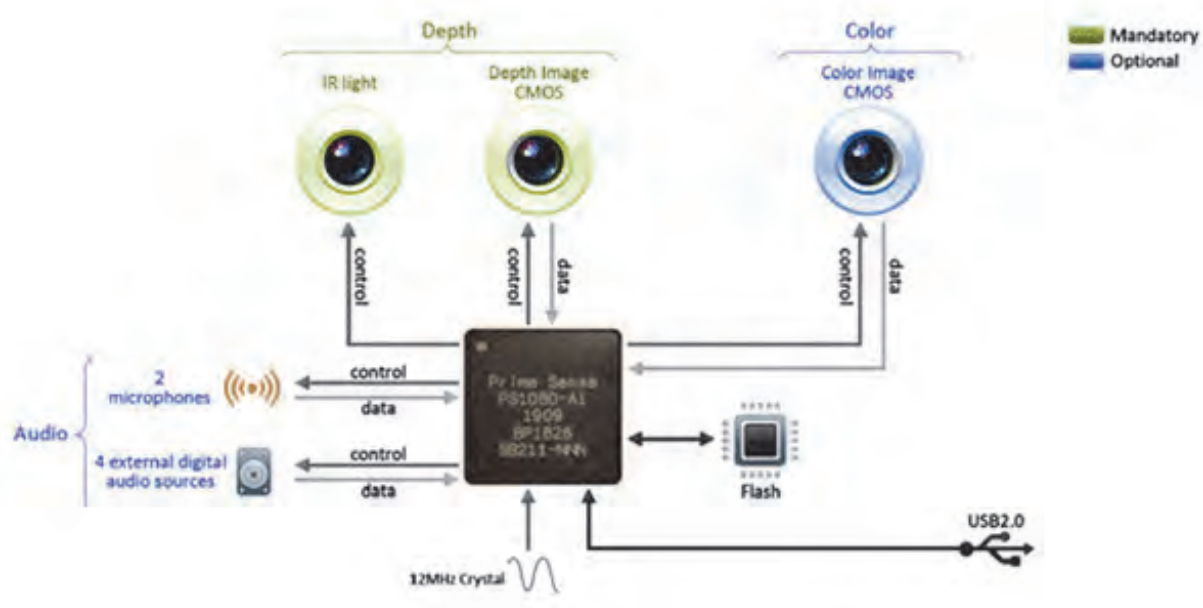


Рис. 2. Блок-схема роботи сприймаючого елемента Kinect

Kinect – безконтактний сенсорний контролер, що складається з двох сенсорів глибини, кольорової відеокамери та мікрофонної решітки, програмне забезпечення якого здійснює повне тривимірне розпізнавання предметів їх форми, напрям руху та відстані до них. Датчик глибини складається з інфрачервоного проєктора, об'єднаного з монохромною КМОН-матрицею, що дає змогу датчику Kinect отримувати тривимірне зображення при будь-якому природному освітленні.

Основою сенсора Kinect є 3D-технологія від PrimeSense, яка використовує структуроване світло, інфрачервоні камери і спеціалізований процесор для вимірювання відстані від камери до об'єктів (перешкод). Ці вимірювання проводяться по всьому куту зору сенсора Kinect. У результаті, формується масив точок, що складається з 307a200 вимірювань відстані між сенсором і об'єктом. При цьому, Kinect використовує інфрачервоний (ІЧ) лазер і спеціальний об'єктив, щоб проєктувати унікальний точковий малюнок. Точки проєктуються на заданих кутах від лазера. Лазерні точки відбиваються від об'єктів і фіксуються ІЧ-камерою.

Результати досліджень. Для кожного пікселя відстань від об'єкта до датчика може бути отримана у ІЧ спектрі та на основі вимірювання глибини від спектр-картини, як показано на рис. 3.

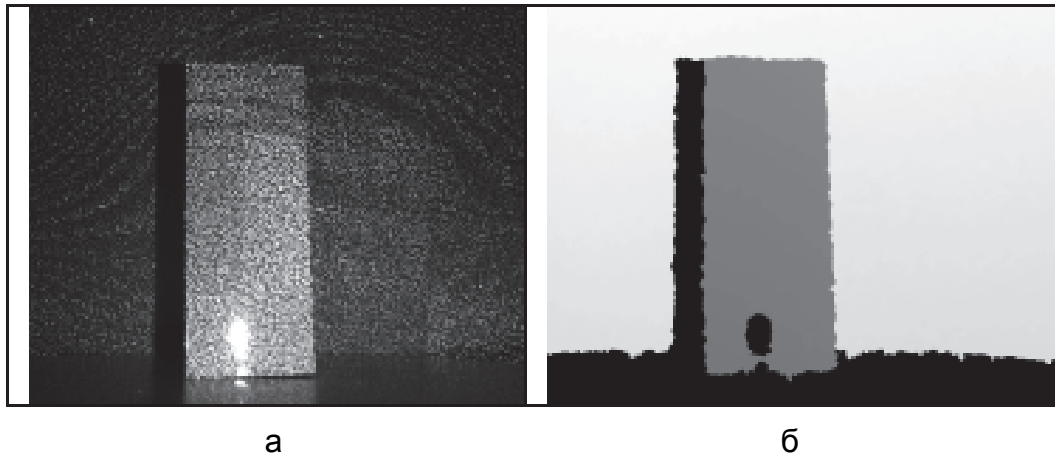


Рис. 3. Інфрачервоне зображення картини (а); просторове зображення (б)

Цей сенсор було взято за основу для розпізнавання польових об'єктів, активних (рухомих) та пасивних (нерухомих) перешкод на шляху роботизованої збиральної техніки (рис. 4).

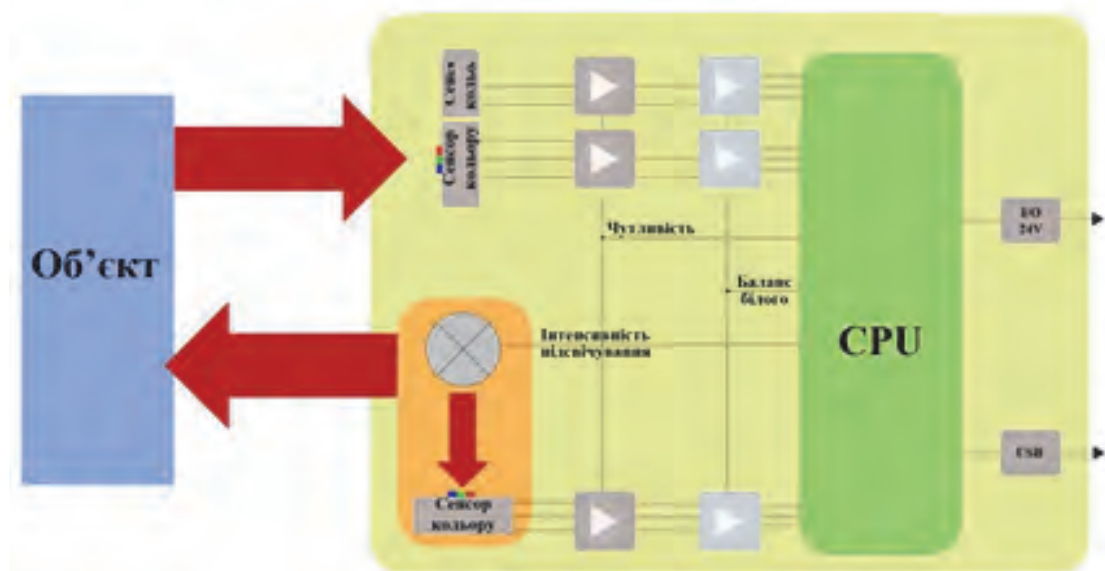


Рис. 4. Структурна схема сприймаючого елемента

Для попереднього опрацювання (фільтрації) вхідних образів доцільно застосовувати Вейвлет-аналіз, який базується на використанні вейвлетів, що являють собою математичні функції та дають змогу аналізувати різні частотні компоненти. У загальному випадку такий аналіз відбувається в площині: вейвлет-коефіцієнт – час – рівень. Самі вейвлет-коефіцієнти визначаються інтегральним перетворенням сигналу. Отримані вейвлет-спектрограми принципово відрізняються від рядів Фур'є тим, що дають чітку прив'язку спектра особливостей сигналу до часу. Третій та четвертий кроки розпізнавання образів, як правило, об'єднуються у системі розпізнавання образів (СРО), яка і є головним елементом такого інтелектуального комплексу. Алгоритм синтезу СРО включає такі етапи:

1. Отримання тренувальної вибірки.
2. Вибір способу подання даних та значущих характеристик.
3. Розробка класифікуючого критерію.
4. Навчання СРО.
5. Перевірка якості роботи з можливістю повернення до кроку 2 або 1.
6. Оптимізація СРО.

Для синтезу та дослідження відповідних НМ використовується демоверсія програмного пакета Statistica Neural Networks. Критерій навчання – мінімізація помилки НМ. У контексті даної задачі перевага такого пакету над аналогічними розробками полягає в реалізації функціонального блоку оптимізації архітектури нейромоделей, який використовує лінійні підходи та метод “відпалювання” на основі розподілу ймовірностей Гіббса:

$$P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1} | \bar{x}_i) = \begin{cases} 1, F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) < 0 \\ \exp(-\frac{F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i)}{Q_i}), F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де $Q_i > 0$ – елементи довільно спадаючої до нуля послідовності.

Для реалізації алгоритму навчання нейронної мережі у вигляді багат шарового персептрона доцільно застосовувати спеціальний генетичний алгоритм (ГА).

Спочатку потрібно підібрати оптимальні вагові коефіцієнти НМ [3, 7], що мінімізують значення помилки розпізнавання перешкод, виконавши ряд кроків:

- а) підібрати подання оптимізаційних параметрів у вигляді певного формату даних: рядка, вектора, таблиці, масиву і т. д.;
- б) розробити або обрати з набору генетичних операторів такі, які найкращим чином враховують особливості пошукового простору;
- в) визначити розмір початкової популяції;
- г) розробити методику використання генетичних операторів;
- д) задати функцію пристосованості (цільову функцію, за якою проводиться відбір варіантів у популяцію);
- е) розробити методику відбору варіантів в нову популяцію;
- ж) задати критерій зупинки еволюційного процесу.

Було проведено синтез та дослідження нейронної мережі за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA. На рис. 5 подано частину робочого поля програми із зображенням параметрів нейронної мережі та результатів її навчання й роботи.

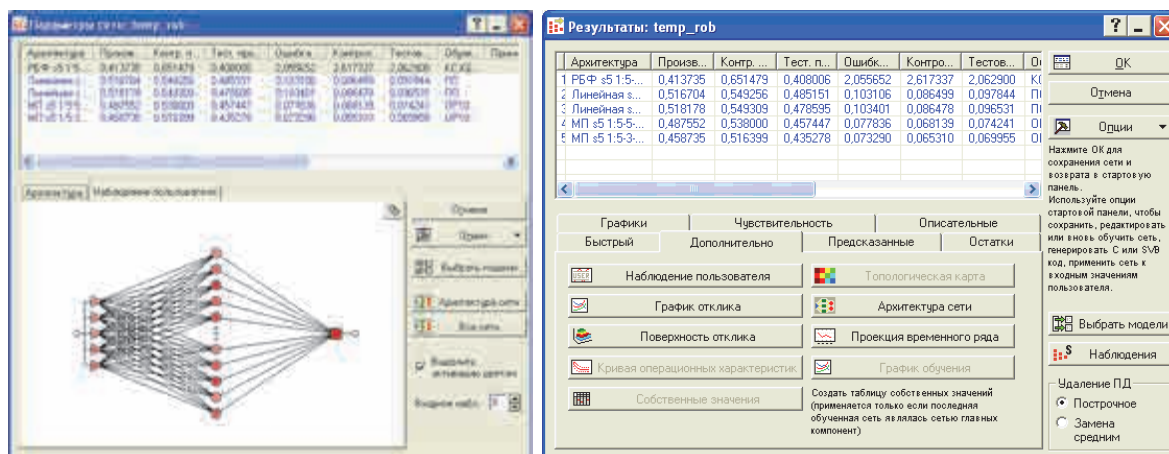


Рис. 5. Синтез та дослідження нейронної мережі за допомогою пакета прикладних програм STATISTICA

На рис. 6 та 7 наведено графіки помилки розпізнавання перешкод після кожного етапу навчання НМ до та після залучення до навчання генетичного алгоритму. Як бачимо, використання генетичного алгоритму значною мірою поліпшує точність розпізнавання перешкод на шляху РЗТ.



Рис. 6. Графік помилки розпізнавання перешкод після кожного етапу навчання НМ без ГА



Рис. 7. Графік помилки розпізнавання перешкод після кожного етапу навчання НМ за допомогою ГА

Висновки

На шляху руху безпілотної збиральної техніки можуть виникати різні види перешкод, які не можуть бути прогнозовані в процесі планування збирально-транспортних робіт. Для врахування даних факторів удосконалено метод розпізнавання перешкод на шляху руху збиральної техніки, який заснований на застосуванні апарата нейронних мереж розпізнавання образів та генетичного алгоритму для її навчання.

Список літератури

1. Anthony Stentz et al. (2012). "A System for Semi-Autonomous Tractor Operations". Autonomous Robots. The Robotics Institute, 13 (1): 87–103.
2. Bill Howard (2013). "Google: Self-driving cars in 3–5 years. Feds: Not so fast". Extreme Tech.
3. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы: [монография] / Гаврилов А. В. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.
4. David Hest (2012). New driverless tractor, grain cart systems coming this year // Farm Industry News [Electronic resource]. Available at: <http://farmindustrynews.com/>.
5. Інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та перетворення енергетичних культур у біометан / С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охрименко, Д. В. Чирченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 209 (2). – С. 140–147. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnau_tech_2015_209\(2\)_23.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnau_tech_2015_209(2)_23.pdf).
6. Chirchenko, D. (2014). Intellectual systems of decision making support in the management of the collection and processing of organic raw materials / D. Chirchenko, S. Shvovor // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 68 (Agricultural and Forest Engineering) (Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, Agricult. 2014).
7. Theoretical issues construction and operation of agricultural mission robotic system / Shvovor, S., Reshetiuk, V., Bolbot, I., Shtepa, V., Chirchenko, D. // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 60(Agricultural and Forest Engineering) 2012: (Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, Agricult. 2012).
8. Shvovor, S. (2015). Methodical Framework of the Support and Decision-making System for the Collection and Disposal of Organic Raw Materials / Shvovor, S., Komarchuk, D., Ohrimenko, P., Chyrchenko, D. // Energy Engineering and Control Systems, 1, 1, 29–34.

References

1. Anthony Stentz; et al. (2012). "A System for Semi-Autonomous Tractor Operations". Autonomous Robots. The Robotics Institute. 13 (1): 87–103.
2. Bill Howard (2013). "Google: Self-driving cars in 3-5 years. Feds: Not so fast". Extreme Tech.
3. Havrylov, A. (2002). Hybrydny intelektual'ny systemy [Hybrid intelligent systems]. Novosybyrsk, NHTU, 142.
4. David Hest. (2012). New driverless tractor, grain cart systems coming this year. Farm Industry News. Available at: <http://farmindustrynews.com>.

5. Shvorov, S. A., Komarchuk, D. S., Okhrymenko, P. H., Chyrchenko, D. V. (2015). Intelktual'na systema pidtrymky ta pryynyattya rishen' shchodo orhanizatsiyi vyroshchuvannya, zboru ta peretvorenniya enerhetychnykh kul'tur u biometan [Intelktualna system pidtrimki that of acceptance rishen' schodo organizatsii viroshchuvannya, Assembly that peretvorenniya energetichnih cultures have biometan]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Tekhnika ta enerhetyka APK, 209 (2), 140–147.

6. Chirchenko, D., Shvorov, S. (2014). Intellectual systems of decision making support in the management of the collection and processing of organic raw materials. Annals of Warsaw University of Life Sciences, 68, 154.

7. Shvorov, S., Reshetiuk, V., Bolbot, I., Shtepa, V., Chirchenko, D. (2012). Theoretical issues construction and operation of agricultural mission robotic system. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, 60, 177.

8. Shvorov, S., Komarchuk, D., Ohrymenko, P., Chyrchenko, D. (2015) Methodical Framework of the Support and Decision-making System for the Collection and Disposal of Organic Raw Materials. Energy Engineering and Control Systems, 1 (1), 29–34.

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

**В. Ф. Лысенко,
С. А. Шворов,
Д. С. Комарчук,
Д. В. Чирченко**

Аннотация. Рассмотрен подход и методические основы по построению системы распознавания препятствий на пути движения роботизированной уборочной техники (РУТ). С помощью предложенной системы решаются следующие задачи: восприятие образа (техническое измерение), предварительная обработка полученного сигнала (фильтрация), выделение нужных характеристик (индексация), классификация образа (принятия решения) для распознавания препятствий на пути движения РУТ.

Ключевые слова: роботизированные комбайны, беспилотная уборочная техника, распознавание образов, препятствия движению, нейронные сети

METHOD FOR RECOGNITION OF OBSTACLES TO MOVEMENT UNMANNED ROBOTIC CLEANING MACHINES

**V. Lisenko,
S. Shvorov,
D. Komarchuk,
D. Chirchenko**

Abstract. We consider the approach and methodological foundations for the construction of barriers to movement recognition system of robotic

cleaning equipment (RCE). With the proposed system solves the following problems: the perception of the image (technical measurement), pre-processing of the received signal (filtering), the allocation of the required performance (indexing), image classification (decision) to detect obstacles RCE movement.

Keywords: *robotic harvesters unmanned Cleaning machines, pattern recognition, obstacles, movement, neural networks*

УДК 658.264

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОМУНАЛЬНОМУ ТЕПЛОПОСТАЧАННІ

А. Ф. ГОЛОВЧУК, доктор технічних наук
e-mail: golovchuk1948@mail.ru

Анотація. *Вирішено актуальну проблему енергозбереження та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, а також оптимізації системи теплопостачання на базі студмістечка.*

Ключові слова: *паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, децентралізація системи опалення, твердопаливні і газові котли, автоматизація, людський фактор, економічна ефективність*

У сучасних умовах зростання споживання енергоресурсів і безперервного збільшення вартості органічного палива постає необхідність щодо економії енергоносіїв, задачею якої є розробка й реалізація програми енергозбереження і перетворення ресурсозбереження у вирішальне джерело задоволення потреб промисловості та комунальної енергетики.

Енергозбереження для України має технічну, соціально-економічну, а сьогодні й політичну, проблему. Відомо, що в Україні на одиницю ВВП у 3–5 разів більше використовується енергоносіїв, аніж у європейських країнах.

Енергетична проблема, яка на сьогодні є актуальною для всіх країн світу, особливо гостро відчувається в Україні, яка на 35–40 % здатна задовольнити власними паливно-енергетичними ресурсами потреби таких енергоємних галузей промисловості, як хімічна, нафтопереробна, металургійна, машинобудівна та забезпечити теплоносіями житлово-комунальне господарство.

Україна значною мірою залежить від постачання з-за кордону органічного палива, яке становить близько 60% від загального обсягу споживання. У даних умовах залежності економіки держави від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, постійного зростання їх вартості, актуальним є питання щодо зменшення витрат та втрат енергоносіїв, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та зниження енергоємності виробництва.

cleaning equipment (RCE). With the proposed system solves the following problems: the perception of the image (technical measurement), pre-processing of the received signal (filtering), the allocation of the required performance (indexing), image classification (decision) to detect obstacles RCE movement.

Keywords: *robotic harvesters unmanned Cleaning machines, pattern recognition, obstacles, movement, neural networks*

УДК 658.264

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОМУНАЛЬНОМУ ТЕПЛОПОСТАЧАННІ

А. Ф. ГОЛОВЧУК, доктор технічних наук
e-mail: golovchuk1948@mail.ru

Анотація. *Вирішено актуальну проблему енергозбереження та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, а також оптимізації системи теплопостачання на базі студмістечка.*

Ключові слова: *паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, децентралізація системи опалення, твердопаливні і газові котли, автоматизація, людський фактор, економічна ефективність*

У сучасних умовах зростання споживання енергоресурсів і безперервного збільшення вартості органічного палива постає необхідність щодо економії енергоносіїв, задачею якої є розробка й реалізація програми енергозбереження і перетворення ресурсозбереження у вирішальне джерело задоволення потреб промисловості та комунальної енергетики.

Енергозбереження для України має технічну, соціально-економічну, а сьогодні й політичну, проблему. Відомо, що в Україні на одиницю ВВП у 3–5 разів більше використовується енергоносіїв, аніж у європейських країнах.

Енергетична проблема, яка на сьогодні є актуальною для всіх країн світу, особливо гостро відчувається в Україні, яка на 35–40 % здатна задовольнити власними паливно-енергетичними ресурсами потреби таких енергоємних галузей промисловості, як хімічна, нафтопереробна, металургійна, машинобудівна та забезпечити теплоносіями житлово-комунальне господарство.

Україна значною мірою залежить від постачання з-за кордону органічного палива, яке становить близько 60% від загального обсягу споживання. У даних умовах залежності економіки держави від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, постійного зростання їх вартості, актуальним є питання щодо зменшення витрат та втрат енергоносіїв, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та зниження енергоємності виробництва.

© А. Ф. Головчук, 2016

Австрія, яка за комплексом природно-кліматичних умов подібна до України, 24,1 % споживаних енергоресурсів отримує з альтернативних джерел, Швеція – 24 %, а Україна лише 0,8 %. Енергетичний потенціал біомаси в Україні є одним із найбільших у Європі. За оцінками фахівців, він становить 43 млн. тонн умовного палива (т. у. п.). У першу чергу, це відходи сільськогосподарського виробництва, лісництва та деревообробки, утилізація твердих побутових відходів, виробництво біогазу та інші. Аналогічні показники мають також Франція – 40,9 млн т у. п. та Німеччина – 43,7 млн т у. п. [1, 2, 3].

Виконання заходів з енергозбереження, пов'язаних із використанням альтернативних джерел енергії може замінити понад 7 млрд. м³ природного газу [4].

Наша країна володіє потужним паливно-енергетичним комплексом, але в ньому має велику частку застарілого, технічно зношеного обладнання та устаткування. Нині проблема енергозбереження в Україні переросла в проблему національної безпеки. Від її вирішення безпосередньо залежить можливість остаточного подолання внутрішніх і зовнішніх кризових процесів в економіці й політиці. Сьогодні всім нам необхідно всебічно осмислити проблему енергозбереження, технологічного та економічного обґрунтування заходів із енергозбереження паливно-енергетичних ресурсів України.

Реалізація актуальної проблеми енергозбереження ґрунтується на науково-практичному й ефективному забезпеченні використання палива та енергії. При цьому енергозберігаючі технології розглядаються як напрям пріоритетного розвитку енергетичної сфери, зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище і як один зі шляхів підвищення конкурентоспроможності національної економіки [5].

Розв'язання багатьох проблем і задач в цьому напрямі може бути досягнуте шляхом відмови від створення централізованих систем теплопостачання і переходу до нових систем помірної та невеликої одиничної потужності, а також до розукрупнення, у ряді випадків, існуючих крупних систем. У зв'язку з цим, більш широке застосування повинні сьогодні отримувати системи децентралізованого теплопостачання від локальних котелень, із використанням різних енергоносіїв [6].

Мета досліджень – вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів за допомогою різних енергоносіїв та оптимізації системи теплопостачання студмістечка.

Матеріали і методика досліджень. Основні задачі комплексного проекту енергозбереження в комунальному теплопостачанні:

- розробити стратегію енерговикористання та розробити заходи з економії паливно-енергетичних ресурсів із урахуванням динаміки зростання цін на енергоносії;
- запропонувати заходи з енергозбереження існуючих систем теплопостачання з попереднім їх обстеженням та оцінкою їх ефективності;

- здійснити перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення в експлуатацію твердопаливних котлів;
- провести децентралізацію системи опалення шляхом встановлення опалювальних систем в житлових будинках та на віддалених кафедрах і гуртожитках студентського містечка;
- запровадити автоматизацію системи теплопостачання студмістечка для позбавлення залежності від людського фактора й забезпечити більш ефективне використання теплової енергії;
- забезпечити, економію паливно-енергетичних ресурсів, безпеку та захист системи теплопостачання студентського містечка від корозії та інших факторів;
- для опалення та гарячого водопостачання запровадити сучасні контактено-поверхневі теплогенератори конденсаційного типу нового покоління з високим ККД.

Результати досліджень. Стрімке зростання вартості енергоносіїв у різних регіонах України (див. табл. 1) спонукало підняття питання щодо впровадження заходів, спрямованих на найбільш ефективне та економне використання енергоресурсів у студмістечку Уманського національного університету садівництва (УНУС).

1. Динаміка зростання цін на енергоносії (м. Умань, Черкаська обл.)

Енергоносії	Вартість (тариф) енергоносія					
	2006 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2015 р.	
Електроенергія денний тариф, грн/кВт·год	0,3514	0,7155	0,7427	0,83964	без ПДВ 1,5320	з ПДВ 1,8384
Електроенергія нічний тариф, грн/кВт·год	0,0812	0,1754	0,182	0,28812	0,3755	0,4506
Електроенергія піковий тариф, грн/кВт·год	0,5848	1,2627	1,3106	1,383	2,7036	3,2443
Природний газ, грн/м ³	0,796	2,1464	2,6537	2,998	6,2226	7,4671
Пічне побутове паливо, грн/кг	4,75	4,8	6,0	5,73	6,6667	8,0
Мазут, грн/кг	1,9	3,34	3,8	4,5	4,1667	5,0
Вугілля антрацит, грн/кг	0,42	1,07	0,95	1,5	2,75	3,3
Дрова, грн/кг	0,08	0,144	0,168	0,154	2,1667	2,6

Уманський національний університет садівництва розташований в центральній частині країни на Черкащині. Теплопостачання студентського містечка до 2010 р. відбувалося централізовано від котельні, яка також знаходиться на території навчального закладу.

Уманський НУС був заснований у 1844 р. як Головне училище садівництва. З дня заснування цей навчальний заклад розташувався на площі 94,1 га – поблизу всесвітньо відомого парку «Софіївка». На території університетського містечка розміщено 12 навчальних та адміністративно-допоміжних корпусів, 5 студентських гуртожитків, 6 високоповерхових житлових будинків, наукова бібліотека, санаторій-профілакторій, спортивний комплекс, медпункт із терапевтичним і стоматологічним кабінетами, їдальні й кафе, магазини, котельні, майстерні, відділення зв'язку, метеорологічна станція, оранжереї і теплиці, вегетаційні будинки та інші допоміжні об'єкти, які забезпечують життєдіяльність вищого навчального закладу.

Для розв'язання проблеми енергозабезпечення та економії енергоресурсів в Уманському НУС було здійснено перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення в експлуатацію твердопаливних котлів, а також проведено децентралізацію системи опалення навчального закладу.

Для теплозабезпечення університету від центральної котельні прокладена тепла мережа, від якої теплоносії подаються на опалення та гаряче водопостачання відповідних будівель студентського містечка. У 2010/11 навчальному році теплову мережу, яка мала застарілу й неякісну теплоізоляцію, частково було замінено на нову. У табл. 2 наведено опалювану площу Уманського державного аграрного університету (УДАУ) станом на 2009 рік.

2. Опалювана площа по УДАУ на 2009 рік

№ з/п	Приміщення	Загальна площа, кв.м	Співвідношення, %
1	Житлові будинки	16993,4	24,5
2	Гуртожитки	21818,2	31,5
3	Навчальні корпуси та ін.	30529,6	44,0
	ВСЬОГО	69341,2	100,0

У 2009/10 навчальному році в університеті садівництва було проведено заходи щодо децентралізації системи опалення і гарячого водопостачання. Для ефективного використання теплової енергії в конструкцію системи теплопостачання введені нові енергозберігаючі котли на твердому паливі й газі [7, 8, 9].

На початку опалювального сезону 2008 р. на спеціальному фонді університету, з якого проводилася оплата за спожитий газ, електроенергію та інші послуги, було лише 226 295 грн та університетські борги понад 3 млн грн за опалення квартир багатоповерхових будівель студмістечка. Такий великий борг виник через різницю вартості газу для юридичних та фізичних осіб.

До проблеми теплозабезпечення студмістечка у 2010 р. додалися додаткові опалювальні площі. У цьому календарному році в університеті

садівництва було здано в експлуатацію першу чергу навчально-культурного центру (наукової бібліотеки, бухгалтерії, відділу кадрів, ректорату та ін.) площею 4300 м² та реконструйовані корпуси новоствореного факультету лісового і садово-паркового господарства (будівля старої бухгалтерії 764 м²) та інженерно-технологічного факультету (будівля старої бібліотеки 572 м²) загальною опалюваною площею двох факультетів 1336 м².

У 2010 р. вирішено фінансово-технічну проблему власників 350 квартир шляхом переведення всіх квартир багатоповерхових будівель на індивідуальне опалення, відключення тепlopостачання квартир від центрального опалення і гарячого водопостачання та оплатою багаторічних боргів мешканців студентського містечка.

На реконструкцію газопроводів витрачено 152,3 тис. грн університетських коштів, замінено багатозатратні газові котли у котельні університету на сучасні енергозберігаючі з використанням альтернативних видів палива на суму 730 тис. грн. Встановлено сучасну апаратуру з регулювання, контролю та обліку газу й електроенергії на суму 365,5 тис. грн. Це дало економію близько 700 тис. гривень за опалювальний сезон (див. табл. 3).

3. Витрата газу для сезонного опалення студмістечка Уманського національного університету садівництва

№ з/п	Витрати газу, м ³ 2007– 2008 роки	Витрати газу, м ³ 2008– 2009 роки	Витрати газу, м ³ 2009– 2010 роки	2009–2010 до 2007– 2008 років, %	2009–2010 до 2007– 2008, у натур. вимір., м ³	Зменшення витрат на закупівлю газу в грошовому еквіваленті, грн.
жов- тень	49878	22611	18193	36,47	31685	84082,48
листо- пад	457436	101780	55267	12,08	402169	1067235,80
грудень	241950	135519	152556	63,053	89394	237224,85
січень	183025	164721	102603	56,06	80422	213415,86
лютий	150476	119465	102250	67,95	48226	127977,33
бере- зень	157789	81720	62744	39,76	95045	252220,91
квітень	43150	15583	1870	4,33	41280	109544,73
ВСЬОГО						
за	1283704	641399	495483	38,6	788221	2091701,75
опалю- вальний сезон						

Після вирішення фінансово-технічних і комунально-господарських проблем адміністрація університету у 2010 р. передала житловий фонд студмістечка до новостворених об'єднань співвласників багатоповерхових будівель (ОСББ). ОСББ «Аграрії» і «Магнолія» створені на території навчального закладу й нині успішно виконують свої функціональні обов'язки.

Враховуючи зростаючу ціну на енергоносії, у тому числі й на природний газ, перехід на опалення альтернативними видами палива (дрова, щепа, солома) був своєчасним та виваженим кроком на шляху економії енергозатрат. Це дало можливість (див. табл. 3) зменшити витрату газу у 2009/10 навчальних роках, порівняно з 2007/08 навчальним роком на 38,6 % (788221 м³), що, у свою чергу, дало можливість зменшити витрати на його закупівлю на 2091701,75 гривень.

У табл. 4 і 5 наведені порівняльні дані витрачання газу залежно від температури навколишнього середовища в опалювальний сезон за чотири роки (2007–2010 роки).

4. Порівняльний аналіз витрачання газу та зовнішньої температури повітря за лютий 2007–2010 років

№ з/п	2007		2008		2009		2010	
	t, C°	м ³	t, C°	м ³	t, C°	м ³	t, C°	м ³
1	-3,2	5180	0,2	4530	-2	5440	-1,8	5234
2	-2,4	6081	-0,6	6024	-5,3	5379	-3,6	4746
3	-2,4	5764	3,2	5381	-6,4	5570	-5,3	5424
4	-5,2	5142	-4,7	5916	-2,2	5393	-5	5377
5	-2,2	4814	-0,4	5886	1	3850	-7,2	4841
6	-1	4698	2	5209	2,9	2936	-10,9	5538
7	-4,2	4727	-1	5193	3,6	3801	-11	5778
8	1,9	4747	-1,4	5109	6,5	3826	-8,8	3728
9	0,8	4368	-0,8	5209	7,4	3447	-7	2596
10	0,6	4489	-4	5401	3	4290	-3	2005
11	-2,9	4440	-5,6	5566	0	4354	-3,8	2784
12	2,5	4691	-8	5491	2,6	4158	-4,6	5470
13	3,8	4461	-4,8	5806	1,5	3387	-1,6	3833
14	1,6	4459	-0,2	4987	0,4	4151	0,3	5092
15	-0,4	4543	-4,9	5949	-1	4142	-4,4	5112
16	-4,3	4924	-6,6	6352	-1,1	1735	-4,2	2282
17	-9,5	6062	-9,6	6670	-2,6	4379	-5,2	2581
18	-4,5	6013	-6	5728	-2,8	3830	-0,2	2462
19	-4,5	6314	-1,4	5621	-2,2	3411	0,8	1218
20	1,8	4335	-2,4	6130	-2,3	3765	2	1003
21	1	5021	-1,3	6103	-4,9	4844	1	1614
22	1	6603	3,4	5937	-5	5352	0,2	1614
23	-8,8	6366	6,4	4413	-1,4	5797	2,1	2550
24	-15,2	6782	4	3378	-6,1	5397	2,4	1686
25	-12	6342	3,6	3912	-6	4866	1,8	1593
26	-8,2	6104	7,4	3408	-8,2	4201	1	2792
27	-7,4	6407	0,8	3560	-0,8	3499	-2	3685
28	-5,4	5299	7,3	3883	-0,2	4265	-2,1	3436
29			2,2	3726				
t _{ср} ^о C	-3,16		-0,8		-1,12		-2,86	
ВСЬОГО		149176		150476		119465		102253

З табл. 4 і 5 порівняльного аналізу витрачання газу наочно видно, що у лютому 2010 р. споживання газу зменшилося, порівняно з лютим 2007 р., на 31,5 % або на 46923 м³ з 149176 м³ до 102253 м³.

5. Порівняльний аналіз витрачання газу та зовнішньої температури повітря за березень 2007–2010 років

№ з/п	2007		2008		2009		2010	
	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³	t, C°	м³
1	-1,2	4505	3,8	7212	-2,1	4442	1,2	1670
2	0	4400	5,7	5817	-4,2	4575	5,6	1064
3	3,1	4545	1,1	6026	-4,8	3695	3	1882
4	-0,2	4390	5,6	5573	-5,2	3488	0,4	1541
5	2,7	4341	0,2	4273	-0,8	3501	-1,6	1340
6	0,4	4019	0,5	4397	0	2683	-3,2	2190
7	0,9	3976	-0,7	5520	2,4	2136	-5,3	4589
8	-0,4	4146	-1,2	5554	6,7	2328	-8,9	5282
9	-0,9	3782	5,2	5501	3	2291	-4,6	4422
10	0	3622	3,8	5491	1,6	3158	-5,8	5028
11	0,8	3234	3,5	5486	0,4	2019	-6	5022
12	5	3791	3,7	4752	1,6	2292	-2,5	1715
13	1,4	4327	5,7	4572	0,8	2037	-1,5	1000
14	-2,1	3397	4	4356	2,4	2027	0,5	2596
15	4,2	3445	2	5500	0,9	2233	2,2	2006
16	0,7	2978	2,6	4447	1,5	2101	-0,4	2769
17	6,8	3772	5,3	4385	1	2102	-2	1253
18	3,7	5609	3,3	4513	1,3	2123	2,6	1699
19	6,2	2914	3,6	4847	1,6	2170	5,6	651
20	5,8	2968	-1,3	4997	-0,7	2400	9,7	391
21	8,6	2448	-2,6	4593	1,6	3286	10	1640
22	7,8	3753	-1,2	5512	1,8	1956	10,2	1458
23	7,1	3259	6,3	4578	-1,2	2828	5,9	1556
24	4,3	3259	3,6	4362	0,1	2505	13	1559
25	1,2	4039	8,3	5645	1,1	2551	9,4	790
26	4,4	2313	-0,9	6196	0,1	2494	10,8	767
27	4,8	2717	-1,4	5425	-1,4	2573	13,6	454
28	0,4	3220	2,7	4422	-2,4	2527	10,9	978
29	-0,5	2819	0,8	3908	2,6	2308	11,1	579
30	-0,6	2704	2,4	4377	4,3	2480	14,2	764
31	2	2409	3,8	5552	6,2	2411	10,5	446
t _{ср} °C	+2,46		+2,46		+2,46		+2,46	
ВСЬОГО		111101		157789		81720		59101

Аналогічна картина споживання газу, залежно від температури навколишнього середовища і у березні місяці цього самого періоду протягом 2007–2010 років. Тут споживання зменшилося на 52000 м³ з 111101 м³ у 2007 р. до 59101 м³ у 2010 р. або на 46,8%, а порівняно з 2008 р., ця різниця ще більша. У 2008 р. центральна котельня УДАУ

спожила 157789 м³, а у тому ж 2010 р. лише 59101 м³ (табл. 4), це на 98688 м³ або на 62,5% менше, порівняно з 2008 р.

Якщо проаналізувати споживання газу в університеті з 2007 р., то це зменшення витрати газу ще наочніше. Так, у 2007 р. було спожито 1156822 м³, у 2008 – 790931 м³, а у 2009 р. 605488 м³ природного газу. Зменшення споживання газу, порівняно з 2007 і 2015 роками, становить 869862 м³, або на 75,2 %.

Для ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів подобово і позмінно складалися зведені таблиці з показниками по витраті газу, дров, електроенергії та води.

При цьому твердопаливні котли працювали на дровах, вугіллі, щепі та соломі. Наприклад, 8 лютого 2010 року оператор Чернов за температури повітря – 8,8°C спалив 3728 м³ газу і 10 складометрів (с/м) дров. Залежно від температури зовнішнього повітря, в опалювальний сезон за одну добу спалювалося від 254 м³ до 7267 м³ газу та від 5 до 20 с/м дров.

У літній період з 2009 р. щорічно господарською частиною Уманського НУС проводилася планова заготівля дров, соломи і щепи зі свого лісу, саду і дослідних полів, а також із лісництв, розташованих поблизу Умані. У місячний термін заготовляли більш ніж 600 складометрів дров та 1000 тюків соломи.

Упродовж опалювального сезону з жовтня до квітня працівники відділу теплозабезпечення університету регулярно отримували термограми з результатами вимірювань температури в аудиторіях та гуртожитках, а також погодинні та середньодобові показники теплотехнічних параметрів котельної установки студмістечка.

Вищенаведені табл. 3, 4, 5, свідчать про постійний контроль споживання газу за відповідної температури зовнішнього повітря, а також окрім добової (ніч, день) витрати газу з контролем при цьому температури зовнішнього повітря ще й прізвище оператора і вартість спожитого газу за зміну цим оператором.

Наприкінці кожного тижня проводився аналіз кількості спожитого газу й твердого палива відповідно до температури зовнішнього повітря й режиму роботи навчального закладу.

У табл. 6 наведені дані спожитого газу за опалювальний сезон 2010/15 років. Значне зменшення витрати газу з 479264 м³ у 2010 р. до 286960 м³ у 2015 р. це на 40,1 % пояснюється тим, що в центральній котельні університету було демонтовано котел потужністю 6 МВт, який мав низький ККД і надмірне споживання газу.

У 2010 р. на місце цього котла було встановлено два водогрійні опалювальні котли «Ретра 3М» потужністю по 800 кВт. Ці котли розраховані на тверде паливо дрова, вугілля, щепу й торфобрикети.

Багаторічний порівняльний аналіз споживання газу показав, що витрати палива залежать не тільки від температури навколишнього середовища, але й від професійності оператора, його відповідальності, від його громадської позиції щодо економії паливно-енергетичних ресурсів конкретної котельні навчального закладу, установи чи населеного пункту.

Для підтвердження цього проведемо порівняльний аналіз двох місяців одного року. Лютий 2008 р., у якого середньомісячна температура у зимовий період – 0,8°C, а у весняний місяць – березень 2008 року середньомісячна температура була +2,46 °C. Але газу спалено у березні – 157785м³, а у лютому – 150476 м³. У березні з плюсовою середньомісячною температурою витрачено газу на 5 % (7309 м³) більше, ніж у зимовий лютневий місяць із середньомісячною мінусовою температурою, а це перевитрати університетських коштів на 54817,5 гривень.

6. Споживання газу котельними університету за 2010–2015 роки

Місяць	2010 р., м ³	2011 р., м ³	2012 р., м ³	2013 р., м ³	2014 р., м ³	2015 р., м ³
Січень	102603	68196	67955	122997	89070	45961
Лютий	102250	87985	151605	35717	81175	35187
Березень	62744	59222	52595	38678	39988	24798
Квітень	1870	12587	9880	11540	12106	-
Жовтень	25775	1219	22604	5652	169	7379
Листопад	42805	21871	76303	52279	28050	79810
Грудень	141217	80143	160218	101988	39439	93825
ВСЬОГО за рік	479264	331223	541160	368851	291497	286960

Цей конкретний аналіз підтверджує вищенаведений висновок, що витрата газу залежить не тільки від температури зовнішнього повітря, а також від відповідальності, добросовісності і постійного контролю операторів службою теплозабезпечення ОСББ чи відповідних установ.

На віддалених кафедрах економіки, обліку і аудиту, маркетингу, фінансів і кредиту, а також на кафедрі процесів, машин та обладнання було поставлено блочно-модульні котельні. У 2011 р. для дев'ятиповерхового студентського гуртожитку № 6 на 617 місць, у якому проживають і викладачі університету, а також для обігріву готелю, студентського кафе, приміщень побутового обслуговування та для опалення вищеперелічених кафедр факультету економіки і підприємства біля студентського гуртожитку № 6 було поставлено блочно-модульну котельню на базі котла КСВ – 0,63 Гн «Еко» Монастирищанського заводу «Енергетик» (Черкаська обл.). Котел сталевий, водогрійний, автоматизований, 2011 р. виготовлення з температурою нагрівання води не вище від +115°C і призначений для опалення і гарячого водопостачання в закритих системах теплопостачання. Ця модель котла економно працює на природному газі, а поставлені тепловодолічильники СВТУ-10М та апаратура для виміру, керування, сигналізації та регулювання автоматичного захисту, забезпечують безпеку і контроль подачі тепла в автоматичному режимі.

Впровадження автоматики теплових процесів позбавляє залежності від людського фактору в споживанні теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання, а також вирішує проблему економії паливно-енергетичних ресурсів навчального закладу [9].

Для перспективного розвитку енергозбереження та якісного теплозабезпечення студмістечка Уманського національного університету садівництва у 2010 р. за участю НПО «Екотерм» м. Київ, було проведено детальне обстеження системи тепlopостачання та об'єктів енергопостачання УНУС.

Після аналізу структури споживання теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання від НПО «Екотерм» та фірми «Медведь» надійшла комерційна пропозиція щодо реконструкції центральної котельні університету та заміни опалювальних котлів застарілих конструкцій на сучасні контактнопверхневі теплогенератори конденсаційного типу нового покоління тепловою потужністю від 100 до 3000 кВт. Ці ефективні енергозберігаючі системи автоматичного теплозабезпечення працюють на природному газі і мають європейський рівень, високі технологічні, експлуатаційні, ремонтні, екологічні характеристики, високий ККД, який не нижче за 98%, а в конденсаційному режимі – 104 %. Запропоновані котли призначені для автономного децентралізованого опалення та гарячого водопостачання.

Було проведено розрахунки та аналіз економної ефективності щодо реконструкції застарілої опалювальної системи університету. На чотирьох запропонованих міні котелень студмістечка економія грошових коштів сягала від 110 096 грн до 749 182 грн за рік. Значна різниця в економії витрат газу, а відповідно, і фінансових коштів, порівняно з експлуатацією жаротрубних котлів, досягається у зв'язку з великою різницею в ККД (коефіцієнт корисної дії) 75–98 %, ідеальним підбором високотехнологічних паливників та автоматики.

Окупність реконструкції опалювальних міні-котелень визначалася по можливій економії природного газу. Якщо врахувати цю економію, при розрахунках окупності реконструкції котельних, а також здорожчання природного газу, то окупність нових котелень з використанням контактнопверхневих водонагрівачів (котлів) фірми «Медведь» буде протягом 1–1,5 року. А якщо сьогодні в центральній університетській котельні провести заміну старих насосів на енергозберігаючі силові агрегати і застосувати частотне регулювання, то сумарне електровикористання за опалювальний сезон може бути знижено на 40–50 %.

Висновки

1. Зазначені заходи на сьогодні дають позитивні результати для вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів на прикладі Уманського національного університету садівництва. Використовуючи системний підхід, необхідно розробити методику ефективного використання різних видів палива та оптимізувати роботу локальної паливної системи з використанням сучасних систем автоматизації та контролю.

2. Для розв'язання проблеми енергозбереження та економії енергоресурсів в Уманському НУС було здійснено перехід на використання альтернативних паливно-енергетичних джерел шляхом введення в експлуатацію твердопаливних котлів, а також проведено

децентралізацію системи університетського опалення шляхом встановлення 350 індивідуальних опалювальних систем у житлових будинках, віддалених кафедрах та гуртожитках студентського містечка.

3. Вирішення проблеми енергозбереження та ефективного використання паливних ресурсів студмістечка показало, що опалювальне теплове навантаження залежить не тільки від температури зовнішнього повітря типу котла чи альтернативного твердого палива, але й від людського фактора – професійності, відповідальності операторів та їх начальників, а також відповідних служб контролю.

4. Для зменшення залежності від людського фактора, витрати теплоти на опалення та гаряче водопостачання житлових і промислових об'єктів, необхідно автоматизувати технологічний процес виробництва, транспортування та використання теплової енергії. Автоматизація і диспетчеризація з відповідним професійним і постійним контролем котелень дасть змогу зекономити паливно-енергетичні ресурси в межах 15–30%.

5. Значне зменшення споживання газу та електроенергії в Уманському НУС відбулося після переведення житлового масиву на індивідуальне опалення та заміни старих електричних лічильників на електронний контроль електричної енергії в кожній квартирі студмістечка. Заміна старих насосів центральної університетської котельні на енергозберігаючі силові агрегати знизить використання електроенергії на 40–50% за опалювальний сезон.

6. Наш уманський досвід енерговикористання та збереження паливних ресурсів свідчить про те, що:

- гібридне використання твердопаливних і газових котлів дає економію паливно-енергетичних ресурсів до 30%;
- централізована система опалення, яка подає гаряче водопостачання і тепло на відстані понад 2 км, втрачає теплоту від 27 до 50%;
- через критичний стан старих, багатокілометрових мереж подачі тепла комунальної теплоенергетики, через низький ступінь корозійної стійкості всієї трубопровідної системи, необхідно проводити децентралізацію котелень на державному рівні.

7. Запропоновані та впроваджені заходи з енергозбереження та економії енергоресурсів існуючих систем тепlopостачання з одночасним використанням газових і твердопаливних котлів та відповідним контролем роботи операторів котелень дають від 31,5% до 75,2% економії паливно-енергетичних ресурсів в Уманському національному університеті садівництва.

8. Із вищенаведеної статті щодо шляхів економії енергоресурсів видно, що 60% закордонного газу ми можемо перекрити на 75,2% (із практичного досвіду Уманського НУС) економією паливно-енергетичних ресурсів і повністю забезпечити комунальну енергетику і часткову промисловість своїм паливом, у т. ч. і альтернативними джерелами енергії (біомаса, сонячні батареї, вітряки та інше).

Список літератури

1. Єфімцева Л. О. Енергетична безпека в Україні: суть, походження та перспективи / Л. О. Єфімцева // Економіка АПК : міжнародний науково-виробничий журнал. – 2014. – № 5. – С. 85–92.
2. Мариняк Б. Б. Аналіз теплопостачання в Україні в контексті еколого-економічної безпеки / Б. Б. Мариняк // Формування ринкових відносин в Україні : зб. наук. пр. – 2015. – № 4. – С. 149–156.
3. Теплотехніка : підруч. / [Б. Х. Драганов, О. С. Бессараб, А. А. Долінський та ін.] ; за ред. Б. Х. Драганова. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.
4. Титко Р. Відроджувальні джерела енергії / Р. Титко, В. Колініченко. – Варшава : OWG, 2010. – 533 с.
5. Пшінько О. М. Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. О. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 74–82.
6. Карп И. Н. Децентрализованное теплоснабжение зданий и сооружений / И. Н. Карп, Н. И. Мхитарян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 1. – С. 5–12.
7. Лавренцов Е. М. Новые конструктивные решения при создании водогрейных котлов с высокими технико-экономическими показателями / Е. М. Лавренцов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – № 1. – С. 57–64.
8. Марченко Г. С. Котлы средней мощности для автономных систем теплоснабжения / Г. С. Марченко // Экотехнологии и ресурсоснабжение. – 1999. – № 3. – С. 112–116.
9. Головчук А. Ф. Автоматика теплових процесів : навч. посіб / А. Ф. Головчук. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 54 с.
10. Liao, Z. (2015). A Simulation Study on the Energy Efficiency of Gas-Burned Boilers in Heating Systems / Z. Liao, W. Huan // Intern. J. of Energy and Power Engineering, 4, 6, 327–332.

References

1. Efimtseva, L. O. (2014). Enerhetychna bezpeka v Ukraini: sut, pokhodzhennia ta perspektyvy [Energy Security in Ukraine: the nature, origin and prospects]. Ekonomika APK: mizhnarodnyi naukovo-vyrobnychy zhurnal, 5, 85–92.
2. Maryniak, B. B. (2015). Analiz teplopostachannia v Ukraini v konteksti ekoloho-ekonomichnoi bezpeky [Analysis of the heat in Ukraine in the context of environmental and economic security]. Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini: zb. nauk. Pr, 4, 149–156.
3. [Drahanov, B. Kh., Bessarab, O. S., Dolinskyi, A. A. ta in]. (2005). Teplotekhnika: pidruchnyk; za red. B. Kh. Drahanova. Kyiv: Firma «INKOS», 400.
4. Tytko, R. (2010). Vidnovliuvalni dzherela enerhii [Renewable energy]. Varshava: OWG, 533.
5. Pshinko, O. M., Habrinets, V. O., Horiachkin, V. M. (2014). Analiz efektyvnosti systemy teplopostachannia studmistechka Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu [Analysis of campus heating system efficiencies of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. Nauka ta prohres transport, 2 (50), 74–82.

6. Karp, I. N., Mkhitarian, N. I. (2000). Detsentralizovannoye teplosnabzheniye zdaniy i sooruzheniy [Decentralized heating of buildings and structures]. Ekotekhnologii i resursozberezheniyem, 1, 5–12.
7. Lavrentsov, E. M. (2007). Novyye konstruktivnyye resheniya pri sozdanii vodogreynykh kotlov s vysokimi tekhniko-ekonomicheskimi pokazatelyami [New design solutions to create hot water boilers with high technical and economic indicators]. Ekotekhnologii i resursosberezheniye, 1, 57–64.
8. Marchenko, G. S. (1999). Kotly sredney moshchnosti dlya avtonomnykh sistem teplosnabzheniya [Medium power boilers for autonomous heating systems]. Ekotekhnologii i resursosnabzheniye, 3, 112–116.
9. Holovchuk, A. F. (2015). Avtomatyka teplovykh protsesiv: navch. posib [Automation of Thermal Processes]. Dnipropetrovsk: Vyd-vo Dnipropetr. nats. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazariana, 54.
10. Liao, Z., Huan, W. (2015). A Simulation Study on the Energy Efficiency of Gas-Burned Boilers in Heating Systems. Intern. J. of Energy and Power Engineering, 4 (6), 327–332.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В КОММУНАЛЬНОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

А. Ф. Головчук

Аннотация. Решена актуальная проблема энергосбережения и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, а также оптимизации системы теплоснабжения на базе студенческого городка.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, энергосбережение, децентрализация системы отопления, твердотопливные и газовые котлы, автоматизация, человеческий фактор, экономическая эффективность

ENERGY SAVING IN UTILITY HEAT SUPPLY

A. Golovchuk

Abstract. Critical problem of energy saving and reasonable utilization of fuel-energy recourses has been solved as well as optimization system of heat supply for student's campus.

Keywords: fuel-energy recourses, energy saving, decentralization of heating networks, solid fuel and gas-fired boilers, automatization, human factor, economic efficiency

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ІНДУКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМНО-АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ПРОБЛЕМІ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ЧАСУ

В. В. ОСИПЕНКО, доктор технічних наук
e-mail: vvo7@ukr.net

В. В. КОВАЛЬ, доктор технічних наук
e-mail: v.koval@nubip.edu.ua

Анотація. Існуючі в Україні технічні засоби і технології ще не задовольняють вимоги всіх споживачів частотно-часової інформації, а тому актуальною залишається проблема інноваційного проектування єдиної інформаційної системи (ЄІС) розповсюдження національної шкали часу. Стаття має проблемно-постановчий характер і присвячена одному з підходів до розв'язання зазначеної проблеми, а саме: застосуванню індуктивної технології системно-аналітичних досліджень до вирішення задач інноваційного проектування.

Ключові слова: індуктивна технологія, системно-аналітичні дослідження, інноваційне проектування, національна шкала часу

Комп'ютерні системи та мережі, які повинні забезпечувати обмін цифровими даними між численними споживачами, є базовими технологіями в процесах перетворення інформаційного суспільства в суспільство знань. При цьому нагальною вимогою є необхідність використання високоточних вимірювань часу і частоти, на яких базується якісна робота і синхронізація технологічних процесів у багатьох сферах споживання, зокрема таких як телекомунікація, служба метрології, телебачення, інформаційні інфраструктури силових відомств, енергосистеми, транспортні мережі і т. п. [1–4].

Станом на сьогодні, існуючі в Україні технічні засоби не утворюють єдиної системи і не можуть ще задовольнити вимоги всіх споживачів частотно-часової інформації, а тому постає проблема інноваційного проектування єдиної інформаційної системи (ЄІС) розповсюдження національної шкали часу.

Результатом вирішення такої проблеми має стати, на нашу думку, довершений інноваційний проект, як комплексний документ, що містить би висвітлення основних розділів з виконання необхідних робіт [1], [5].

Відомо, що системні інформаційно-аналітичні дослідження (СІАД) інноваційного спрямування мають на меті цільовий пошук нових фундаментальних чи прикладних знань у певній предметній галузі для формування інноваційно-інвестиційних проектів [6]. Тому тут пропонується виконання досліджень у даній конкретній сфері, тобто для

вирішення проблеми інноваційного проектування єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу, виконувати за допомогою сучасних технологій СІАД.

Проте, наявні технології виконання складних завдань СІАД не забезпечують ефективне вирішення таких проблем в умовах обмежених ресурсів часу і вартості за зростаючих вимог до якості та об'єктивності кінцевих документів [6]. Враховуючи це, у роботі пропонується новий індуктивний підхід до виконання таких досліджень у застосуваннях інноваційного проектування ЄІС розповсюдження національної шкали часу.

Мета досліджень – застосування новітньої індуктивної технології інформаційних системно-аналітичних досліджень (ІТСІАД) в актуальній проблемі інноваційного проектування єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу.

Матеріали і методика досліджень. Методика досліджень базується на наукових засадах побудови ІТСІАД у задачах інноваційного проектування різної природи, зокрема у застосуваннях до вирішення системної проблеми інноваційного проектування єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу.

Індуктивну технологію виконання СІАД у задачах інноваційного проектування можна розглядати як певну стратегічну багатоетапну процедуру S^* таку, яка б у обґрунтованих часових (t) і вартісних (f) межах давала можливість формування інформаційного базису I_b^* , достатнього для створення оптимального за системою цільових критеріїв $\{CR\}$, результату $R^*(I_b^*)$ як носія нового знання, здатного вирішити виниклу проблему за мінімізації впливу означених негативних чинників. Формально це можна коротко записати так:

$$S^*: \left\{ R^*(I_b^*) \mid (\dot{r}^* \leq \dot{r}_0, t^* \leq t_0) \xrightarrow{\{CR\}} opt \right\}, \quad (1)$$

$$f^* = \sum_{i=1}^F \sum_{j=1}^T f_{ij} \leq f_0, \quad t^* = \sum_{j=1}^T t_j \leq t_0 \quad (2), (3)$$

де $\dot{r}_i, i=1, \dots, F$ – економічні показники, тобто всі статті бюджету дослідження;

$t_j, j=1, \dots, T$ – часові показники проекту, тобто синхронізовані проміжки часу, які необхідно затратити на досягнення проміжних результатів.

Далі, виходячи з висунутої у [6] гіпотези, СІАД представимо з позицій теорії індуктивного моделювання [7]. У роботі [6] також показано, що специфіка інформаційного середовища СІАД є подібною до інформаційного середовища, в якому успішно працює метод групового урахування аргументів (МГУА) як фундаментальна основа наукового напрямку індуктивного моделювання складних систем (ІМСС) [7]. Тому інформаційна технологія індуктивного типу виконання інноваційного СІАД має будуватися за принципами багатоетапних алгоритмів ІМСС, таке

дослідження слід виконувати не менш ніж двома аналітичними групами, а оптимальний результат $R^*(I_b^*)$ має відбиратися за зовнішніми критеріями селекції з множини синтезованих результатів і розглядатися як певний аналог моделі оптимальної складності.

Поняття результату $R^*(I_b^*)$, як і поняття критеріїв $\{CR\}$ оцінювання оптимальності такого результату, у СІАД є одними із центральних.

Отже, результатом виконання індуктивної технології СІАД є фінальний комплексний документ $D(R^*(I_b^*))$, що базується на оптимальному, в сенсі доцільно задіяних критеріїв $\{CR\}$, результаті $R^*(I_b^*)$ предметного системного аналізу складного об'єкта (процесу, явища чи проблеми) і сконструйованому на оптимальному інформаційному базисі I_b^* , містить нове знання стосовно вирішення проблеми, має інформаційно-рекомендаційний характер, наділений певним офіційним статусом і рівнем доступу.

Така інформаційна технологія дістала назву *індуктивної технології системного інформаційно-аналітичного дослідження* (ІТСІАД).

Розглянемо деякі основні поняття й означення об'єктів, елементів і критеріїв для застосувань в ІТСІАД [8].

Насамперед, це поняття еталонного результату $R^0(I_b^0)$ в ІТСІАД, як формалізованого й узгодженого висновку *експертної комісії верхнього рівня* (ЕКВР) стосовно кожного його елемента e_{ij} , сформованого у вигляді прямокутної матриці $E(R^0(I_b^0))$ розмірністю $n \times m$, яка характеризує прообраз фінального результату і є такою:

$$E(R^0(I_b^0)) = (e_{ij}) = \begin{pmatrix} e_{11} & \dots & e_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & \dots & e_{mn} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де i -й рядок, $i = 1, 2, \dots, m$, відображує один із беззаперечних видів вимог до кінцевого результату дослідження з узгоджених позицій незалежних експертів, а j -й стовпчик, $j = 1, 2, \dots, n$ – доцільні підрозділи i -го елемента.

ЕКВР є зовнішнім елементом в ІТСІАД, основним завданням якої є, крім створення еталону (4), тестування напрацювань аналітиків у процесі виконання дослідження. До ЕКВР входять незалежні експерти, які успішно пройшли спеціальний конкурсний відбір.

Отже, така матриця відображує лише форму еталонного результату $R^0(I_b^0)$ й відповідного фінального документа $D\{R^*(I_b^*)\}$, а її елементи – формалізовані й узгоджені певним чином якісні оцінки його складників (розділів, підрозділів, параграфів, додатків тощо). Крім того, предметна інтерпретація матриці (4) загалом узгоджується й повинна задовольняти замовника дослідження. Це означає, що $R^0(I_b^0)$ є формальним

прообразом документа, тобто того фінального результату, який може вирішити поставлену проблему найкращим із можливих для замовника чином. Важливість такого узгодження формального представлення з позицією й вимогами замовника є очевидною і на це звертається увага більшості сучасних дослідників.

Індуктивний підхід до виконання СІАД передбачає поступове нарощування початкового інформаційного базису I_b^1 , який є у розпорядженні аналітиків на початку виконання роботи, через створення проміжних результатів $R_k(I_b^s)$ та одержання із зовнішнього інформаційного середовища додаткових блоків інформації I_{bs}^+ до рівня I_b^0 і є багатоетапною процедурою ($s=1, \dots, S$ – етапи, $k=1, \dots, K$ – кількість варіантів проміжних результатів на s -му кроці). Отже, результати $R_k(I_b^s)$ необхідно оцінювати на відповідність еталону $R^0(I_b^0)$, для якого експертами ЕКВР уже створено матрицю $E(R^0(I_b^0))$.

Звідси постає необхідність оцінювання й формалізації проміжних результатів з тим, щоб такі незалежні формалізовані оцінки могли виконувати роль співрозмірних об'єктів порівняння в критеріях оцінювання. Для цього вводиться ще один спеціальний об'єкт, який дістав у роботі назву “матриці проміжних результатів”. Така матриця, що формується для кожної з двох груп аналітиків А і В, має таку саму розмірність ($n \times m$), як і матриця еталона $E(R^0(I_b^0))$, а також має аналогічний до неї вигляд:

$$W(R_k(I_b^j))^A = \begin{pmatrix} w_{11}^A & \dots & w_{1n}^A \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1}^A & \dots & w_{mn}^A \end{pmatrix}; W(R_k(I_b^j))^B = \begin{pmatrix} w_{11}^B & \dots & w_{1n}^B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1}^B & \dots & w_{mn}^B \end{pmatrix}. \quad (5), (5a)$$

Елементи w_{ij} формуються й узгоджуються в ЕКВР багаторазово за такими самими процедурами упродовж виконання СІАД, як сформовані елементи e_{ij} .

Отже, на відміну від ІМСС, у критеріях селекції ІТСІАД об'єктами порівняння виступають уже не окремі числа (наприклад, виходи моделей), а зазначені матриці – матриця еталона $E(R^0(I_b^0))$ та матриці проміжних результатів $W(R_{sk}(I_b^s))^A$ і $W(R_{sk}(I_b^s))^B$, елементами яких є певним чином формалізовані оцінки експертів з ЕКВР.

Оскільки в ІТСІАД необхідно оцінювати відповідність одних об'єктів іншим, а саме: відповідність сформованих проміжних чи фінального результатів дослідження еталонному, критерії оцінювання природно будувати на понятті релевантності. Введемо матриці Δ_{rel}^2 і Δ_{corel}^2

розбіжності проміжних результатів $W(R_{sk}(I_b^s))^A$, $W(R_{sk}(I_b^s))^B$ між собою та з еталонним $E(R^0(I_b^0))$. Ці матриці такі:

$$\Delta_{rel}^2 = (\delta_{ij}^2)_{WE} = \begin{pmatrix} \delta_{11}^{2(we)} & \dots & \delta_{1n}^{2(we)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{1m}^{2(we)} & \dots & \delta_{mn}^{2(we)} \end{pmatrix}, \quad i=1,\dots,m, \quad j=1,\dots,n \quad (6)$$

у якій елементи $(\delta_{ij}^2)_{WE}$ дорівнюють квадратам різниць між елементами матриць $W(R_{sk}(I_b^s))^A$ та $W(R_{sk}(I_b^s))^B$, $s=1,\dots,S$, $k=1,\dots,K$, відповідно та елементами еталонної матриці $E(R^0(I_b^0))$:

$$(\delta_{ij}^2)_{W^A E} = (w_{ij}^A - e_{ij})^2, \quad (\delta_{ij}^2)_{W^B E} = (w_{ij}^B - e_{ij})^2 \quad (7), (7a)$$

Означення. Релевантністю SR_{rel} в СІАД називається міра виду:

$$SR_{rel}(W^A, E^0)_{sk} = \|W(R_{sk}(I_b^s))^A - E(R^0(I_b^0))\|, \quad s=1,\dots,S, \quad k=1,\dots,K, \quad (8)$$

для результатів групи А та для результатів групи В є вираз:

$$SR_{rel}(W^B, E^0)_{sk} = \|W(R_{sk}(I_b^s))^B - E(R^0(I_b^0))\|, \quad s=1,\dots,S, \quad k=1,\dots,K. \quad (8a)$$

Означення. Системним критерієм релевантності в ІТСІАД є вираз:

$$CR_{rel}^A(W^A, E^0)_{sk} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2(W^A, E^0)_{R_{sk}}}, \quad (9)$$

$$\text{або} \quad CR_{rel}^B(W^B, E^0)_{sk} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2(W^B, E^0)_{R_{sk}}}, \quad (9a)$$

де з метою спрощення позначено $W^A = W(R_{sk}(I_b^s))^A$ та $W^B = W(R_{sk}(I_b^s))^B$, $s=1,\dots,S$, $k=1,\dots,K$. Таким чином, вираз системного критерію релевантності в індуктивних СІАД має простий і зрозумілий зміст. Тут матриці $W(R_{sk}(I_b^s))^A$, $W(R_{sk}(I_b^s))^B$ можуть бути сформовані як для будь-яких проміжних, так і для фінального результатів $R_{sk}(I_b^s)$ залежно від номера результату k , $k=1,\dots,K$, на s -му кроці, $s=1,\dots,S$ та індексу аналітичної групи (А або В) тощо, тоді як матриця $E^0 = E(R^0(I_b^0))$ є незмінною впродовж усього СІАД.

Застосування принципу зовнішнього доповнення в ІТСІАД тягне за собою необхідність конструювання ще одного критерію для порівняння проміжних результатів, отриманих двома незалежними дослідницькими групами А і В. Для цього формуються матриці $W(R_{sk}(I_b^s))^A$ і $W(R_{sk}(I_b^s))^B$ для проміжних результатів, одержаних групою аналітиків А і В відповідно.

Процедури побудови матриць $W(R_{sk}(I_b^s))^A$ і $W(R_{sk}(I_b^s))^B$ для проміжних результатів $R_{sk}(I_b^s)^A$ і $R_{sk}(I_b^s)^B$, $k=1,...,K$, $s=1,...,S$ відповідно повинні бути такими самими, за якими була сформована й матриця еталону $E(R^0(I_b^0))$.

В ІМСС критерій несуперечності вимагає, щоб моделі однакової структури, коефіцієнти яких обчислені на частинах А і В на заданому інформаційному базисі, давали б максимально близькі вихідні результати. Ця властивість використана у спеціальному понятті – *корелевантність*.

Для цього аналогічно (6) визначимо через Δ_{corel}^2 матрицю:

$$\Delta_{corel}^2 = (\delta_{ij}^2)_{WW} = \begin{pmatrix} \delta_{11}^{2(ww)} & \dots & \delta_{1n}^{2(ww)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{1m}^{2(ww)} & \dots & \delta_{mn}^{2(ww)} \end{pmatrix}, \quad i=1,...,m, \quad j=1,...,n, \quad (10)$$

де:

$$(\delta_{ij}^2)_{WW} = (w_{ij}^A - w_{ij}^B)^2. \quad (11)$$

Означення. Корелевантністю результатів у індуктивній процедурі СІАД називається міра виду:

$$SR_{corel}(W^A, W^B)_{sk} = \|W(R_{sk}(I_b^s))^A - W(R_{sk}(I_b^s))^B\|, \quad s=1,...,S, \quad k=1,...,K \quad (12)$$

Означення. Системним критерієм корелевантності в ІТСІАД є вираз:

$$CR_{corel}(W^A, W^B)_{sk} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2(W^A, W^B)_{sk}}, \quad (13)$$

де, як і в (9) та (9а), вводяться позначення $W^A = W(R_{sk}(I_b^s))^A$, $W^B = W(R_{sk}(I_b^s))^B$, $\delta_{ij}^2(W^A, W^B)_{sk}$ – елементи δ_{ij}^2 матриці Δ_{corel}^2 розбіжності результатів $R_{sk}(I_b^s)^A$ і $R_{sk}(I_b^s)^B$, формалізованих у матрицях $W(R_{sk}(I_b^s))^{A,B}$ $k=1,...,K$, $s=1,...,S$.

В індуктивних процедурах СІАД вводиться ще один спеціальний критерій, який дістав назву *критерію балансу інформаційних базисів*, який призначений для відбору на кожному кроці ІТСІАД такої за змістом інформації I_{bs}^+ (блоків), запити на яку від обох груп максимально б збігалися. На кожному кроці дослідження цей критерій порівнює інформаційні запити обох груп:

$$CR_{inf}(I_b) = \sum_{l=1}^L \delta_{sl}, \quad s=1,...,S$$

$$де: \quad \delta_{sl} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } I_b^{sl(A)} = I_b^{sl(B)} \\ 1, & \text{якщо } I_b^{sl(A)} \neq I_b^{sl(B)}, \end{cases} \quad (14)$$

де L – кількість пунктів у запитах на s -му кроці дослідження;
 I_b – сукупність усіх запитів, отриманих від обох аналітичних груп на s -му кроці, $s = 1, \dots, S$.

Таким чином, на s -му кроці мінімізується критерій виду:

$$I_b^{s+} = \arg \min_{I_b^s \in \mathfrak{I}_b} CR_{inf} \{I_b^{sA}, I_b^{sB}\} \quad (15)$$

Для всього процесу аналітичного дослідження маємо критерій:

$$CR_{inf}(I_b) = \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \delta_{sl} \rightarrow \min \quad (16)$$

На рис. 1 подано загальну архітектуру двогрупової ІТСІАД.

Результати досліджень. У концептуальному аспекті результати досліджень показують можливість та ефективність застосування ІТСІАД до проблеми інноваційного проектування ЄІС розповсюдження національної шкали часу.

Отже, ефективне застосування ІТСІАД до вирішення проблеми інноваційного проектування ЄІС розповсюдження національної шкали часу концептуально, застосовуючи схему рис.1, може бути здійснене в такому, поданому нижче, напрямі виконання процедури ІТСІАД. Для цього, зокрема, випишемо стадії й кроки, які необхідно пройти згідно з описаною технологією з метою синтезу оптимального результату $R^*(I_b^*)$, який і повинен стати основою формування фінального документа $D\{R^*(I_b^*)\}$, який містив би відповіді на основні задачі проблеми інноваційного проектування ЄІС розповсюдження національної шкали часу.

Стадія I.

1. Постановка проблеми.
2. Конкурсне формування ЕКВР.
3. Конкурсний відбір аналітичних груп А і В для виконання СІАД.
4. Конструювання первинного інформаційного базису I_b^1 в ЕКВР.
5. Визначення критичних ресурсів ІІП:
 - час виконання (τ);
 - бюджет (ϵ).

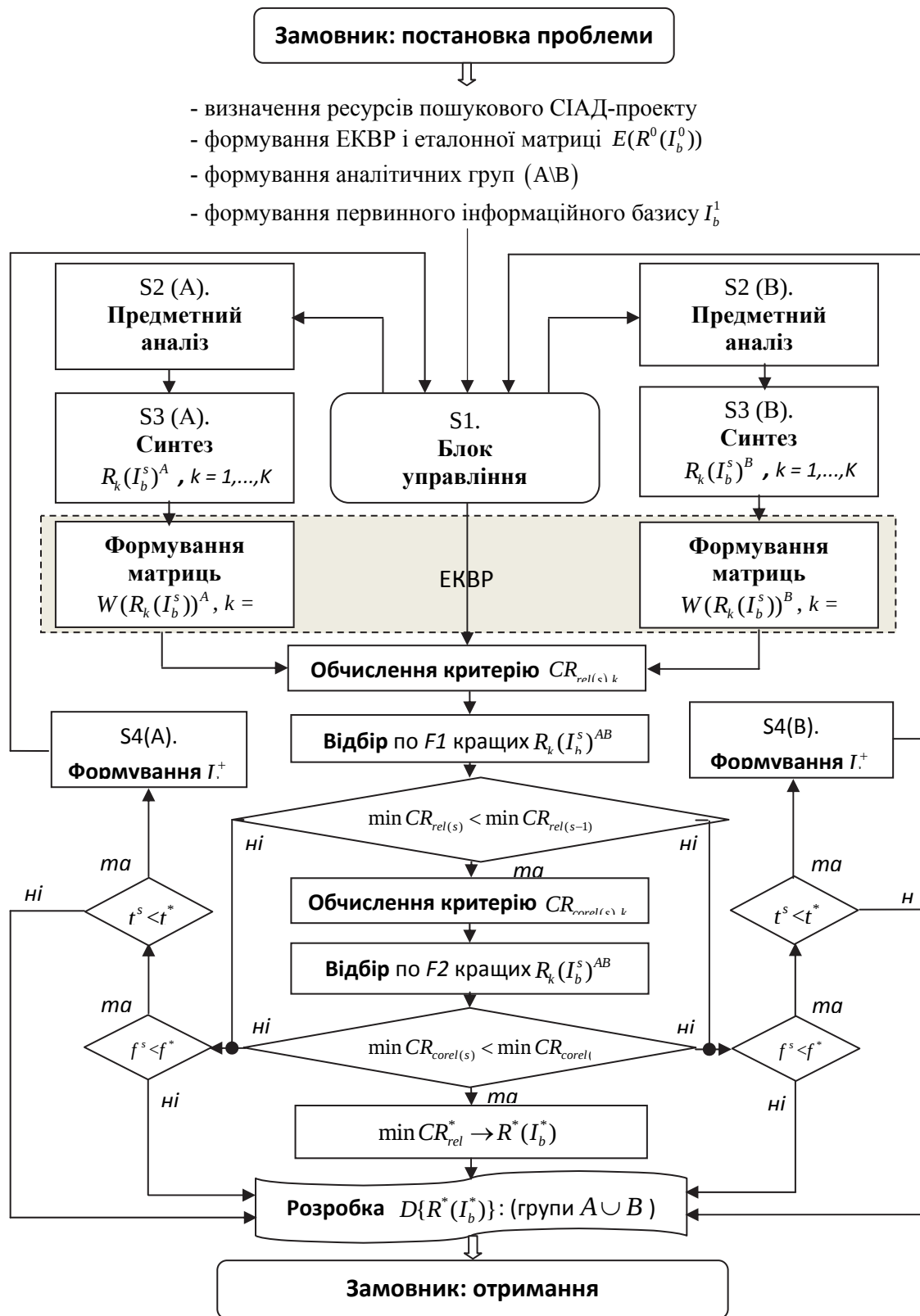


Рис. 1. Загальна архітектура двогрупової ІТСІАД

Стадія II. Формування матриці $E(R^0(I_b^0))$ еталонного результату (4).
Узгодження елементів e_{ij} матриці експертами – членами ЕКВР.

Стадія III. Збір, фільтрація й попереднє опрацювання додаткової інформації із зовнішнього інформаційного середовища, об'єми якої доповнюють формування I_b^1 , починаючи з етапу 2.

Стадія IV. Подальше виконання ІТСІАД інноваційного типу відбувається за наступною процедурою.

Етап 1. Групами А і В напрацьовуються результати $R_{sk}(I_b^1)^A$, $R_{sk}(I_b^1)^B$, $k=1,2,\dots,K, s=1$, які включають лише початковий інформаційний базис I_b^1 , і кожний такий результат оцінюється експертами і формалізується за тим самим принципом, що й елементи e_{ij} матриці $E(R^0(I_b^0))$, тобто формуються матриці результатів $W(R_{1k}(I_b^1))^A$ і $W(R_{1k}(I_b^1))^B$ для груп А і В відповідно.

Кожний отриманий результат оцінюється за критеріями релевантності CR_{rel} (9)–(9а) та корелевантності CR_{corel} (13), а значення цих критеріїв і відповідні результати $R_{1k}(I_b^1)^A$ і $R_{1k}(I_b^1)^B$ ранжуються за спаданням.

Далі починає діяти блок інформаційного моніторингу, головна функція якого – формування додаткової цільової релевантної порції I_b^+ інформації, яка повинна доповнювати ансамбль I_b^s , $s=1,\dots,S$ (на першому кроці, природно, $s=1$ і ця процедура не виконується), зважаючи на критерій (14)–(16).

Етапи 2, ..., S. Формуються аналітичні результати $R_{sk}(I_b^s)^A$, $R_{sk}(I_b^s)^B$, $s=1,\dots,S, k=1,\dots,K$, які базуються на результатах попередніх етапів та інформації I_{bs}^+ цілеспрямованого інформаційного моніторингу. Знову кожний синтезований результат $R_k(I_b^s)^A$ або $R_k(I_b^s)^B$, напрацьований окремо й відповідно групами А чи В, оцінюється за критеріями системної релевантності CR_{rel} (9)–(9а) та системної корелевантності CR_{corel} (13), а результати оцінювання ранжуються за відповідними значеннями цих критеріїв за спаданням.

У міру виконання СІАД і заповненні вказаних матриць критерій досягає певного максимуму, після чого в подальшому веде себе подібно до критерію релевантності (9)–(9а).

Останнім *етапом* процедури ІТСІАД є такий, на якому:

а) отримано результат, який об'єктивно є найкращим за системними критеріями (9)–(9а), (13) і повністю задовольняє замовника;

б) отримано результат, який ще можна покращити, але він уже задовольняє замовника;

в) вичерпані проектні ресурси дослідження (наприклад, час, кошти або обидва ресурси разом).

Стадія V. Формування оптимального результату $R^*(I_b^*)$ обома групами на основі остаточно відібраних фінальних результатів $R^*(I_b^*)^A$ і $R^*(I_b^*)^B$ й оформлення відповідного документа $D\{R^*(I_b^*)\}$. Обидві аналітичні групи на цій стадії вже працюють разом.

Стадія VI. Остаточний тест документа $D\{R^*(I_b^*)\}$ оцінюється за тими самими принципами, які були прийняті на початку СІАД експертами ЕКВР, відбувається його захист і передача замовнику.

Індуктивна технологія СІАД може, очевидно, певною мірою трактуватися як *оптимальна багатоетапна стратегія S^* виконання проекту пошукового інформаційно-аналітичного дослідження*. Проте розгляд цих питань з позицій проектного менеджменту не є предметом наших досліджень.

У даному випадку – це найбільш критичні ресурси: $\varepsilon^* \leq \varepsilon_0$ і $\tau^* \leq \tau_0$, де ε_0 і τ_0 – індикатори граничних значень бюджетного і часового ресурсів відповідно, і в цьому контексті вони згадуються, як було зазначено вище, лише як необхідні атрибути у задачах ІП.

Очевидно, що важливим етапом виконання ІТСІАД є конструювання первинного інформаційного базису I_b^1 в ЕКВР.

З позиції вирішення *проблеми інноваційного проектування єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу*, а також зважаючи на вимоги застосування ІТСІАД, треба виокремити певну множину елементів первинного інформаційного базису I_b^1 .

На початковому етапі не варто претендувати на повноту такої інформації, оскільки за ІТСІАД потужність вхідного інформаційного базису з необхідністю повинна посилюватися в процесі виконання дослідження.

У нашому випадку базис $I_b^1 = \{i_{bj}^1\}$,

де i_{bj}^1 , $j=1, \dots, 10$, – це певні вимоги й параметри інноваційного проекту, які концептуально тут можна сформулювати так [9, 10]:

i_{b1}^1 – еталонні сигнали часу;

i_{b2}^1 – еталонні сигнали частоти;

i_{b3}^1 – еталонна шкала часу;

i_{b4}^1 – характеристики існуючих інформаційних каналів передачі даних;

i_{b5}^1 – частоти інших держав (GPS, ГЛОНАСС, Galileo);

i_{b6}^1 – необхідна точність синхронізації шкал часу різних технічних систем;

i_{b7}^1 – типи каналів передавання та їх точність отримання часової інформації;

i_{b8}^1 – характеристики первинних параметрів: фази, часу, амплітуди;

i_{b9}^1 – характеристики похідних параметрів: частота або період;

i_{b10}^1 – вимоги до характеристик обладнання мережі синхронізації.

У разі потреби, для конкретного інноваційного проектування *єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу* поданий первинний інформаційний базис $I_b^1 = \{i_{bj}^1\}$ можна змінити або доповнити.

Висновки

У роботі подано концептуальні засади застосування індуктивної технології інформаційних системно-аналітичних досліджень до вирішення складної й безперечно актуальної проблеми інноваційного проектування єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу. Робота має певною мірою постановочний характер, проте відображує цілі й задачі, які необхідно розв'язати для отримання інформаційного фундаменту вирішення загальної проблеми. Одним із можливих інформаційних фундаментів у роботі визначено інноваційний проект, як комплексний документ, який повинен містити системно-аналітичне опрацювання основних розділів вирішення посталої технологічної проблеми.

Список літератури

1. Автоматичні пристрої та системи тактової синхронізації інфокомунікаційних мереж / [Коваль В. В., Кальян Д. О., Кільчицький Є. В. та ін.]. – К. : НУБіП України, 2015. – 412 с.
2. Величко О. Н. Вторичный эталон единиц времени и частоты как источник сигналов синхронизации и времени / О. Н. Величко, М. В. Головня // Электросвязь. – 2013. – № 2. – С. 22–25.
3. Shkliarevskyi, I. (2014). Precision Time Protocol in different applications: profile comparative analysis / I. Shkliarevskyi // T-Comm, 8, 11, 116–120.
4. Ingram, D. M., et al. (2013). Performance Analysis of PTP Components for IEC 61850 Process Bus Applications / D. M. Ingram, et al. // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 62, 4, 710–719.
5. Osypenko, V. (2012). Inductive technologies of system-analytical research as an effective tools in complex innovative projects / V. Osypenko // Індуктивне моделювання складних систем : зб. наук. праць. – К. : МННЦІТіС НАН України, 4, 10–20.
6. Osypenko, V. (2013). Inductive method of system-information-analytical research as an intelligent information technology of complex systems investigations / V. Osypenko // Proceedings of 4-th Intern. Conf. on Inductive Modeling (ICIM-2013), Kyiv, Ukraine, September 16–20. Kyiv, 200–202.
7. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К. : Наукова думка, 1982. – 296 с.
8. Осипенко В. В. Система критеріїв в індуктивних процедурах системних інформаційно-аналітичних досліджень / В. В. Осипенко // Системні технології : міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 6 (77). – С. 108–116.

9. IEEE Instrumentation and Measurement Society, IEEE Std 1588™-2008 – Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.

10. Konovalov, G. (2013). Timing information's 24x7 monitoring as an important factor of network synchronization quality support: 2013 International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS-2013) / G. Konovalov, B. Kostik, V. Koval, I. Shkliarevsky // Digital Object Identifier: 10.1109/ISPCS.2013.6644769, Lemgo, Germany. – Sept. 22–27, 89–94.

References

1. Koval, V. V. ed. (2015). Avtomatychni prystroi ta systemy taktovoi synhronizatsii infokomunikatsijnyh merez [Automatic devices and systems for infocommunication networks clock synchronization]. K.: NUBiP Ukraine, 412.

2. Velichko, O. N., Golovnja, M. V. (2013). Vtorichnyj zakon edynits vremeni i chastoty kak istochnik signalov sinhronizacyi i vremeni [The secondary standard of units of time and frequency as a source of of synchronization signals and time]. Telecommunication, (2), 22–25.

3. Shkliarevskyi, I. Precision Time Protocol in different applications: profile comparative analysis (2014). T-Comm., 8 (11), 116–120.

4. Ingram, D. M., et al. (2013). Performance Analysis of PTP Components for IEC 61850 Process Bus Applications (2013). IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 62 (4), 710–719.

5. Osypenko, V. Inductive technologies of system-analytical research as an effective tools in complex innovative projects (2012) // Inductive Modeling of complex systems. Collection of scientific papers. – K.: International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems, 4, 10–20.

6. Osypenko, V. (2013). Inductive method of system-information-analytical research as an intelligent information technology of complex systems investigations. Proceedings of 4-th International Conference on Inductive Modeling (ICIM-2013), Kyiv, 200–202.

7. Ivakhnenko, A. G. Induktivnyi metod samoorganizacii modelej slojnyh system [The inductive method of self-organization models of complex systems]. Naukova Dumka, 296.

8. Osypenko, V. (2011). Systema kryteriiv v induktyvnyh procedurah systemnyh informatsijno-analitychnyh doslidjen [The system of criteria in inductive procedures of system information-analytical research], System technologies, 6 (77), 108–116.

9. IEEE Instrumentation and Measurement Society, IEEE Std 1588™-2008 – Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.

10. Konovalov, G., Kostik, B., Koval, V., Shkliarevsky, I. (2013). Timing information's 24x7 monitoring as an important factor of network synchronization quality support. 2013 International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS-2013). Digital Object Identifier: 10.1109/ISPCS.2013.6644769, Lemgo, Germany, Sept. 22–27, 89–94.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНДУКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
СИСТЕМО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОБЛЕМЕ
ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ**

**В. В. Осипенко,
В. В. Коваль**

Аннотация. *Существующие в Украине технические средства и технологии еще не удовлетворяют требования всех потребителей частотно-временной информации, а поэтому актуальной остается проблема инновационного проектирования единой информационной системы (ЕИС) распространения национальной шкалы времени. Статья имеет проблемно-постановочный характер и посвящена одному из подходов к решению указанной проблемы, а именно: применению индуктивной технологии системно-аналитических исследований к решению задач инновационного проектирования.*

Ключевые слова: *индуктивная технология, системно-аналитические исследования, инновационное проектирование, национальная шкала времени*

**CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF INDUCTIVE TECHNOLOGIES
OF SYSTEM-ANALYTICAL RESEARCH IN THE PROBLEM
OF INNOVATION DESIGN OF AN UNIFIED INFORMATION SYSTEM
OF THE TIME SCALE NATIONAL DISSEMINATION**

**V. Osypenko,
V. Koval**

Abstract. *The existing Ukraine's technical facilities and technologies is not yet meet the requirements of all customers of time-frequency information, and therefore remains a problem of innovative design of unified information system (UIS) of the national distribution time scale. This article is conceptually devoted to one of the most effective new approaches to solving this actual problem, namely for application of inductive technology of system-analytical research to solve the problems of innovative design.*

Keywords: *inductive technology, system-analytical research, innovative design, national time scale*

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В. М. СІДЛЕЦЬКИЙ, кандидат технічних наук

І. В. ЕЛЬПЕРІН, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

e-mail: vmsidletskiy@gmail.com

Анотація. *Наведено доповнення до системи автоматизації, спрямоване на вирішення важливих задач під час управління, а саме: ідентифікувати відхилення, знайти відповідне рішення та перевірити, чи досягнуто поставленої мети. У результаті дослідження встановлено, що використання тензорного методу дає змогу змодельовати багатомірний простір стану виробничих процесів і використати для виявлення відхилень у роботі.*

Ключові слова: *система керування, тензорний метод*

Відповідно до існуючих стандартів [1], а також практик впроваджень систем автоматизації для харчової промисловості, системи керування будуються як ієрархічні системи, де на нижньому рівні знаходиться автоматизована система керування технологічними процесом, а на самому верхньому рівні – система керування бізнес-процесами [2].

На кожному рівні є свої системи та підсистеми, які відповідають за виконання окремих задач, наприклад: ERP – планування та управління підприємством, MES – система управління виробничими процесами або SCADA – система диспетчерського керування виробництвом. До основних задач у процесі керування для таких систем є формування й передача інформаційних та управляючих даних між рівнями для прийняття відповідних рішень.

Початковим «нижнім» рівнем є рівень безпосереднього керування технологічним процесом, до якого входять датчики, виконавчі механізми, пристрої мікропроцесорної техніки. У цілому для цього рівня характерна наявність системи керування – систем реального часу: система диспетчерського керування виробництвом SCADA, система розподіленого керування DCS, система вдосконаленого керування APC. Практично всі зазначені системи працюють на відпрацьованих законах регулювання та алгоритмах (ПІД-закон регулювання, керування періодичними процесами, керування поточотранспортними системами).

Але, незважаючи на розглянуті досягнення, підходи при керуванні виробничими процесами залишаються, так би мовити, традиційними. Загалом можна зробити висновок, що при управлінні параметрами

технологічного процесу (керування апаратами, ділянками, технологічними лініями або підприємства в цілому) кожний керований процес у будь-який момент може переходити (потребує переходу) з одного поточного стану в інший (рис. 1а). Тобто, неважливо, чи це буде модернізація (розрахунок необхідного обладнання або розрахунок методів масштабування системи), управління технологічним процесом або технологічним апаратом, задача управління у нас буде полягати в тому, щоб перейти з однієї точки (поточного стану) в задану.

Поряд із цим, необхідно взяти до уваги, що технологічні процеси в харчовій промисловості є складними, інерційними, зі значними внутрішніми зв'язками та, крім цього, самі технологічні лінії можуть змінюватися – введенням у роботу або виведенням з роботи апарата чи додаткової обробки продукту.

І саме тому середовище (стан інших параметрів) також впливатиме на наш процес, саме тому система (точка) починає відхилятися від розрахованого шляху до заданого значення (рис. 1б). І саме тому, відповідно до умови, необхідно повернутись або продовжити рух до розрахованого стану, тому в даному випадку основною задачею є вибір методу (шляху) вирішення ситуації, що виникла.

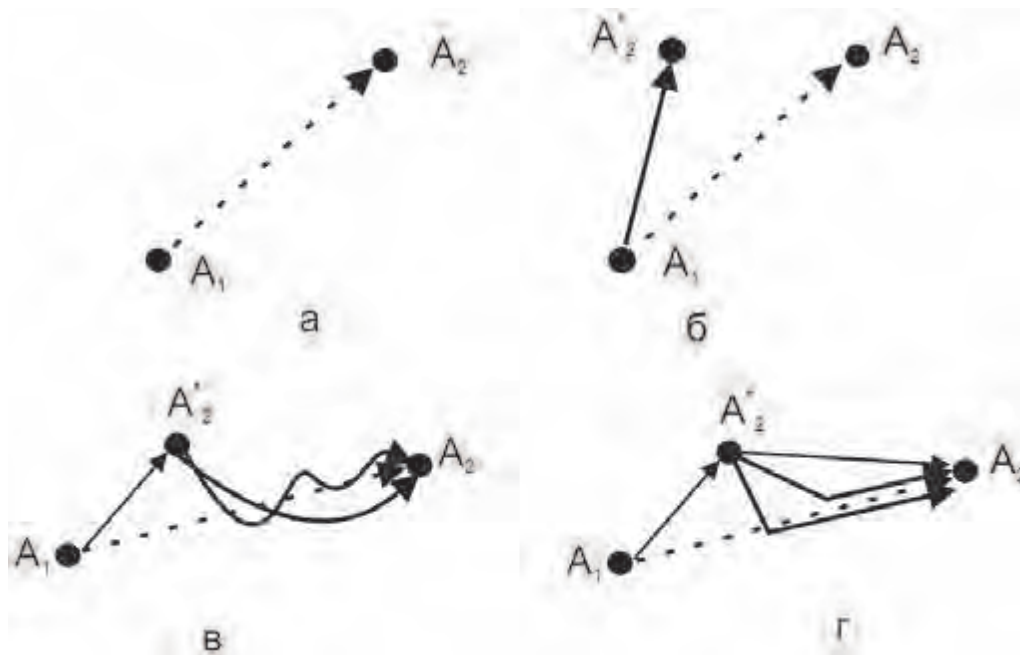


Рис. 1. Перехід керованої системи:

а – очікуваний, б – реальний, в, г – керування процесом для досягнення заданого стану

При цьому події можуть розвиватися кількома шляхами (рис. 1 в, г), і свідчать про недосконалість керування. Ідеальне керування – це перехід із поточного стану в заданий найкоротшим шляхом.

Для вирішення наведених задач для даного рівня керування, існують відпрацьовані підходи для управління, а також достатньо великий математичний апарат [3].

- для прогнозування появи нештатної ситуації використовуються підходи з теорії ймовірності;
- для прогнозування відмови обладнання використовуються підходи теорія масового обслуговування;
- для розрахунку необхідного обладнання та методів масштабування системи використовуються підходи динамічного програмування.

Також набули поширення підходи використання алгоритмів нечіткого виведення (FUZZY) та нейронечіткого виведення (ANFIS) [4, 5], як доповнюючих елементів систем керування.

Мета досліджень – використання апарата тензорного аналізу [7] для рівня розподіленого керування в автоматизованих системах об'єктів та комплексів харчової промисловості. Цей підхід дає змогу врахувати всю предметну область технологічного процесу або (та) іншого рівня ієрархії і дав змогу переходити від одного простору станів до іншого, причому була можливість поєднати такі речі, як температура та кількість сировини на складі, математичних залежностей та даних історії роботи.

Однією з важливих задач при управлінні технологічним процесом підприємства є вибір таких управляючих діянь, які будуть задовольняти роботу як окремо взятого апарата так і не будуть суперечливими для технологічної ділянки та підприємства в цілому, також при управлінні, як апаратом так і технологічними відділенням, неможливо знайти таке рішення, при якому всі показники роботи (критерії), набудуть одночасно найкращих значень.

Систему керування однією з технологічних ділянок виробництва можна подати у вигляді структурної схеми з системою автоматизації підтримання технологічних параметрів у заданих межах та надбудовою з додатковими модулями, які розширюють функціональну можливість системи керування (рис. 2).

Дана система виконує: аналіз стану технологічного процесу, оцінку ситуацій на виробництві, формує управляюче діяння, також вона доповнюється модулями. Модуль «Прогнозування появи нештатної ситуації», відповідає за аналіз роботи ділянки включно із системою керування, потім, використовуючи дані аналізу, моделюється та перевіряється можливість появи нештатної ситуації. Розраховуючи всі можливі варіації нештатних ситуацій, відбираються ті ситуації, які спричинять відмову роботи обладнання. Саме тому присутній модуль «Прогнозування відмови обладнання» розрахунку можливих відмов. На цей модуль надходять дані від систем керування та від модуля розрахунку появи нештатної ситуації. Як наслідок, це спричинює необхідність пошуку варіантів дублювання елементів системи, а у випадках нарощування якоїсь технологічної ділянки – до необхідності масштабування системи. Ці функції можуть бути виконані модулями «Розрахунок необхідного обладнання» та «Розрахунок методів масштабування системи».



Рис. 2. Автоматизована система для рівня розподіленого керування технологічним процесом

Матеріали і методика досліджень. Для початку приймаємо, що завжди система керування формує управляюче діяння: або для переходу з одного усталеного режиму в інший, або для зміни стану параметра (стану обладнання – вкл./викл.) Для утримання системи в заданому режимі (рис. 1). Тобто, завжди присутнє задане положення системи. Це може бути періодична робота апарата, введення в роботу чи виведення технологічної лінії з роботи, збій роботи обладнання або зміна режиму роботи теплообмінного апарата. Наприклад, для теплообмінного апарата приймемо найпростіший варіант, за якого температура середовища θ в апараті, чи на виході з нього, буде залежати тільки від ступенів відкриття клапанів теплоносія k_θ та середовища k_s на вході в апарат, усі інші параметри для початку будуть сталими.

У такому разі, зміна температури середовища може бути подана (рис. 3а), де зміна температури середовища при переході з точки 1 в точку 2 представлена у вигляді відрізка і значення якого знаходиться за формулою $\theta^2 = x_{k_\theta}^2 + x_{k_s}^2$. Але зрозуміло, що ця залежність не буде лінійною, температура в апараті буде також залежати, наприклад, і від температури середовища на вході в апарат S_θ . Тоді ця залежність може бути подана у вигляді тримірного простору для локальних координат (рис. 3б), і значення якого знаходиться за формулою $\theta^2 = x_{k_\theta}^2 + x_{k_s}^2 + x_{S_\theta}^2$.

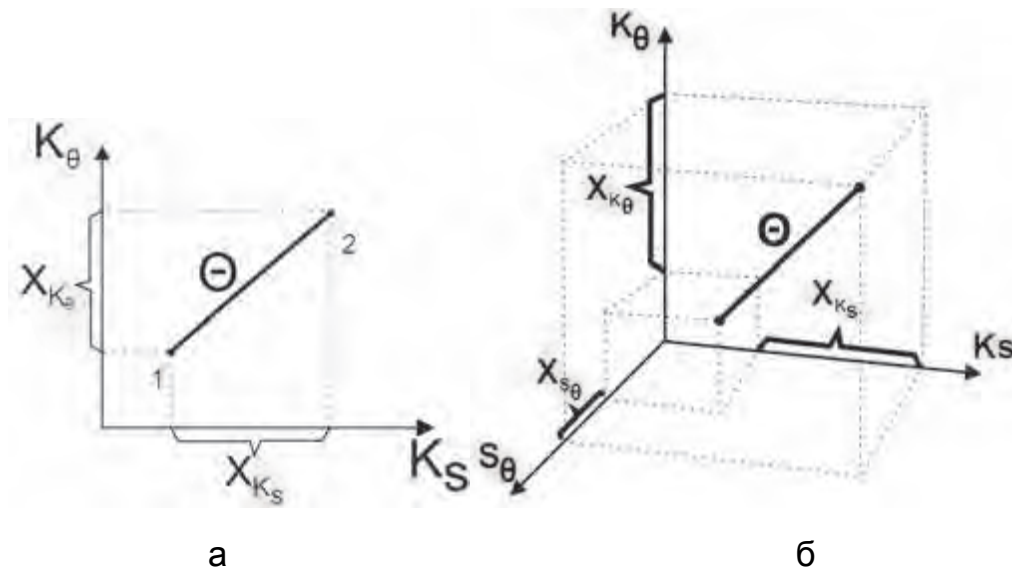


Рис. 3. Зміна температури середовища в апараті:
а- в двовимірному просторі, б – тривимірному просторі

Таким чином, можна описати будь-який n-мірний простір і задавати його у вигляді тензора [6]. Наприклад, у нашому випадку для тривимірного простору тензор матиме вигляд:

$$\Theta_2 = \begin{pmatrix} K_S^2 \\ K_\Theta^2 \\ S_\Theta^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{K_S}^{K_S} & X_{K_S}^{K_\Theta} & X_{K_S}^{S_\Theta} \\ X_{K_\Theta}^{K_S} & X_{K_\Theta}^{K_\Theta} & X_{K_\Theta}^{S_\Theta} \\ X_{S_\Theta}^{K_S} & X_{S_\Theta}^{K_\Theta} & X_{S_\Theta}^{S_\Theta} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} K_S^1 \\ K_\Theta^1 \\ S_\Theta^1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Тензори можна формувати як зі значень коефіцієнтів системи рівнянь математичної моделі, так і з дослідних значень чи історичних трендів роботи: апарату, ділянки, підприємства.

Крім того, що за допомогою тензорів можна задавати будь-яку площину і з ними можна виконувати всі математичні операції, їх можна додавати, віднімати, множити, ділити, причому як на скаляр, так і на вектор. У нашому випадку, використання тензорів дасть змогу переходити між ієрархічними рівнями системи керування для пошуку оптимального керування, знаходити найкоротший шлях між переходом від поточного стану технологічної системи до нового, який задається регламентом.

Результати досліджень. Випадки, коли потрібне втручання оператора в процес, є не поодинокими, якщо взяти найпростіший процес для цукрового заводу рис. 4а, а саме: підтримання температури речовини на виході з підігрівача, тобто задачу, для якої ідеальне використання під регулятора, тоді як на рис. 4б, показана залежність температури після підігрівача t (°C) від положення регулюючого органу K_L (%) і подачі пари на підігрівач та часу t (хв.)

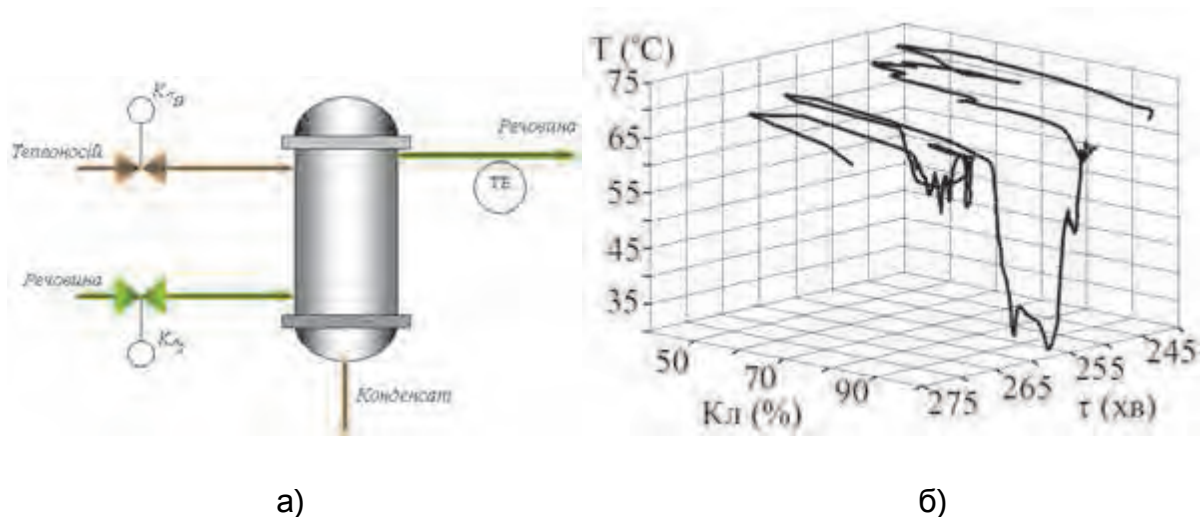


Рис. 4. Значення температури після підігрівача $T(^{\circ}\text{C})$ від положення регулюючого органу $K_{\text{л}} (\%)$ і подачі пари на підігрівач

Як видно з рис. 4, що хоча регулятор і працював належним чином і відкрив клапан подачі пари на підігрівач на 100%, температура з інших причин стала на 50% меншою від заданого значення, що для цього технологічного процесу є критичним. Саме в таких випадках і необхідно втручатись оператору в роботу системи керування. Складність даної задачі полягає в тому, що оператор зверне на це увагу не при появі причин критичної ситуації, а вже коли з'являться її наслідки. Тобто з графіка (рис. 2) видно, що положення регулюючого органу для нормальної роботи знаходиться в межах 50–60%. При появі нештатної ситуації приблизно на 245-й хвилині зазначеного проміжку дослідження, система керування відпрацьовує заданий алгоритм і регулюючий орган протягом 5 хв відкривається і вже на ≈ 250 -й хвилині займає своє крайнє положення (100% відкриття). Після цього, температура різко починає знижуватися, тобто виникає некерований процес. Саме тому, в такій ситуації необхідно спрогнозувати виникнення нештатної ситуації та надати оператору рекомендацію про можливу її появу.

У процесі роботи для теплообмінного апарату на дифузійній станції було отримано значення параметрів його роботи. За цими даними були сформовані масиви (рис 5).

Даний багатомірний масив формувався для значень:

- ступінь відкриття клапану подачі рідини в підігрівач $K_S = [0; 4,5; 9; 13,5; 18; 22,5];$
- температура рідини на вході в підігрівач $S_{\theta} = [52; 55,5; 59; 62,5; 66; 69,5];$
- ступінь відкриття крану пари в підігрівач $K_{\theta} = [10; 19,5; 29; 38,5; 48; 57,5];$

Використовуючи програмне забезпечення [7, 8] для MATLAB було сформовано шестивимірний масив для значень ступеня відкриття крану пари в підігрівач K_{θ} .

K_s	K_θ					
	10	19,5	29	38,5	48	57,5
0	70,84	70,39	71,06	70,78	71	71
4,5		70,82			71,18	71,14
9	71,12		70,69	71,2	71,36	70,55
13,5			70,41	70,69		71,16
18	71,26					70,53
22,5	71,08		70,65	70,43	70,78	
S_θ						
62						
55,5						
59						
62,5						
66						
69,5						

Рис. 5. Масив значень температури в підігрівачі залежно від K_s , S_θ , K_θ

```

%clear
clc
Ks=data(:,1);
Kt=data(:,2);
Ts=data(:,3);
Ta=data(:,4);
n=length(Ta);
j1=min(Ta):1:max(Ta);
a);
f=1;
for i=1:n
    for
        j=min(Ta):1:max(Ta)
            ;
            if Ta(i)==j
                k=find(Ta==j)
                M15(:,1,f,1)=Ks(k)
                M15(:,2,f,1)=Ts(k)
                M15(:,3,f,1)=Kt(k)
                f=f+1;
            end;
        end;
    end;
end;

```

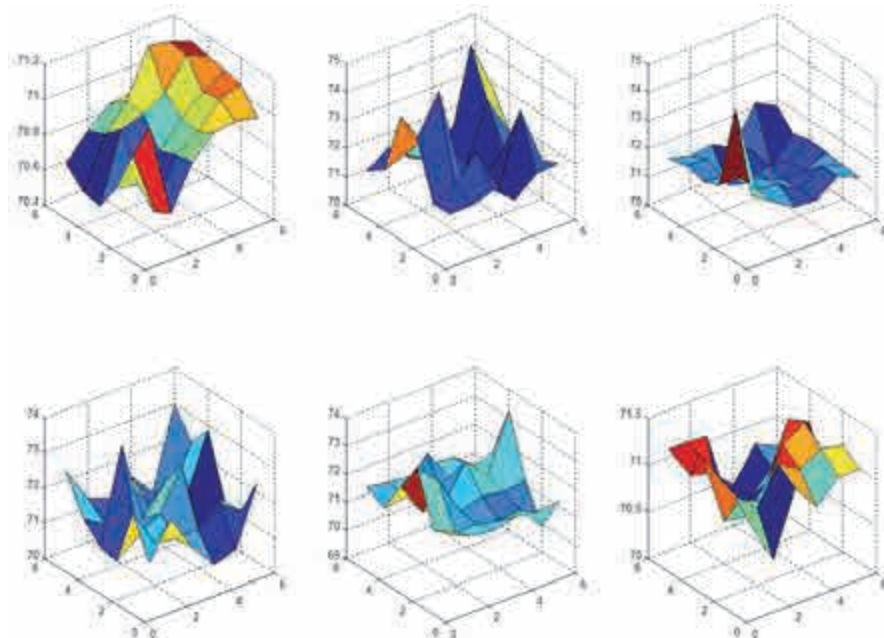


Рис. 6. Площина значень температури залежно від K_s , S_θ для різних K_θ :
1) 10; 2) 19,5; 3) 29; 4) 38,5; 5) 48; 6) 57,5

Якщо проаналізувати рис. 6, то можна зробити висновок, що якщо й взяти добре описаний процес теплообміну, який є повністю прогнозований та передбачуваний, але й для нього необхідно аналізувати роботу та проводити пошук невідповідностей, і, як видно з вищесказаного, для цього можна використати тензорний підхід до опису проблемної області.

При цьому, якщо провести аналіз, чому саме виникали випадки появи нештатних ситуацій на виробництві, то в даному випадку це були дві причини:

1. Перевищувався рівень у збірнику конденсату, що спричинювало відхилення в роботі підігрівача.

2. У процесі роботи заводу вводилися в дію нові апарати, для яких також потрібна була пара, що спричиняло її періодичний дефіцит.

Тобто, можна стверджувати, що по відношенню до системи управління підігрівача були невимірювані параметри, і невимірювані не тому, що їх неможливо було проконтролювати – ці дані були, але вони були недоступні для рівня керування підігрівачем. І якщо даний випадок впливає на якість та собівартість кінцевого продукту.

Висновки

Для вирішення важливих задач у процесах розподіленого керування для автоматизованих систем об'єктів та комплексів харчової промисловості необхідно вирішити такі питання: ідентифікувати відхилення, знайти відповідне рішення, перевірити чи досягнемо поставленої мети. Для того, щоб знайти рішення, потрібно визначити управляюче діяння та його величину, та перевірити реакцію системи на управляюче діяння, наскільки воно відповідає даній ситуації, тобто, щоб не вийшло перерегулювання. Для вирішення зазначеної задачі пропонується використання тензорів, що дасть змогу переходити між ієрархічними рівнями системи керування для пошуку оптимального керування, знаходити найкоротший шлях між переходом від поточного стану технологічної системи до нового, який задається регламентом.

Список літератури

1. Інтеграція систем управління підприємством і технологічним процесом: Стандарт ISA-95 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://isa-95.com/>.
2. Kadane, J. (2013). Planning for Value: Setting Priorities for Manufacturing Execution System Functionality for Food and Beverage Companies. An Industry White Paper [Electronic resource] // Aspen Technology, Inc. Available at: www.aspentech.com/MES_Food_Bev_White_Paper.pdf.
3. Таха Хемди А. Введение в исследование операций / Таха, Хемди А. ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
4. Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang (2011). Design Research of an Adaptive-Fuzzy-Neural Controller / Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang // Journal of Advances in Information Technology, 2 (2), 122–127.
5. Galzina, V. (2011). Application of fuzzy logic in boiler control / V. Galzina, T Saric, R Lujic // Technical Gazette, 15 (15), 4–21.
6. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем / А. Е. Петров. – М. : Радио и связь, 1985. – 152 с.
7. Tensor Toolbox version 2.6 by Brett W. Bader, Tamara G. Kolda, Jimeng Sun, Evrim Acar, Daniel M. Dunlavy, Eric C. Chi, Jackson Mayo, et al. Copyright 2015, Sandia National Laboratories.
8. TDALAB Laboratory for Tensor Decomposition and Analysis by Guoxu Zhou, Andrzej Cichocki, 2012. Cichocki Laboratory for Advanced Brain Signal Processing.

References

1. Intehratsiia system upravlinnia pidpriemstvom i tekhnolohichnym protsesom»: Standart ISA-95. Available at <http://isa-95.com/>.
2. Kadane, J. (2013). Planning for Value: Setting Priorities for Manufacturing Execution System Functionality for Food and Beverage Companies. An Industry White Paper. Aspen Technology, Inc. Available at: www.aspentech.com/MES_Food_Bev_White_Paper.pdf.
3. Takha, Khemdi A. (2005). Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. Moskva: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 912.
4. Peifeng, Niu, Guoqiang, Li, Mizhe, Zhang. (2011). Design Research of an Adaptive-Fuzzy-Neural Controller. Journal of Advances in Information Technology, 2 (2), 122–127.
5. Galzina, V., Saric, T., Lujic R. (2011). Application of fuzzy logic in boiler control. Technical Gazette, 15 (15), 4–21.
6. Petrov, A. E. (1985). Tenzornaya metodologiya v teorii sistem [Tensor methodology of systems theory]. Moscow: Radio i svyaz', 152.
7. Tensor Toolbox version 2.6 by Brett W. Bader, Tamara G. Kolda, Jimeng Sun, Evrim Acar, Daniel M. Dunlavy, Eric C. Chi, Jackson Mayo, et al. (2015). Sandia National Laboratories.
8. TDALAB Laboratory for Tensor Decomposition and Analysis by Guoxu Zhou, Andrzej Cichocki (2012). Cichocki Laboratory for Advanced Brain Signal Processing.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

**В. М. Сидлецкий,
И. В. Эльперин**

Аннотация. Приведено дополнение к системе автоматизации, направленное для решения важных задач при управлении, а именно: идентификация отклонения, поиск подходящего решения и проверка достижения поставленной цели. В результате исследования установлено, что использование тензорного метода позволяет смоделировать многомерное пространство состояния производственных процессов и использовать его для выявления отклонений в работе.

Ключевые слова: система управления, тензорный метод

EXPANSION OF FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL OBJECTS

**V. Sidletsky,
I. Elperin**

Abstract. These approaches complement the automation system, aiming to solve important problems in the management, namely the identification of deviations, to find a suitable solution and verification of achievement of this goal. The study found that the use of tensor method allows you to simulate multidimensional space status of industrial processes and use it to identify deviations in the work.

Keywords: control system, the tensor method

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТЯМИ

Н. М. ЛУЦЬКА, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: lutskaya@yandex.ru

Анотація. Запропоновано порівняльну характеристику сучасних методик синтезу систем керування для технологічних об'єктів з невизначеностями. Розглянуто основні характеристики методів розробки робастно-оптимальних регуляторів, їх переваги та недоліки, а саме: Loopshaping, 2-Ріккати підхід, μ -синтез, LMI-підхід, а також оптимізаційний метод негладкого синтезу. Подано передатні функції робастних регуляторів, параметри та структура яких синтезовані за критерієм мінімуму H_∞ -норми замкненої системи.

Наведено структуру системи керування, за якою проведено моделювання систем з різними робастними регуляторами, а також розраховано показники якості та стійкості систем на всьому діапазоні невизначеності. Найкращі показники виявилися у системі з регулятором, що розрахований за алгоритмом μ -синтезу, однак порядок регулятора набагато вищий за порядок об'єкта. Найменшу область невизначеності, за якої система зберігає стійкість, виявлено в системі з PID-регулятором, параметри якого розраховані за алгоритмом негладкого синтезу.

Ключові слова: технологічний об'єкт, регулятор, керування, невизначеність, робастно-оптимальна система

Підвищення якості продукції та зменшення енергетичних витрат на харчових підприємствах безпосередньо пов'язано з якістю та стійкістю перехідних процесів у системі автоматичного керування. Їх можна досягти використовуючи сучасні алгоритми синтезу регуляторів, а саме: оптимальні, робастні, адаптивні та інтелектуальні. Єдиного підходу вибору того чи іншого регулятора та його налаштувань немає. Це обґрунтовується специфікою об'єктів керування та умов їх функціонування, тому визначення та обґрунтування відповідного регулятора є актуальною задачею як в теоретичному, так і практичному аспекті.

Нині новітня теорія керування пропонує широкий спектр методів та алгоритмів синтезу регуляторів [1] для об'єктів із невизначеностями. Оптимальне керування, подане методами варіаційного числення, принципу максимуму та аналітичним конструюванням оптимальних регуляторів [2], знайшло свій розвиток у робастно-оптимальних алгоритмах [3], та на сьогодні є самостійною теорією синтезу робастних регуляторів. Ці регулятори

призначені для роботи в умовах суттєвих невизначеностей як параметрів, так і структури математичної моделі об'єкта.

Мета досліджень – проаналізувати сучасні методи синтезу робастних регуляторів для технологічних об'єктів керування з невизначеностями та на основі моделювання розробити поради щодо їх використання.

Матеріали і методика досліджень. Усі технологічні об'єкти, з точки зору їх автоматизації, є, більшою або меншою мірою, невизначеними. Невизначеності технологічних об'єктів виникають унаслідок неконтрольованих або неврахованих факторів та ведуть до недостовірної оцінки істинного значення процесу та неправильного розрахунку керуючих дій. Їх можна поділити на декілька видів: невизначеність технічних засобів автоматизації, тобто неточність подання та видачі інформації; математична невизначеність, тобто невизначеність, що виникає при описі та розрахунку математичних залежностей системи керування.

Наприклад, у табл. 1 подано основні напрями синтезу робастно-оптимальних регуляторів, засновані на лінійній моделі об'єкта керування, їх переваги та недоліки.

Проведемо моделювання системи керування з різними робастними регуляторами. Як об'єкт керування моделюються три послідовно з'єднані аперіодичні ланки першого порядку (прикладом такої моделі може бути кожухотрубний теплообмінник). Невизначеність моделюємо змінними постійними часу T_1, T_2, T_3 та коефіцієнта передачі k_0 , а також структурною мультиплікативною невизначеністю. На рис. 1 наведено структурну схему номінальної системи керування,

де r – завдання регулятору;

y – вихід об'єкта;

u – керування;

e – розузгодження;

z – контрольований вихід;

$K(s)$ – передатна функція регулятора;

W_1, W_2, W_3 – вагові функції;

$H(s)$ – передатна функція замкненої системи.

При моделюванні номінальними параметрами об'єкта обрані: $k_0=10$; $T_{1-3}=100$, а їх зміна – в межах $-50\ldots+50\%$. У табл. 2 наведені передатні функції регуляторів, що синтезовані за різними алгоритмами,

де LSh – регулятор, синтезований за Гловер-МакФарлан методом [6];

2-Ric – регулятор, синтезований за 2-Ріккати підходом;

Mu – регулятор, синтезований за алгоритмом μ -синтезу;

NSm-pid – пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор, параметри якого знайдені методом негладкого синтезу. Структура регулятора та/або його налаштування знайдені за критерієм:

$$J(K(s)) = \max_{K(s) \in \Omega} \|H_{zr}(s)\|_{\infty},$$

де Ω – область регуляторів, що стабілізують об'єкт.

1. Порівняння методів робастно-оптимальних систем керування

Назва методу напряму	Літератур- не джерело	Математична модель об'єкта та види невизначень	Переваги та недоліки		Особливості методики
			Переваги	Недоліки	
Loopshaping	[1, 4]	Номинальна модель	Задається бажана частотна характе- ристика системи	Порядок регулятора вище за порядок об'єкта	Регулятор синтезується на основі взаємно простої факторизації
2-Ріккаті підхід	[1, 3, 4]	Номинальна модель	Порядок регулято- ра, що дорівнює порядку об'єкта	Потребує додаткової перевірки на всій області невизначе- ності	Синтезується центральний регулятор за алгебраїчни- ми рівняння- ми Ріккаті
μ-синтез	[1, 3, 4]	Модель із усіма видами невизначень	Порядок регулято- ра, що дорівнює порядку об'єкта або більший за нього	Достатньо громіздкий метод синтезу	Базується на понятті структурова- ного сингулярного числа матриці та теоремі про малий коефіцієнт підсилення
LMI-підхід	[2, 4]	Матрична невизначе- ність	Будь-який порядок регулятора, включно зі статичним	Працює лише з одним типом невизначе- ності	Базується на квадратичній стабілізації та функції Ляпунова
Non- smoothsynthe- sis	[5]	Номинальна модель	Будь-який порядок регулято- ра, включно зі статичним	Значно менше значення норми H^∞ порівняно з попередніми методами	Ітераційний метод негладкого синтезу

2. Передатні функції регуляторів

Регу- лятор	Передатна функція
LSh	$\frac{4.649s^3 + 0.251s^2 + 0.006s + 0.001}{s^4 + 0.197s^3 + 0.019s^2 + 0.001s}$
2-Ric	$\frac{139.3s^3 + 4.179s^2 + 0.042s + 0.001}{s^4 + 5.546s^3 + 0.819s^2 + 0.056s + 0.001}$
Mu	$\frac{0.001(s + 0.01)(s + 0.003)(s + 0.0005)(s^2 + 0.023s + 0.0001)(s^2 + 0.025s + 0.0002)}{(s + 0.289)(s + 0.100)(s + 0.024)(s + 0.0006)(s^2 + 0.025s + 0.0002)(s^2 + 0.023s + 0.0004)}$
NSM-pid	$0.138 + 0.0001 \frac{1}{s} + 82.9 \frac{s}{1.98s + 1}$

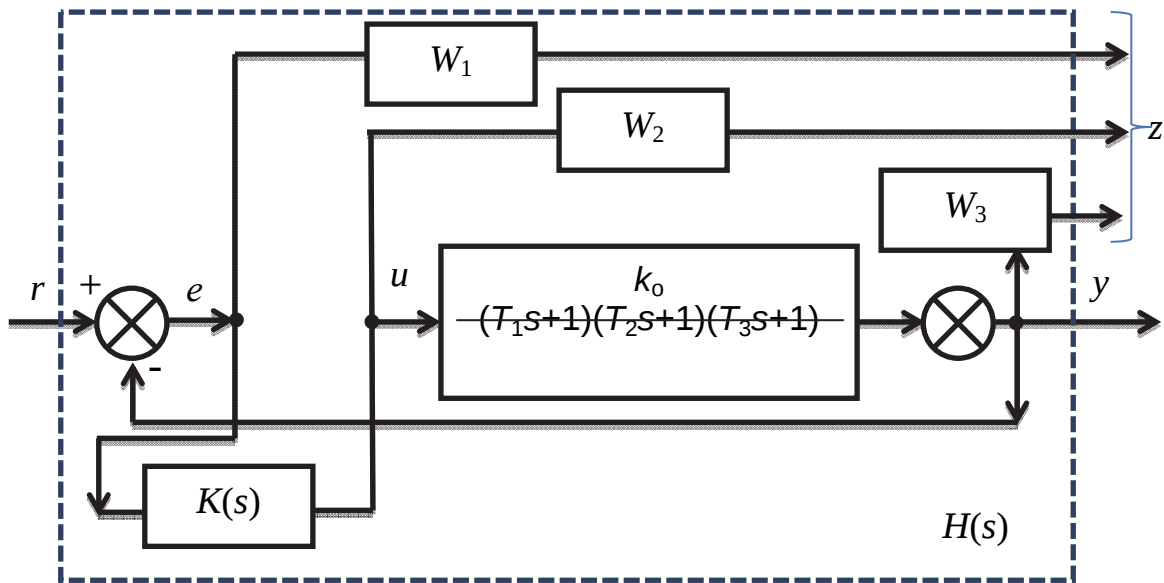


Рис. 1. Структурна схема системи керування в номінальному режимі

Результати досліджень. На рис. 2 показано перехідні процеси систем із різними робастними регуляторами. І хоча вид функції розузгодження для всіх систем майже однаковий, але функція керування істотно відрізняється, що пояснюється видом регулятора (табл. 2).

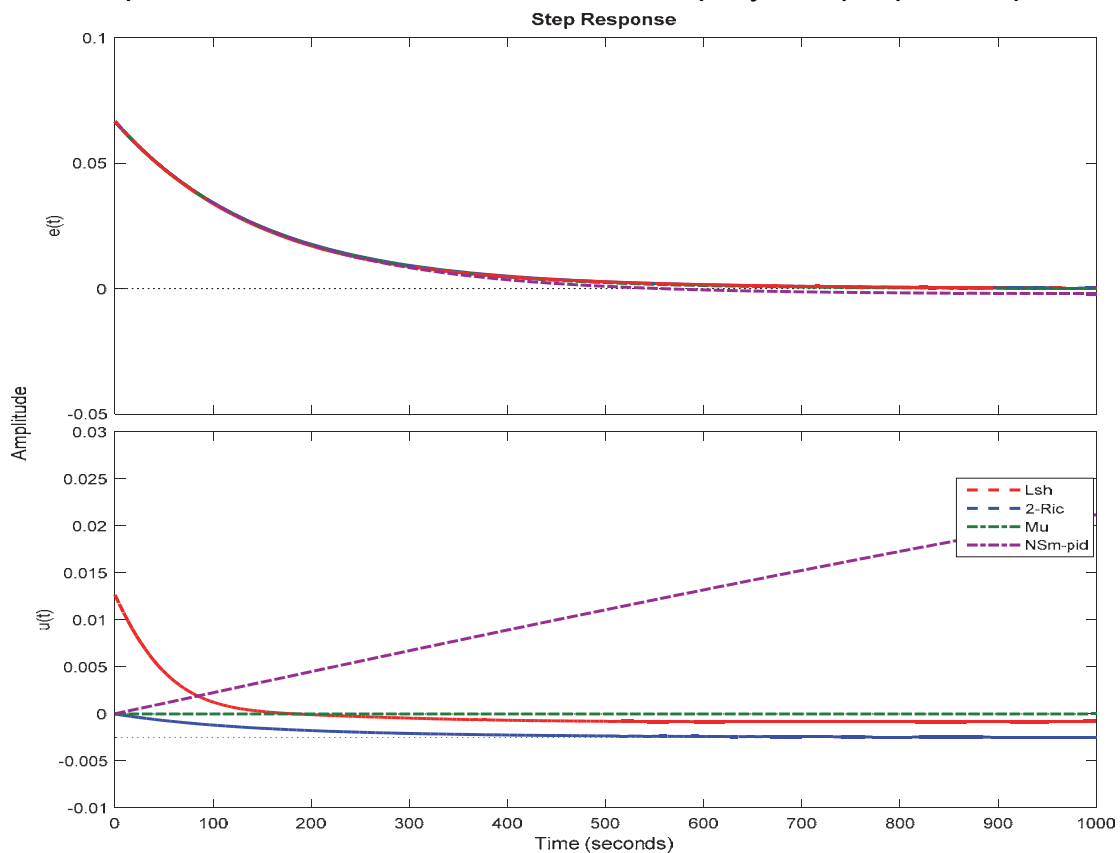


Рис. 2. Перехідні процеси в системі з різними робастними регуляторами

З табл. 3 видно, що найбільша область невизначеності, за якої система зберігає стійкість у системи з μ -регулятором, а також найменший ресурс керування. Система з NSm-pid-регулятором втрачає стійкість за найгірших комбінацій невизначеностей, тобто при тих невизначеностях (з області допустимих), за яких амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) має максимальне значення.

3. Порівняльні характеристики системи керування з різними типами регуляторів

$K(s)$ Хар-ка	LSh	2-Ric	μ	NSm-pid
Номінальний режим				
H_{∞} -норма	1.02	0.068	0.067	0.1
$ u^{\max} $	0.013	0.002	0.001	0.1
Система з найгіршою комбінацією невизначеностей				
Пік АЧХ	0.069	0.067	0.067	∞

Висновки

У роботі наведено порівняння сучасних методів робастно-оптимальних систем керування для об'єктів з невизначеностями. На основі моделювання виявлено, що найкращі характеристики, а саме: стійкість в усьому діапазоні невизначеностей та мінімум енергетичних витрат має система з регулятором, що розрахований за алгоритмом μ -синтезу, однак дана система має і найвищий порядок регулятора.

Як альтернативу, можна використовувати систему з регулятором, що синтезований за 2-Ріккати підходом, яка має низьку норму замкненої системи і порядок регулятора, що дорівнює порядку математичної моделі об'єкта. Регулятор, розрахований за Гловер-МакФарлан методом доцільно використовувати тоді, коли до системи ставляться жорсткі вимоги в частотній області. Систему з PID-регулятором, налаштування якого розраховувалися за критерієм мінімуму H_{∞} -норми ефективно використовувати лише за невеликої області невизначеності параметрів та структури моделі об'єкта керування.

Список літератури

1. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 784 с.
2. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Наука, 2003. – 279 с.
3. Поляк Б. Т. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков. – М. : Наука, 2002. – 303 с.
4. Sánchez-Peña, Ricardo S. (1998). Robust Systems: Theory and Applications / Ricardo S. Sánchez-Peña, Mario Sznajder. – Wiley, New York, 490.
5. Apkarian, P. (2006). Nonsmooth H_{∞} Synthesis / P. Apkarian and D. Noll // IEEE Transactions on Automatic Control, 51, 1, 71–86.

6. McFarlane, D. C. (1989). Robust Controller Design using Normalised Coprime Factor Plant Descriptions / D. C. McFarlane, K. Glover. – Springer Verlag, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 138, 181.

References

1. K. A. Pupkov, N. D. Ehupov. (2004). Metody klassycheskoy i sovremennoy teoryi avtomaticheskogo upravleniya [Methods and Modern Classics Automatic management theory]. Moskow: Yzdatel'stvo MHTU ym. N. E. Baumana, 784.
2. Aleksandrov, A. G. (2003). Optymal'nye i adaptivnye systemy [Optimal and adaptive systems]. Nauka, 279.
3. Polyak, B. T. (2002). Robastnaya ustoychivost' i upravlenye [Robust stability and control]. Nauka, 303.
4. Sánchez-Peña, Ricardo S. and Mario Sznaier (1998). Robust Systems: Theory and Applications. Wiley, NewYork, 490.
5. P. Apkarian and D. Noll. (2006). Nonsmooth H-infinity Synthesis. IEEE Transactions on Automatic Control, 51, 1, 71–86.
6. McFarlane, D. C., K. Glover. (1989). Robust Controller Design using Normalised Coprime Factor Plant Descriptions, Springer Verlag, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 181.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМИ

Н. Н. Луцкая

Аннотация. Предложена сравнительная характеристика современных методик синтеза систем управления для технологических объектов с неопределенностями. Рассмотрены основные характеристики методов разработки робастно-оптимальных регуляторов, их преимущества и недостатки, а именно: Loopshaping, 2-Риккати подход, μ -синтез, LMI-подход, а также оптимизационный метод негладкого синтеза. Приведены передаточные функции робастных регуляторов, параметры и структура которых синтезированы по критерию минимума H_∞ -нормы замкнутой системы.

Приведена структура системы управления, для которой проведено моделирование систем с различными робастными регуляторами, а также рассчитаны показатели качества и устойчивости систем на всем диапазоне неопределенности. Лучшие показатели оказались у системы с регулятором, рассчитанным по методу μ -синтеза, однако порядок регулятора намного выше, чем порядок объекта. Наименьшая область неопределенности, при которой система сохраняет устойчивость, обнаружена в системе с PID-регулятором, параметры которого рассчитаны по алгоритму негладкого синтеза.

Ключевые слова: технологический объект, регулятор, управление, неопределенность, робастно-оптимальная система

COMPARISON OF ROBUST-OPTIMAL PROCESS CONTROL SYSTEMS WITH UNCERTAINTY

N. Lutska

Abstract. The paper proposes a comparative description of modern methods of synthesis of control systems for process facilities with uncertainties. The basic characteristics of the methods, development of robust optimal controllers, their advantages and disadvantages, namely: Loop shaping, 2-Riccati approach μ -synthesis, LMI approach, and non smooth optimization method of synthesis. Transfer functions are given robust controls, parameters and structure is synthesized by the criterion of minimum standards H_∞ -closed system.

The structure control system are given under which conducted simulations of different robust regulators and designed for quality and stability across the range of uncertainty. The most indicators were in control system that is designed for μ -synthesis algorithm, but the order of the controller is much higher than the order of the object. The smallest area of uncertainty in which the system remains stable detected in the system with PID-controller, whose parameters are calculated non smooth algorithm synthesis.

Keywords: process, regulator, control, uncertainty, robust-optimal system

УДК 631.3.83

ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ІЗ СИЛОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

В. Г. МИРОНЕНКО, доктор технічних наук
Ю. В. ГЕРАСИМЧУК, кандидат технічних наук
Р. В. МЕЛЬНИК, кандидат технічних наук
Д. В. ТИМОЩУК, старший науковий співробітник
В. М. СЛОБОДЯН, аспірант

Національний науковий центр "Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства"

e-mail: roma_meln@mail.ru

Анотація. Наведено результати виробничої перевірки роботи мобільного енергетичного засобу із силовим електроприводом в тепличному господарстві ПАТ «Комбінат «Тепличний» та лабораторно-польових досліджень. Встановлено, що у виробничих умовах електротрактор за показниками технічної характеристики не поступається базовій моделі.

Ключові слова: мобільний енергетичний засіб, силовий електропривод, електротрактор, акумуляторна батарея

© В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук, Р. В. Мельник, Д. В. Тимощук,
В. М. Слободян, 2016

COMPARISON OF ROBUST-OPTIMAL PROCESS CONTROL SYSTEMS WITH UNCERTAINTY

N. Lutska

Abstract. The paper proposes a comparative description of modern methods of synthesis of control systems for process facilities with uncertainties. The basic characteristics of the methods, development of robust optimal controllers, their advantages and disadvantages, namely: Loop shaping, 2-Riccati approach μ -synthesis, LMI approach, and non smooth optimization method of synthesis. Transfer functions are given robust controls, parameters and structure is synthesized by the criterion of minimum standards H_{∞} -closed system.

The structure control system are given under which conducted simulations of different robust regulators and designed for quality and stability across the range of uncertainty. The most indicators were in control system that is designed for μ -synthesis algorithm, but the order of the controller is much higher than the order of the object. The smallest area of uncertainty in which the system remains stable detected in the system with PID-controller, whose parameters are calculated non smooth algorithm synthesis.

Keywords: process, regulator, control, uncertainty, robust-optimal system

УДК 631.3.83

ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ІЗ СИЛОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

В. Г. МИРОНЕНКО, доктор технічних наук
Ю. В. ГЕРАСИМЧУК, кандидат технічних наук
Р. В. МЕЛЬНИК, кандидат технічних наук
Д. В. ТИМОЩУК, старший науковий співробітник
В. М. СЛОБОДЯН, аспірант

Національний науковий центр "Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства"

e-mail: roma_meln@mail.ru

Анотація. Наведено результати виробничої перевірки роботи мобільного енергетичного засобу із силовим електроприводом в тепличному господарстві ПАТ «Комбінат «Тепличний» та лабораторно-польових досліджень. Встановлено, що у виробничих умовах електротрактор за показниками технічної характеристики не поступається базовій моделі.

Ключові слова: мобільний енергетичний засіб, силовий електропривод, електротрактор, акумуляторна батарея

Одними з найважливіших проблем сьогодення для України є відсутність достатніх обсягів власних енергоносіїв, незадовільний розвиток ресурсу та енергозбереження, стійке погіршення екологічного стану довкілля. Існуючі негативні наслідки – вичерпування природних ресурсів, зокрема нафти, та подальше надмірне забруднення довкілля. Реальну альтернативу сільськогосподарським підприємствам можна реалізувати на основі розширеного використання електрифікованого транспорту, принаймні у межах самих господарств.

Так, електротранспорт із живленням від контактних мереж вже відчутно впливає на зниження екологічного та паливно-енергетичного навантаження. Однак, класифікаційна ніша акумуляторного електротранспорту й досі залишається незаповненою, хоча його об'єктивні переваги – зниження паливно-енергетичного навантаження, відсутність шкідливих викидів, безшумність, значно менші експлуатаційні витрати, сприяння вирівнюванню добових графіків навантажень електростанцій тощо [1, 2, 3].

Мета досліджень – підвищення ефективності роботи мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення за рахунок використання електроенергії.

Матеріали і методика досліджень. За останні декілька років практично у всіх передових країнах світу відзначається надзвичайно активна робота зі створення електричних самохідних машин на електроакумуляторному приводі.

Загальновизнаними перепонами масового впровадження машин на електроакумуляторному приводі вважається відсутність потрібних акумуляторів і систем їх зарядки [4, 5, 6].

Фахівці Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» і ПАТ «Харківський тракторний завод», створили дослідний зразок електротрактора на базі трактора ХТЗ–2511 [7].

Проведено попередні відомчі випробування електротрактора у «ПАТ Комбінат Тепличний» (рис. 1) [8].



Рис. 1. Відомчі випробування електротрактора у ПАТ «Комбінат «Тепличний»

Результати досліджень. Під час проведення відомчих випробувань встановлено, що у виробничих умовах електротрактор за показниками технічної характеристики не поступається базовій моделі. Максимальна гранична швидкість електротрактора під час роботи становить 25 км/год, при навантаженні на навіску 600 кг, що дає змогу використовувати його для транспортування продукції в тепличному господарстві. При цьому ресурс акумуляторної батареї при навантаженні навіски 600 кг становить до 4 годин.

Проведено лабораторно-польові дослідження електротрактора з оприскувачем ОНШ – 400/12 та однокорпусним плугом ПЛН – 1 – 35. В результаті досліджень встановлено, що час роботи АКБ електротрактора становить від 3 до 1,2 год залежно від передачі. На обприскуванні при швидкості 8 км/год, площа, яку можна обробити електротрактором становить близько 6–8 га.

Час роботи електротрактора з акумуляторною батареєю 380 Агод (14 кВт год) на різних агротехнологічних операціях показано на рис. 2.

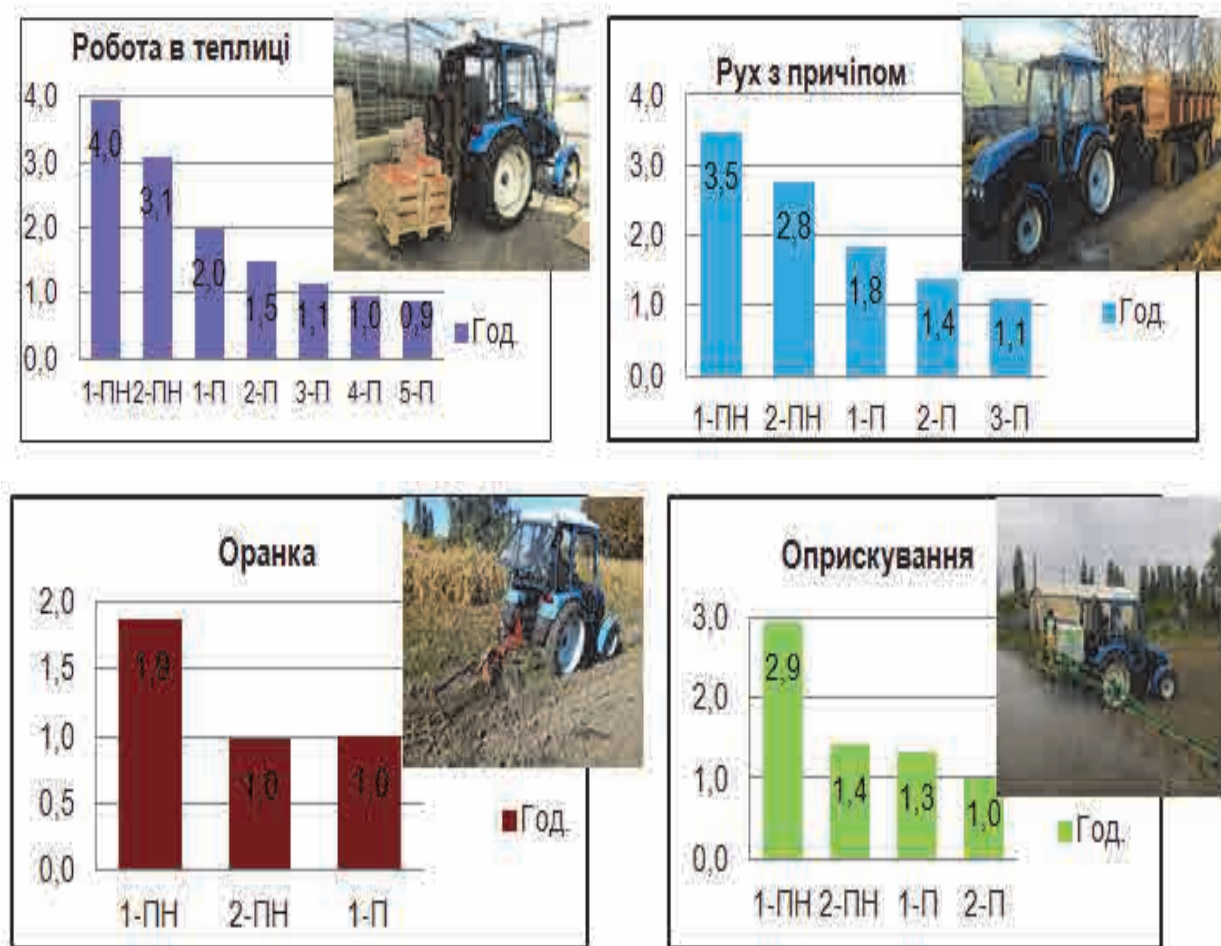


Рис. 2. Час роботи електротрактора на різних агротехнологічних операціях

Економічна ефективність мобільного енергетичного засобу із силовим електроприводом ХТЗ–2511Е в тепличному господарстві «ПАТ Комбінат Тепличний» становить:

- повний ККД двигуна – 0,684 %;
- ККД електротрактора – 0,27 %;
- необхідна ємність АКБ електротрактора для робочої зміни – 28 кВт год;
- річний економоефект електротрактора порівняно з дизельним – від 25 920 до 34 677 грн.

Висновки

Електротрактор, який працює від акумуляторних батарей, за тяговими характеристиками не поступається базовій моделі з дизельним двигуном, і навіть кращий у тому розумінні, що діапазон плавного регулювання режимами роботи на різних операціях більший за рахунок тягового електродвигуна.

Список літератури

1. Мироненко В. Г. Перспективи використання електрифікованих мобільних агрегатів у рослинництві / В. Г. Мироненко, Н. В. Тютюнник // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2005. – Вип. 89. – С. 192–200.
2. Третяк В. М. Енергоефективний трактор / В. М. Третяк // The Ukrainian Farmer. – 2013. – № 2. – С. 94–96.
3. Електрифікація, як фактор створення мобільної сільськогосподарської техніки нового покоління / В. В. Адамчук, В. Г. Мироненко, В. М. Третяк, Р. В. Мельник // Науково–теоретичний журнал «Вісник аграрної науки». – 2013. – № 4. – С. 29.
4. Розвиток електрифікованих мобільних енергетичних засобів // В. Г. Мироненко, Р. В. Мельник, Д. В. Тимошук, В. М. Слободян // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 194 (1).
5. Мельник Р. В. Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів сільськогосподарського призначення / Р. В. Мельник // Збірник наукових праць Кіровоградського Національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2015. – Вип. 27.
6. Електропривод мобільного агрегату / М. О. Корчемний, Н. А. Юсупов, А. Ф. Філоненко, С. В. Жоров // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2003. – № 1. – С. 41–44.
7. Мироненко В. Г. Електротрактор ХТЗ-2511Е / В. Г. Мироненко, Р. В. Мельник // Аграрна наука – виробництву. – 2014. – № 4. – С. 29.
8. Мельник Р. В. Производственные испытания электротрактора / Р. В. Мельник, В. М. Слободян // Овощеводство – 2016. – № 5. – С. 62.

References

1. Myronenko, V. H., Tyutyunnyk, N. V. (2005). Perspektyvy vykorystannya elektryfikovanykh mobil'nykh agrehativ u roslynnytstvi [Prospects for electrified mobile units in crop]. Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva, 89, 192–200.
2. Tretyak, V. M. (2013). Enerhoefektyvnyy traktor [Energy efficient tractor]. The Ukrainian Farmer, 2, 94–96.
3. Adamchuk, V. V., Myronenko, V. H., Tretyak, V. M., Mel'nyk, R. V. (2013). Elektryfikatsiya, yak faktor stvorennya mobil'noyi sil's'kogospodars'koyi tekhniky novogo pokolinnya [The electrification as a factor in the creation of mobile agricultural machinery of new generation]. Naukovo-teoretychnyy zhurnal «Visnyk ahraryoi nauky», 4, 29.
4. Myronenko, V. H., Mel'nyk, R. V., Tymoshchuk, D. V., Slobodyan, V. M. (2014). Rozvytok elektryfikovanykh mobil'nykh energetychnykh zasobiv [The development of mobile electrified energy resources]. Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. Seriya: Tekhnika ta energetyka APK., 194 (1).
5. Mel'nyk, R. V. (2015). Efektyvnist' roboty mobil'nykh elektryfikovanykh zasobiv sil's'kogospodars'kogo pryznachennya [The effectiveness of mobile electrified vehicles for agricultural purposes]. Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'kogo Natsional'nogo tekhnichnogo universytetu, tekhnika v sil's'kogospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiya, 27.
6. Korchemnyy, M. O., Yusupov, N. A., Filonenko, A. F., Zhorov, S. V. (2003). Elektropryvod mobil'noho ahrehatu [Electric drive mobile unit]. Elektryfikatsiya ta avtomatyzatsiya sil's'koho hospodarstva, 1, 41–44.
7. Myronenko, V. H., Mel'nyk, R. V. (2014). Elektrotraktor KhTZ-2511E [Elektrik traktor HTZ-2511E]. Ahrarya nauka-vyrobnytstvu, 4, 29 (Ukrayina).
8. Mel'nyk, R. V., Slobodyan, V. M. (2016). Proyzvodstvennyye ispytanyya elektrotraktora [Production trials elektrik traktor]. Ovoshchevodstvo, 5, 62.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА С СИЛОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

**В. Г. Мироненко,
Ю. В. Герасимчук,
Р. В. Мельник,
Д. В. Тимощук,
В. М. Слободян**

Аннотация. Приведены результаты производственной проверки работы мобильного энергетического средства с силовым электроприводом в тепличном хозяйстве ПАО «Комбинат «Тепличный» и лабораторно-полевых исследований. Установлено, что в производственных условиях электротрактор по показателям технической характеристики не уступает базовой модели.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, силовой электропривод, электротрактор, аккумуляторная батарея

PRODUCTION TEST OF MOBILE ENERGY MEANS WITH POWER ELECTRIC DRIVE

V. Mironenko,
Y. Gerasymchuk,
R. Melnyk,
D. Tymoshchuk,
V. Slobodyan

Abstract. *The results of the production operation check of power mobile mean with power electric drive in greenhouses PJSC "integrated works" Greenhouse "and laboratory and field research. Found that in production conditions electric tractor on indicators technical characteristics is not inferior to the base model.*

Keywords: *mobile power unit, power electrical drive, electric tractor, rechargeable battery*

УДК621.1.0164(03)

НЕЛИНЕЙНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СТЕНКИ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ III РОДА

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотация. *Приведен метод решения нелинейных нестационарных теплопередач через одну и многослойную стенку для граничных условий III рода. Для решения сформулированной задачи используется метод, основанный на сочетании положений малого параметра и конечных интегральных преобразований.*

Ключевые слова: *нелинейная нестационарная теплопроводность, метод малого параметра, теплоемкость, коэффициент линейной зависимости, интегральное преобразование, граничные условия*

В настоящее время важной научной проблемой является анализ нелинейной нестационарной теплопроводности методом интегральных алгоритмов.

Цель исследований – разработать метод решения нелинейной нестационарной задачи передачи тепла через одно- и многослойную стенку.

Материалы и методика исследований. Как показывает опыт [1...3] для многих материалов зависимость теплофизических характеристик от температуры будет линейной в достаточно широком

© Б. Х. Драганов, 2016

PRODUCTION TEST OF MOBILE ENERGY MEANS WITH POWER ELECTRIC DRIVE

V. Mironenko,
Y. Gerasymchuk,
R. Melnyk,
D. Tymoshchuk,
V. Slobodyan

Abstract. *The results of the production operation check of power mobile mean with power electric drive in greenhouses PJSC "integrated works" Greenhouse "and laboratory and field research. Found that in production conditions electric tractor on indicators technical characteristics is not inferior to the base model.*

Keywords: *mobile power unit, power electrical drive, electric tractor, rechargeable battery*

УДК621.1.0164(03)

НЕЛИНЕЙНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СТЕНКИ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ III РОДА

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотация. *Приведен метод решения нелинейных нестационарных теплопередач через одну и многослойную стенку для граничных условий III рода. Для решения сформулированной задачи используется метод, основанный на сочетании положений малого параметра и конечных интегральных преобразований.*

Ключевые слова: *нелинейная нестационарная теплопроводность, метод малого параметра, теплоемкость, коэффициент линейной зависимости, интегральное преобразование, граничные условия*

В настоящее время важной научной проблемой является анализ нелинейной нестационарной теплопроводности методом интегральных алгоритмов.

Цель исследований – разработать метод решения нелинейной нестационарной задачи передачи тепла через одно- и многослойную стенку.

Материалы и методика исследований. Как показывает опыт [1...3] для многих материалов зависимость теплофизических характеристик от температуры будет линейной в достаточно широком

© Б. Х. Драганов, 2016

диапазоне изменения температур. Обработывая по способу наименьших квадратов экспериментальные данные, опубликованные в литературе, выразим теплопроводность и удельную теплоемкость в виде

$$\lambda = \lambda_0(1 + \varepsilon t); \quad (1)$$

$$C = C_0(1 + \beta t), \quad (2)$$

где λ_0 – теплопроводность материалов при 0°C ;

C_0 – удельная теплоемкость при 00°C ;

ε, β – коэффициенты линейной зависимости теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры.

Тогда для одномерной теплопередачи через однослойную стенку общее нелинейное уравнение теплопроводности

$$C_p(t_i) \frac{\partial t_i(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \text{div}[\lambda(t_i) \text{grad} t_i(x, y, z, \tau)] + f(x, y, z, \tau) \quad (3)$$

примет вид

$$C_p(t_i) \frac{\partial t_i(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t_i) \frac{\partial t_i(x, \tau)}{\partial x} \right] + f(x, \tau), i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Граничные условия II и III родов, куда входит теплопроводность λ , также становятся нелинейными.

Решение этих задач стало возможным благодаря разработке эффективных математических методов решения краевых задач для нелинейных уравнений в частных производных, с одной стороны, и достижениям науки о теплофизических свойствах веществ, с другой.

Исследования показывают [1], что параметры ε и β являются малыми в том смысле, что можно пренебречь их квадратами и произведениями. Тогда в выражении для температуры параметры ε и β останутся нулевой и первой степени, то есть, температуру будем искать в виде

$$t(x, \tau) = t_0 + \varepsilon t_{1\varepsilon} + \beta t_{1\beta} \quad (5)$$

Такое представление температуры позволяет ограничиться двумя приближения нулевым и двумя первыми по каждому их параметров ε и β . Нулевое приближение получается при нулевых значениях этих параметров. Физически это означает постоянство теплофизических характеристик взятых при 00°C , а сама задача нулевого приближения является линейной. Задачи первого приближения по ε и β получаются при подстановке выражения в нелинейное уравнение и приравниванием коэффициентов при первых степенях ε и β . В результате решения задач I приближения, получаем функции (в градусах в квадрате), которые, будучи соответственно умноженные на малые параметры ε и β (в $1 / \text{град}$), определяют поправки к нулевому приближению на нелинейность температур. Так, задача I приближения по параметру ε дает поправку на нелинейность, учитывающую изменение теплопроводности λ от температуры, а задача I приближения по β – поправку на изменение удельной теплоемкости C от температуры.

Все три полученные линеаризованные задачи будем решать методом конечных интегральных преобразований. Изложим основы метода конечных интегральных преобразований для решения задач теплопроводности.

Исторически методы интегральных преобразований возникли позже классически, а метод интегральных преобразований в конечных и бесконечных пределах появился сравнительно недавно в работах А. В. Лыкова [1], Г. Ф. Мучника [2] и др. В сочетании с методом малого параметра, применительно к решению нелинейных задач теплопроводности однослойных и многослойных сред, он был применен в работах [3, 4].

Среди интегральных наиболее удобным является метод конечных интегральных преобразований, так как он позволяет переходить от изображений к оригиналам гораздо проще, чем в случаях других интегральных преобразований. Действительно, метод конечных интегральных преобразований, являясь обобщением метода разделения переменных, не требует сведения граничных условий к однородным, с одной стороны, и не приводит к трудностям, связанным с обратным переходом и неоднородными начальными условиями при применении преобразования Лапласа, – с другой.

В то же время, метод конечных интегральных преобразований приводит неоднородную краевую задачу теплопроводности в области изображений в случае однослойных стенок к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка, решение которого элементарно, а в случае многослойных стенок – к $(n-1)$ -мерной векторной системе $(2n+1)$ интегральных уравнений Вольтерра II рода, решение которых известно. В этом проявляется новая сторона метода конечных интегральных преобразований.

Укажем, что при совместном применении метода малого параметра и конечных интегральных преобразований, ядра преобразований для всех приближений по всем параметрам будут одинаковыми и определяемыми лишь граничными условиями.

В результате применения изложенного метода конечных интегральных преобразований, уравнение теплопроводности в области изображений перейдет в обыкновенное дифференциальное уравнение I порядка.

Результаты исследований. Приведен метод решения нелинейных нестационарных задач теплопроводности многослойных стенок на основе совместного метода малого параметра и конечных интегральных преобразований [4].

Для n -слойной стенки при линейной зависимости теплопроводности λ и удельной теплоемкости C от температуры

$$\lambda_i = \lambda_{0i}(1 + \varepsilon_i t_i), \quad (6)$$

$$C_i = C_{0i}(1 + \beta_i t_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

параметры ε_i и β_i для большинства материалов являются малыми в том смысле, что можно пренебречь их квадратами и произведениями. Тогда нелинейность задачи будет обусловлена $2n$ малыми параметрами ε_i и β_i . Температуру в каждом слое можно представить в виде ряда Тейлора по степеням этих параметров

$$t_i(x, \tau) = t_{0i}(x, \tau) + \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon_k t_{ki} + \sum_{m=1}^{2n} \beta_m t_m \quad (8)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

ограничиваясь, в силу их малости, лишь нулевой и первой степенью. Используя тот факт, что по условию сопряжения тепловой поток по абсолютной величине и направлению относительно оси x через смежные контактирующие поверхности в данный момент времени один и тот же [5], обозначим его через функцию $q_i(\tau)$:

$$\lambda_i(t_i) \frac{\partial t_i(l_i, \tau)}{\partial x} - \lambda_{i+1}(t_{i+1}) \frac{\partial t_{i+1}(l_i, \tau)}{\partial x} = q_i(\tau);$$

$$i = 1, 2, \dots, (n-1), \quad (9)$$

где l_i точка контакта. Аналогично температуре, представим его в виде

$$q_i(\tau) = q_{0i}(\tau) + \sum_{k=1}^n \varepsilon_k q_{ki} + \sum_{m=n+1}^{2n} \beta_{m-i} q_{mi}$$

$$i = 1, 2, \dots, (n-1), \quad (10)$$

Соотношения (7) и (10) имеют наглядный математический и физический смысл. С математической точки зрения, эти соотношения рассматриваются как функции $2n$ переменных ε_i , β_i и представляют собой первые члены разложения в ряду Тейлора при пренебрежении остальными членами. С другой стороны, формулы (8) и (10) показывают, что температуры в каждом слое и тепловые потоки на границах между слоями определяются слагаемыми, обусловленными постоянными составляющими теплопроводности и удельной теплоемкости C_0 , и слагаемыми, учитывающими изменение теплофизических характеристик от температуры всех слоев. Последних по числу малых параметров будет $2n$.

Такое представление температур и тепловых потоков дает возможность расщепить нелинейную n -слойную задачу на $(2n + 1)$ линейных задач n -слойных стенок. Это достигается следующим образом. Полагая в нелинейном уравнении ε_i и β_i равными нулю, приходим к линейной задаче, в которой теплофизические характеристики, взятые при 0°C , постоянны – получаем задачу нулевого приближения. Задача I приближения будет $2n$ – по числу малых параметров, умноженных на число слоев. Они получаются подстановкой (8) и (10) в исходное нелинейное уравнение и приравниванием коэффициентов при первых степенях соответствующих параметров. Так, приравнявая члены при первой степени ε_i , получаем первую задачу I приближения, учитывающую влияние параметра ε_i на общее температурное поле n -слойной стенки; приравнявая коэффициенты при первой степени ε_2 – вторую задачу I приближения, учитывающую влияние ε_2 , и т. д. до n -й задачи, учитывающей влияние ε_n . Аналогично получаем задачи I приближения по параметрам β_i от $(n+1)$ – $2n$ до $2n$ – n .

Итак, мы обобщаем метод малого параметра на $2n$ параметров, ограничиваясь, в силу их малости, лишь нулевыми и I приближениями по этим параметрам, что говорит об асимптотическом решении нелинейной задачи в общепринятом методе. Отметим, что метод разложения по нескольким малым параметрам нелинейных задач известен.

Так как тепловые потоки нулевого приближения $q_{0i}(\tau)$ (аналогично тепловые функции I приближения $q_i(\tau), j = \varepsilon, \beta$) на основании равенства

(2.4) через смежные контактирующие среды будут одни и те же в данный момент времени, запишем их отдельно через каждую поверхность

$$\lambda_{0i}(t_i) \frac{\partial t_{0i}(l_i, \tau)}{\partial x} = q_{0i}(\tau); \quad (11)$$

$$\lambda_{0(i+1)}(t_{i+1}) \frac{\partial t_{0(i+1)}(l_i, \tau)}{\partial x} = q_{0i}(\tau). \quad (12)$$

Это позволит линейную задачу для n -слойной стенки разбить на n однослойных «несвязанных» задач. «Мостиком связи» смежных i и $(i+1)$ слоев будут служить одинаковые по величине и направлению тепловые потоки (функции) $q_j(\tau)$ ($j = 0, \varepsilon, \beta$) в точках контакта l_i .

Каждую однослойную задачу будем решать методом конечных интегральных преобразований, используя разработанную методику в (1.2) и (1.3). Решение получим в виде ряда, где под знаком суммы будут стоять интегралы от 0 до τ от неизвестных функций $q_i(\tau)$, одинаковых для смежных сред. Используя оставшиеся условия сопряжения, для двух полубесконечных тел в случае идеального контакта

$$\lambda_{01}(0, \tau) = \lambda_{02}(-0, \tau) \quad (13)$$

получим систему трех интегральных уравнений Абеля; для n -слойной неограниченной пластины при идеальном контакте,

$$\lambda_{01}(0, \tau) = \lambda_{02}(-0, \tau). \quad (14)$$

В итоге, получим систему трех интегральных уравнений Абеля для n -слойной неограниченной пластины при идеальном контакте.

$$t_{0i}(l_i, \tau) = t_{0(i+1)}(l_i, \tau); \quad i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (15)$$

– $(n-1)$ -мерную векторную систему $(2n+1)$ интегральных уравнений Вольтерра I рода типа свертки, а при неидеальном контакте

$$q_{0i}(\tau) = \frac{1}{R_i} [t_{0(i+1)}(l_i, \tau) - t_{0i}(l_i, \tau)]; \\ i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (16)$$

такую же систему интегральных уравнений Вольтерра II рода.

Будем рассматривать неидеальный тепловой контакт как наиболее общий (от него можно перейти к идеальному, положив R достаточно малым, порядка 10^{-7}). Для тепловых потоков на границах слоев, введем $(n-1)$ -мерный вектор-столбец

$$q(\tau) = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_{n-1} \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Тогда выражение для потока (2.5) примет вид

$$q(\tau) = q_0 + \sum_{k=1}^n \varepsilon_k q_k + \sum_{m=n+1}^{2n} \beta_{(m-n)} q_m. \quad (18)$$

Для разработки общей методики нелинейного теплотехнического расчета многослойных стенок следует рассматривать конкретные задачи.

Выводы

Анализ результатов исследования зависимости теплофизических характеристик строительных материалов от температуры показал возможность их аппроксимации линейными функциями в диапазоне температур, характерных для реальных условий эксплуатации зданий. При этом коэффициенты зависимости теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры ε и β имеют порядок 10⁻³.

Список литературы

1. Лыков А. В. Конечные интегральные преобразования и их применения к решению задач теплопроводности / А. В. Лыков, А. В. Иванов // Тепло- и массообмен в процессах испарения. – М. : Моск. технол. ин-т пищевой пром-сти, 1957. – С.105–148.
2. Мучник Г. Ф. Методы теории теплообмена / Г. Ф. Мучник, И. Б. Рубушов. – М. : Высшая школа, 1970. – Ч. 1. – 288 с.
3. Айзен А. Н. Метод малого параметра в нелинейных задачах теплопроводности / А. М. Айзен, М. М. Назарчук, Л. Ф. Черных. – К. : Зон. НИИ эксперимент. Проектирования, 1972. – Вып. 1. – С. 153–160.
4. Драганов Б. Х. Методика расчета теплового режима наружных ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий / Б. Х. Драганов, Л. Ф. Черных, А. Р. Ферыш. – К. : УСХА, 1991. – 126 с.
5. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

References

1. Lykov, A. V. (1957). Konechnyye integral'nyye preobrazovaniya i ikh primeneniya k resheniyu zadach teploprovodnosti [The final integral transformations and their application to solving problems of heat conduction]. Teplo – i massoobmen v protsessakh isperaniya. Moscow: Mosk. tekhnol. in-t pishchevoy prom-sti, 105–148.
2. Muchnik, G. F. Rubushov, I. D. (1970). Metody teorii teploobmena [Methods of heat transfer theory]. Moscow: Vysshaya shkola, CH.1, 288.
3. Ayzen, A. N., Nazarchuk, M. M., Chernykh, L. F. (1972). Metod malogo parametra v nelineynykh zadachakh teploprovodnosti [The small parameter method in nonlinear heat transfer problems]. Kyiv: Zon. NII eksperiment. Proyektirovaniya, 1, 153–160.
4. Draganov, B. Kh., Chernykh, L. F., Ferysh, A. R. (1991). Metodika rascheta teplovogo rezhima naruzhnykh ogradhdayushchikh konstruktсий sel'kokhazyaystvennykh zdaniy [Methods of calculating the thermal regime of the external walling agricultural buildings]. Kyiv: USKHA, 126.
5. Lykov, A. V. (1967). Teoriya teploprovodnosti [The theory of heat conduction]. Moscow: Vysshaya shkola, 599.

НЕЛІНІЙНА НЕСТАЦІОНАРНА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ СТІНКИ ЗА ГРАНИЧНИХ УМОВ ІІІ РОДУ

Б. Х. ДРАГАНОВ

Анотація. Наведено метод розв'язання нелінійних нестационарних теплопередач через одну і багат шарову стінку для граничних умов ІІІ роду. Для вирішення сформульованої задачі

використовується метод, заснований на поєднанні положень малого параметра і кінцевих інтегральних перетворень.

Ключові слова: *нелінійна нестационарна теплопровідність, метод малого параметра, теплоємність, коефіцієнт лінійної залежності, інтегральне перетворення, граничні умови*

NONLINEAR TRANSIENT HEAT CONDUCTION WALL IN KIND BOUNDARY CONDITIONS III

B. Draganov

Abstract. *A method for solution of nonlinear transient heat transfer through a single and multi-layer wall for the boundary of channel III kind. For the formulation of a problem solving method is used on the basis of the provisions of the promptness of a small parameter and finite integral transformation.*

Keywords: *nonlinear transient heat transfer, small parameter method, the specific heat, the coefficient of linear dependence, the integral transformation, the boundary conditions*

УДК 621.316.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПНЕВМОМЕРЕЖІ МЛИНА В ППП «MATLAB»

П. Б. КЛЕНДІЙ, кандидат технічних наук

Г. Я. КЛЕНДІЙ, старший викладач

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

О. П. ДУДАР, інженер

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний коледж»

e-mail: pklen_@i.ua

Анотація. *У програмному пакеті Matlab проведено дослідження регульованого електроприводу пневмотранспортної установки млина Р6-АВМ-15, де визначено енергетичні показники при стохастичному завантаженні пневмомережі.*

Ключові слова: *регульований електропривод, імітаційна модель, енергетичні показники, електромеханічна система*

Дослідження режимів роботи електромеханічних систем із використанням фізичних моделей має наближений характер, оскільки фізична реалізація випадкових функцій навантаження є складною. Тому

використовується метод, заснований на поєднанні положень малого параметра і кінцевих інтегральних перетворень.

Ключові слова: *нелінійна нестационарна теплопровідність, метод малого параметра, теплоємність, коефіцієнт лінійної залежності, інтегральне перетворення, граничні умови*

NONLINEAR TRANSIENT HEAT CONDUCTION WALL IN KIND BOUNDARY CONDITIONS III

B. Draganov

Abstract. *A method for solution of nonlinear transient heat transfer through a single and multi-layer wall for the boundary of channel III kind. For the formulation of a problem solving method is used on the basis of the provisions of the promptness of a small parameter and finite integral transformation.*

Keywords: *nonlinear transient heat transfer, small parameter method, the specific heat, the coefficient of linear dependence, the integral transformation, the boundary conditions*

УДК 621.316.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПНЕВМОМЕРЕЖІ МЛИНА В ППП «MATLAB»

П. Б. КЛЕНДІЙ, кандидат технічних наук

Г. Я. КЛЕНДІЙ, старший викладач

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

О. П. ДУДАР, інженер

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний коледж»

e-mail: pklen_@i.ua

Анотація. *У програмному пакеті Matlab проведено дослідження регульованого електроприводу пневмотранспортної установки млина Р6-АВМ-15, де визначено енергетичні показники при стохастичному завантаженні пневмомережі.*

Ключові слова: *регульований електропривод, імітаційна модель, енергетичні показники, електромеханічна система*

Дослідження режимів роботи електромеханічних систем із використанням фізичних моделей має наближений характер, оскільки фізична реалізація випадкових функцій навантаження є складною. Тому

найбільш ефективним методом оптимізації електромеханічних систем з будь-яким збуренням по їх каналах є математичне моделювання.

Останніми роками у практику науково-дослідних розробок широко впроваджуються персональні комп'ютери, що зумовило подальший розвиток цифрового моделювання електромеханічних систем. На сьогодні розроблено значну кількість математичних пакетів, за допомогою яких моделюють інженерні системи, у тому числі й електромеханічні. Одним із таких пакетів є LABVIEW – комплекс апаратних, програмних і технологічних засобів аналізу, моделювання та керування, орієнтований на локальні об'єкти в техніці. Він дає змогу оптимізувати робочі режими й демонструвати результати, завдяки своїм бібліотекам. У системних бібліотеках LABVIEW зберігаються базові модулі, з яких користувач збирає об'єкти.

Подібні можливості має пакет MathConnex у середовищі MATHCAD ("Mathsoft").

Зручні для користувача, що розроблює і досліджує моделі електромеханічних систем, математичні пакети DERIVE ("Soft Warehouse"), EUREKA ("Borland"), MATHCAD ("Mathsoft"), MATLAB ("Mathwork").

Перелічені вище пакети підтримують звичні арифметичні дії та тригонометричні функції, розв'язання рівнянь, роботу з комплексними числами, визначення інтегралів, розрахунок похідних, згладжування функцій і матричні операції, перетворення Фур'є і функцій Бесселя, можливість за допомогою спеціальних команд подавати результати розрахунків у графічній формі.

Ефективність застосування різних пакетів для моделювання електромеханічних систем можна оцінити критеріями обчислювальної математики, основними з яких є універсальність, мова моделювання, зручність застосування та перспективність концепції.

Універсальність моделей визначається їх повнотою, яка оцінюється можливістю різнобічного описання об'єкта, ієрархічністю, тобто здатністю до послідовного, алгоритмічного визначення закономірностей і особливостей його поведінки; комплектністю; високою продуктивністю та надійністю.

Перспективність концепції моделюючого середовища виражається в єдиному підході до постановки і розв'язування задач. Сучасна моделююча система неможлива без здатності до перебудови, готовності до зміни умов експлуатації, без засобів оптимізації своєї конфігурації з урахуванням розвитку об'єкта. Узагалі, авторитет розробника відіграє надзвичайно важливу роль з точки зору перспективності вибраного в моделюванні напрямку.

Щодо мови моделювання, то тут заслуговують на увагу моделі, які будуються із залученням пакетів прикладних програм відомих виробників.

Зручність застосування – це інтегрована оцінка, що характеризує доступність і простоту моделюючої системи, її привабливість для освоєння (наявність ситуативних довідкових засобів, достатність літератури); локалізацію, тобто можливість спілкування на національній мові.

Універсальні, всеохоплюючі моделюючі рішення ефективні лише в тому випадку, коли вони спираються на традиційно сильні, що впевнено розвиваються, колективи розробників, які забезпечують їх гарантований супровід і оновлення в руслі сучасної інформаційної техніки та практики електромеханічних систем.

У багатьох практичних задачах становить інтерес іноді не стільки кількісна оцінка ефективності системи, скільки її поведінка в тій або іншій ситуації. Для такого спостереження дослідник повинен мати відповідні “оглядові вікна”, які можна за необхідності закрити, перенести на інше місце, змінити масштаб і форму подання характеристик, що спостерігаються, причому не очікуючи закінчення поточного модельного експерименту.

Реалізація таких можливостей на універсальній мові програмування дозволяє ППП MatLAB і доводить до досконалості створення цифрових моделей електромеханічних систем.

Мета досліджень – побудувати імітаційну модель регульованого електроприводу пневмотранспорту млина P6-ABM-15 та визначити енергетичні показники у разі зміни завантаження пневмомережі.

Матеріали і методика досліджень. Імітаційна модель частотно-регульованого електроприводу пневмотранспортної установки млина розроблена на основі [1],[2],[3] та показана на рис. 1 і складається з таких основних блоків: пневмомережа – Subsystem, асинхронного електродвигуна – АД, частотного перетворювача, вимірювального комплексу – Machines masurement, а також блоків Product і Product 1, в яких, відповідно, визначається потужність і момент вентиляційної установки. За допомогою блоку Constant задається значення витрати повітря $\text{м}^3/\text{с}$., а блоком Constant 1 – значення коефіцієнта для визначення потужності вентиляційної установки, Вт.

Регулювання частоти обертання електродвигуна приводу вентиляційної установки проводиться наступним чином. Залежно від завантаження матеріалопроводів пневмотранспортної мережі, у пневмовітках і, відповідно, в колекторі, виникають певні значення втрат тиску і витрат повітря, значення яких отримують на виходах H1 і Q блоку Subsystem. Ці значення подаються на блок Product, де визначається необхідна потужність пневмотранспортної установки. Значення витрат повітря Q подається на блок Sum, де віднімається від значення $Q_{\text{зад}}$. На виході блоку Sum формується керуючий сигнал, який подається на частотний перетворювач. Залежно від величини сигналу, на виході частотного перетворювача формується певне значення напруги і частоти, які споживає електродвигун приводу вентиляційної установки. Дана система електрообладнання буде підтримувати необхідні значення технологічних параметрів (H, Q) для нормальної роботи пневмомережі з раціональним використанням електроенергії.

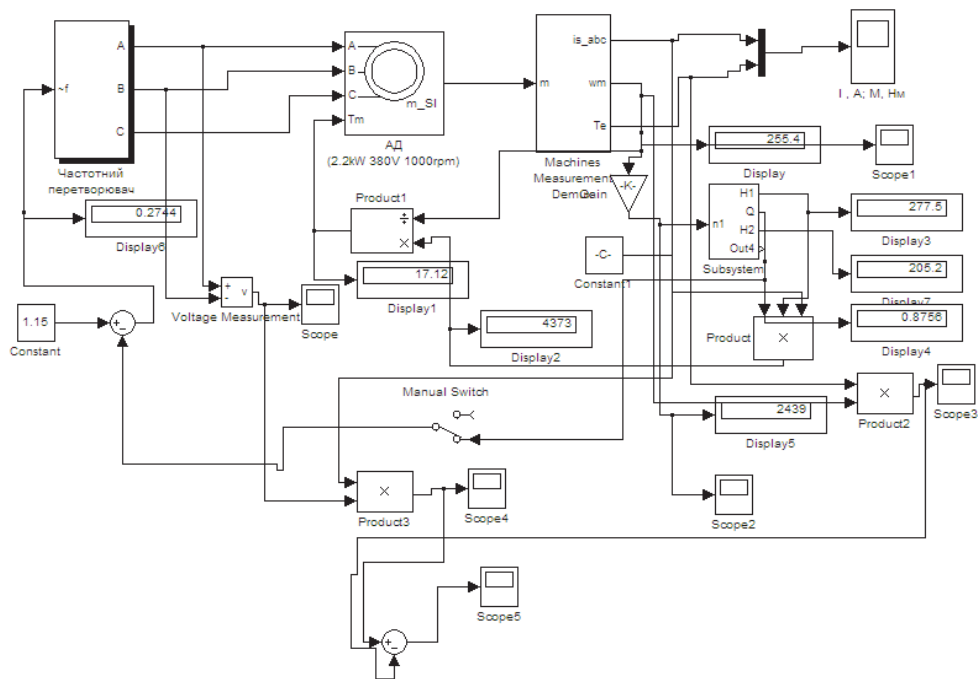


Рис. 1. Імітаційна модель частотно-регульованого електроприводу пневмотранспортної установки млина

Результати досліджень. Ця система електрообладнання буде підтримувати потрібні значення технологічних параметрів (H , Q) для нормальної роботи пневмомережі та дає змогу визначати такі енергетичні показники, як: споживані електроприводом струм (1), електромагнітний момент (2) (рис. 2); потужність (рис. 3) і потужність на валу електродвигуна (рис. 4) при змінному завантаженні продуктопроводів пневмотранспорту (рис. 5). Після запуску вентиляційної установки і відсутності навантаження швидкість повітря в продуктопроводі сягає 30.4 м/с, а струм – 12А і потужність – 4.5кВт. Через 1 хв після пуску проходить послідовне завантаження продуктопроводів пневмосистеми, при цьому швидкість зменшується до 23.2 м/с, а струм і потужність зростають, відповідно – 13А, 5кВт. На 6 хв роботи млина в енергозберігаючому режимі різко зростає навантаження (на 20 % номінального), а швидкість у найбільш завантаженому продуктопроводі падає (рис. 5). Якщо не збільшити при цьому швидкість обертання вентиляційної установки, то трапиться завал продуктопровода. Причому, реакція системи регулювання на різке зменшення швидкості спрацьовує протягом 0,5–0,7 с. Система регулювання зумовлює збільшення швидкості вентиляційної установки і пневмосистема виходить на новий енергозберігаючий режим (рис. 5). При цьому швидкість аеросуміші знову досягає 12.6 м/с., а струм – 14А, потужність – 6 кВт (рис. 2 і 3), потужність на валу електродвигуна – 4,9 кВт (рис. 4) .

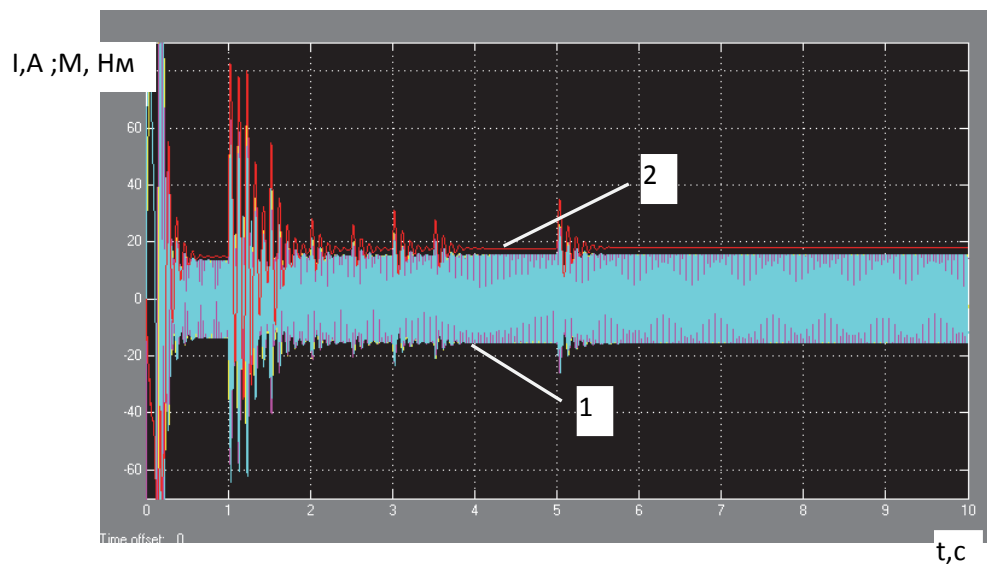


Рис. 2. Споживаний струм (1) і електромагнітний момент (2) електроприводу

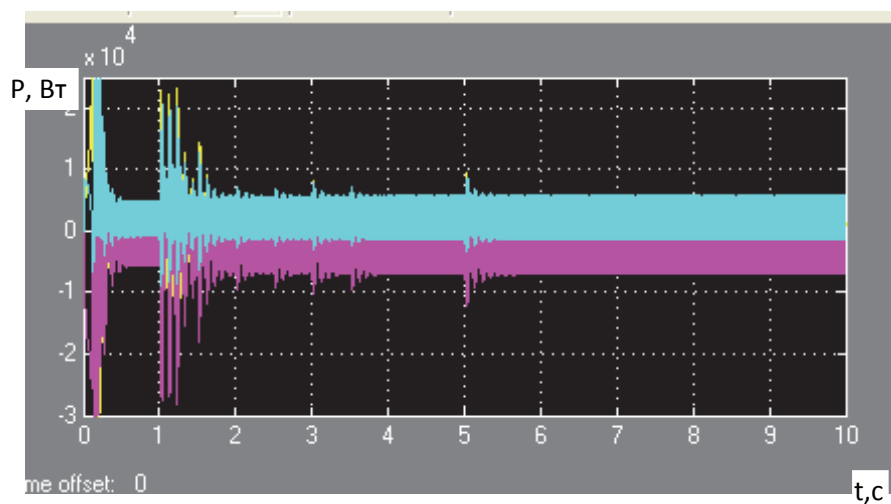


Рис. 3. Осцилограма споживання потужності електроприводом

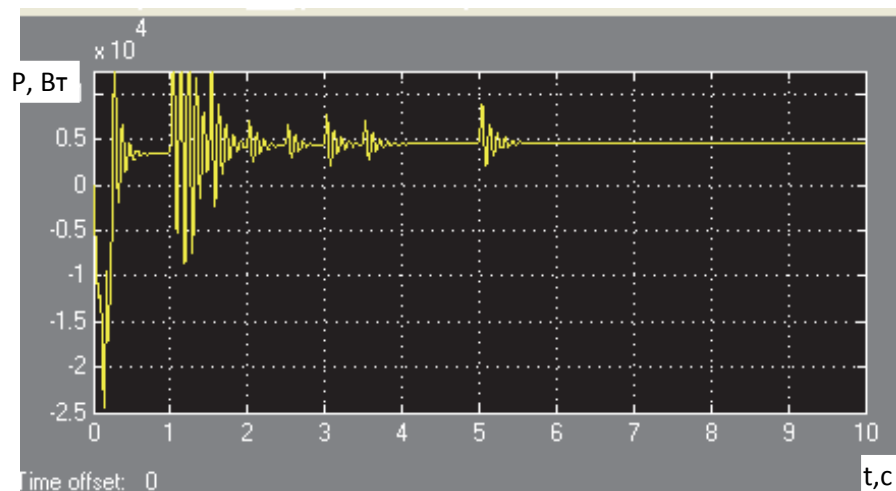


Рис. 4. Зміна потужності електроприводу залежно від режиму роботи пневмосистеми

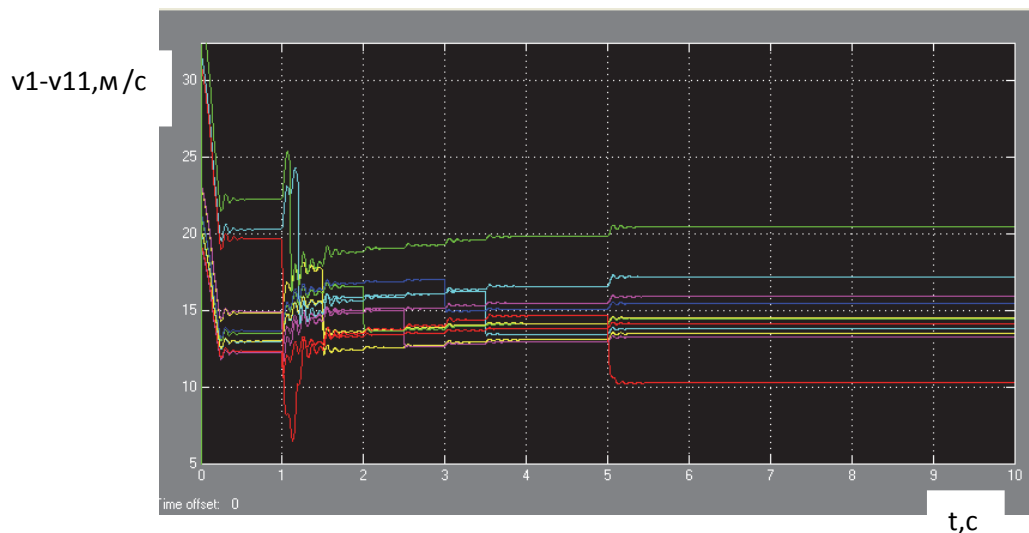


Рис. 5. Швидкість руху аеросуміші в матеріалопроводах при зміні їх завантаження

Висновки

Розроблена імітаційна модель дає змогу визначати енергетичні показники регульованого електроприводу пневмотранспорту млина в статичних і в динамічних режимах, а результати можуть бути використані при визначенні раціональних режимів роботи пневмотранспортних установок різної продуктивності, що транспортують сипкі матеріали з іншими фізико-механічними властивостями.

Список літератури

1. Катюха А. А. Обґрунтування закону керування частотно-регульованим електроприводом вентиляційної установки пневмосистем / А. А. Катюха, П. Б. Клендій, Г. Я. Клендій // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Вип. 13, т. 2. – С. 56–63.
2. Клендій П. Б. Математична модель процесу пневмотранспортування сипких матеріалів у продуктопроводі / П. Б. Клендій, Г. Я. Клендій, С. В. Гайдукевич // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – № 1. – С. 119–124.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

References

1. Katiukha, A. A., Klendii, P. B., Klendii, H. I. (2013). Obhruntuvannia zakonu keruvannia chastotno-rehulovanyim elektropryvodom ventyliatsiinoi ustanovky pnevmosystem [Ground of law of management of a the frequency-managed electromechanic vent setting of pneumatic systems]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu, 13 (2), 56–63.
2. Klendii, P. B., Klendii, H. I., Haidukevych, S. V. (2008). Matematychna model protsesu pnevmotransportuvannia syppykh materialiv u produktoprovodi [The mathematical model of process of pneumotransporting of strew materials in product line]. Visnyk Ternopilskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 1, 119–124.

3. German-Galkin, S. G. (2001). Komp'yuternoye modelirovaniye poluprovodnikovyykh sistem v MATLAB 6.0 [A computer design of the semiconductor systems is in MATLAB 6.0.]. SPb.: KORONA print, 320.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ РЕГУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПНЕВМОСЕТИ МЕЛЬНИЦЫ В ППП "MATLAB"

**П. Б. Клендий,
Г. Я. Клендий,
О. П. Дудар**

Аннотация. В статье в программном пакете Matlab проведено исследование регулируемого электропривода пневмотранспортной установки мельницы P6-ABM-15, где определены энергетические показатели при стохастической загрузке пневмосети.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, имитационная модель, энергетические показатели, электромеханическая система

RESEARCH OF ENERGY MANAGED TO ELECTROMECHANIC OF A VENT SETTING OF PNEUMONETWORK OF MILL IN PPP "MATLAB"

**P. Klendiy,
G. Klendiy,
O. Dudar**

Abstract. In the article a study of the managed electromechanic of the pneumotransport setting of mill of P6-ABM-15 is undertaken in the programmatic package of Matlab, where the power indexes are certain at the stochastic loading of pneumonetwork

Keywords: managed electromechanic, simulation model, power indexes, electromechanics system

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОСІВІВ ПІД ЧАС ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЮ

В. П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
О. О. ОПРИШКО, кандидат технічних наук
Д. С. КОМАРЧУК, кандидат технічних наук
Н. А. ПАСІЧНИК, кандидат сільськогосподарських наук
e-mail: ozon.kiev@gmail.com

Анотація. Розглянуто підходи до використання безпілотних літальних апаратів стосовно програмування врожаю. Визначено перспективні параметри вимірювань шляхом підбору режиму зйомки рослин кукурудзи цифровим фотоапаратом.

Ключові слова: програмування врожаю, безпілотний літальний апарат (БПЛА), вегетаційний індекс

Розробка і впровадження системи моніторингу стану посівів із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої дасть змогу отримувати оперативну інформацію про стан посівів як передумову для максимальної економічної ефективності господарств.

Об'єктом дослідження є стан посівів, який оцінюється виходячи зі спектральних характеристик рослин, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів і наземних досліджень.

Предметом дослідження є залежність між спектральними характеристиками рослин і рівнем забезпечення їх елементами живлення.

Використання дистанційних методів діагностики живлення рослин поки не набуло поширення, що зумовлено їх новизною і недостатньою вивченістю в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах і на конкретних культурах. У світі нині застосовують безконтактні датчики, такі як Greenseeker (Trimble Agriculture – США), CropSpec (Topcon Positioning Systems – Японія), N-sensor (Yara International – Норвегія), які розміщуються безпосередньо на мобільному обладнанні і, виходячи з кольору рослин, визначають потребу і дозу добрив [1].

Принцип дії датчиків базується на здатності хлорофілу рослин відбивати світлові хвилі в ближньому інфрачервоному діапазоні і поглинати в інфрачервоному діапазоні (індекс NDVI). Більш широкий частотний діапазон (400–800 нм) використовується в датчиках Holland Scientific Crop Circle ACS-470 (США), що дає змогу отримувати більш повну інформацію (індекси NDVI, NDRE) [2]. Але в усіх цих датчиках використовується додаткове освітлення зразків, що обмежує можливість його використання на базі БПЛА класу мікро. Крім того, дане обладнання

не призначене для попередньої оцінки стану посівів на різних стадіях росту, що необхідно під час програмування врожаю.

У роботі Kang Yu, V.L.Wiedemann, X. Chen, G. Bareth [3] розглядалися різні спектри рослин на різних стадіях росту, при різному позиціонуванні листа по відношенню до сенсорів, і визначалися складові саме рослин, а не ґрунту. Дослідження, проведені в лабораторних умовах, дали змогу отримати спектральні портрети рослин, але при використанні цих методик у польових умовах необхідно враховувати випадковий характер освітлення і можливість випадання конденсату.

У польових умовах моніторинг посівів щодо азотного живлення, виходячи з їх спектральних характеристик, проводився YAO Xin-feng [4], але і в цьому випадку відстань між посівами і сенсором була незначною, і можливість використання методики для БПЛА не розглядалася.

Проведені дослідження [5], в яких дистанційно з борту БПЛА вивчалися спектри рослин, але метою роботи було виявлення забруднень поля хімічними речовинами, для чого використовувався лазер для підсвічування зразків, що енергетично складно піддається реалізації для підсвічування поля площею від 10 Га. Солоха М. О. [6] описав досвід використання БПЛА для моніторингу посівів без використання додаткового освітлення, але метою його досліджень було визначення ступеня дозрівання і сортимент рослин, тобто умови живлення рослин не розглядалися. Аналогічна робота проводилася J. Gago [7], але вивчався стан зволоження рослин і встановлювалася кількість біомаси, а не потреба в елементах живлення.

Індекси NDVI також отримували за допомогою аеро- і космічної фотозйомки [8], але в цих дослідженнях розглядали усереднене значення, зумовлене роздільною здатністю сенсора, достатнє для прогнозування врожаю, але недостатнє для диференціальної підгодівлі.

Аналіз літературних джерел свідчить, що для забезпечення листової діагностики з відстані понад 2 м, необхідно при кожному вимірі враховувати ступінь освітленості по всьому діагностованому спектру. У наземних дослідженнях це легко реалізувалося застосуванням оптичних шаблонів [9], що методологічно важко піддається реалізації на великих площах.

Мета досліджень – розробка і впровадження системи моніторингу стану посівів із використанням безпілотних літальних апаратів.

Матеріали і методика досліджень. Як досліджувану культуру взяли кукурудзу. Вегетаційний досвід було закладено, відповідно, до методики [10] у фітотроні з автоматизованим управлінням. У субстрат із низьким вмістом органіки і поживних речовин внесли різні дози азоту у вигляді мінерального добрива (аміачної селітри).

Результати досліджень. Цифрова фотокамера БПЛА розрахована на природне освітлення в безхмарну погоду і за наявності хмар, що визначається відповідними режимами в налаштуваннях фотокамери. Цим двом режимам були присвячені додаткові дослідження.

Апроксимуючі залежності для цих режимів зйомки виводилися виходячи з середньоарифметичних значень інтенсивності складових кольору для обох сторін листа (1):

$$И = I_1 \times (1 - e^{(-t/m1)}) + I_2 \times (1 - e^{(-t/m2)}) \quad (1)$$

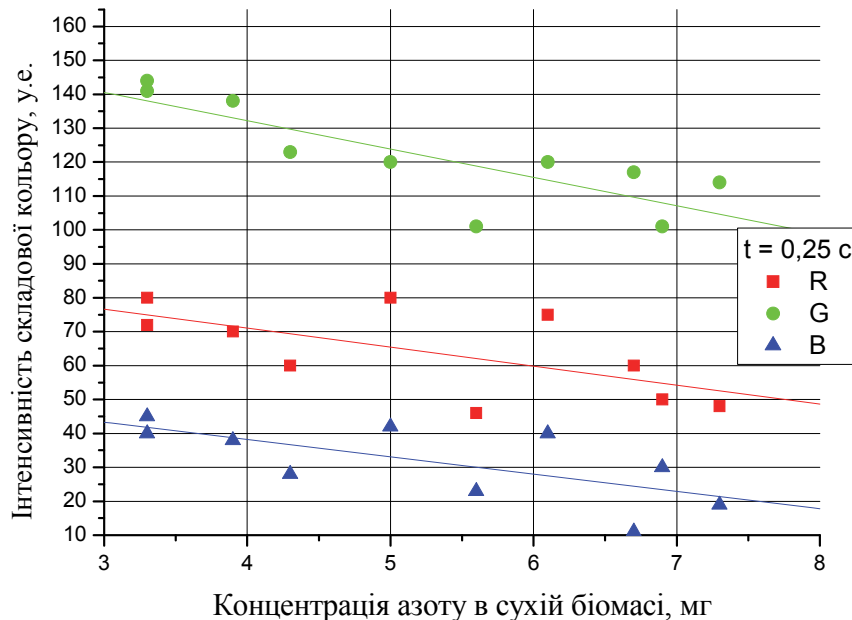
де: И – інтенсивність складової кольору;

I, m – коефіцієнти;

t – приведений час експозиції;

Було досліджено співвідношення між відхиленням середнього значення від розрахункового за апроксимуючою формулою для складових кольору листа і величини корекції експозиції. Було встановлено, що мінімальні відхилення спостерігаються для режиму зйомки «баланс білого – ясно» для червоної і зеленої складових, відповідно, саме ці канали кольору і режим зйомки найбільш прийнятні для польових досліджень з БПЛА.

На рисунку представлені залежності інтенсивностей складових кольору від концентрації азоту в біомасі кукурудзи для фази 5–6 листків. Саме ця фаза зростання і розвитку відповідає повному переходу рослин на кореневе живлення і є ефективною для проведення підживлення.



Залежність інтенсивності складових кольору листа від кількості N

Встановлено, що найбільш яскраво залежність спостерігається в зеленій і червоній складових кольору. Великий розкид значень пояснюється тим, що при дослідженнях сторін аркуша, значний відсоток поверхні становили прожилки листа, які мають світліші відтінки. При зйомках із дистанцій у кілька десятків метрів такий вплив на загальний колірний фон має зменшитися.

Висновки

- Цифровий фотоапарат може використовуватися в польових умовах для індикації рівня забезпечення рослин кукурудзи азотом, без додаткового штучного освітлення.
- Найбільш перспективними режимами зйомки для фотоапарата є значення «ясно» для параметра «баланс білого».
- За попередніми даними, найбільш перспективними оптичними каналами для досліджень в моделі RGB є зелений і червоний.

- У вегетаційному досвіді у фітотроні доцільно розглядати не частину верхнього листя, а лист цілком.
- Залежність оптичних показників рослин від забезпеченості їх азотом на різних етапах розвитку потребує продовження і розширення досліджень.

Список літератури

1. Любченко С. Азот потребує точності / С. Любченко // Пропозиція : укр. журн. з питань агробізнесу. – 2013. – № 5. – С. 120–124.
2. Fei Li, Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S. Ustin, X. Chen (2014) // Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 15 February, 111–123.
3. Kang Yu, V. L. Wiedemann, X. Chen, G. Bareth. (2014). Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, November, 58–77.
4. Y. Xin-feng, Y. Xia, T. Yong-chao, N. Jun, L. Xiao-jun, C. Wei-xing, Z. Yan (2013) // A New Method to Determine Central Wavelength and Optimal Bandwidth for Predicting Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat // *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (5), 788–802.
5. Гніденко В. В. / В. В. Гніденко, М. В. Наливайчук, В. О. Яценко Вимірювально-обчислювальна система на базі Авіаційного гіперспектрометра // *Наукові праці НУХТ*. – № 48. – 2013. – С. 17–22.
6. Солоха М. О. Динаміка спектральної яскравості посівів м'якої пшениці за даними аерофотозйомки / М. О. Солоха // *Вісник ХНАУ*. – № 2, 2013. – С. 57–62.
7. J. Gago, C. Douthe, R. E. Coopman, P. P. Gallego, M. Ribas-Carbo, J. Flexas, J. Escalona, H. Medrano (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture // *Agricultural Water Management*, 153, 1 May, 9–19.
8. Визначення вмісту гумусу в ґрунті неконтактними методами / С. Ю. Булигін, О. О. Опришко, Н. А. Гайбура, Д. І. Бідолах // *Вісник аграрної науки*. – 2005. – № 4. – С. 34–37.
9. Андріїшина М. В. Удосконалена методика визначення вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах на базі цифрової фотометрії / М. В. Андріїшина, С. Ю. Булигін, О. О. Опришко // *Аграрна наука і освіта*. – 2007. – Т. 8. – № 5–6. – С. 80–84.
10. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. – М. : Наука, 1968. – 260 с.

References

1. Lubchenko, S. (2013). Azot potrebuye tochnosti [Nitrogen needs precision]. Offer: Ukrainian magazine for agribusiness, 5, 120–124.
2. Fei Li, Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S. Ustin, X. Chen (15 February 2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111–123.
3. Kang Yu, V. L. Wiedemann, X. Chen, G. Bareth (2014). Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, 58–77.
4. Y. Xin-feng, Y. Xia, T. Yong-chao, N. Jun, L. Xiao-jun, C. Wei-xing, Z. Yan (2013). A New Method to Determine Central Wavelength and Optimal Bandwidth for Predicting Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (5), 788–802.

5. Gnidenko, V. V., Nalivaychuk, M. V., Yatsenko, V. O. (2013). Vimiryuvalno-obchislualna systema na bazi Aviatsiynogo giperspektrometru [Measurement-computer system at the Aviation hyperspektrometr]. Proceedings of the National University of Food Technologies, 48, 17–22.

6. Soloha, M. O. (2013). Dinamika spektralnoy yarkosti posiviv myakoi pshenitsi za dannimy aerofotosyomki [The dynamics of the spectral brightness of the crops of wheat, according to aerial photography]. Bulletin of Kharkiv National Aviation University, 2, 57–62.

7. J. Gago, C. Douthe, R. E. Coopman, P. P. Gallego, M. Ribas-Carbo, J. Flexas, J. Escalona, H. Medrano (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. Agricultural Water Management, 153, 9–19.

8. Buligin, S. U., Opryshko, O. O., Gaybura, N. A., Bidolah, D. I. (2005). Vznaceniya vmistu gumusu v grunti nekontaktnimi metodamy [Determination of humus in the soil non-contact methods]. Journal of Agricultural Science, 4, 34–37.

9. Andriishina, M. V., Buligin, S. Yu., Opryshko, O. O. (2007). Improved method of determining the content of humus in the black earth soils based on digital photometry [Udoskonalena metodika viznachennya vmistu gumus v chornozemnih gruntah na bazi tsifrovoi fotometrii] Agricultural science and education, 5–6, 80–84.

10. Zurbitskiy, Z. E. (1968). Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda [Theory and practice of vegetation method]. Moscow, Russia: Science, 260.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОСЕВОВ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЯ

**В. Ф. Лысенко,
А. А. Опрышко,
Д. С. Комарчук,
Н. А. Пасичник**

Аннотация. Рассмотрены подходы к использованию беспилотных летательных аппаратов применительно к программированию урожая. Определены перспективные параметры измерений путём подбора режима съёмки растений кукурузы цифровым фотоаппаратом.

Ключевые слова: программирование урожая, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), вегетационный индекс

USING DRONES FOR REMOTE SENSING OF CROP YIELD FOR PROGRAMMING

**V. Lisenko,
A. Opryshko,
D. Komarchuk,
N. Pasychnik**

Abstract. The approach to the use of unmanned aerial vehicles in relation to programming the harvest. Perspective parameters measurements by selecting the shooting mode corn plants with a digital camera.

Keywords: programming the harvest, an unmanned aerial vehicle (drones), the vegetation index

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

М. Ф. СТАРОДУБ, доктор біологічних наук

С. А. ШВОРОВ, доктор технічних наук

Д. С. КОМАРЧУК, кандидат технічних наук

В. Є. ЛУКІН, кандидат педагогічних наук

П. Г. ОХРІМЕНКО, інженер

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

e-mail: sosdok@i.ua

Анотація. Запропоновано функціональну структуру системи оптимального керування електротехнічним комплексом (ЕТК) біогазової установки (БГУ), що забезпечує отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив на основі переробки різних видів субстратів та використання спеціальних домішок. Розглянуто основні задачі щодо оптимального дозування та перетворення у біогаз різних видів енергетичних культур та інших органічних відходів.

Ключові слова: оптимальна система керування, електротехнічний комплекс, біогазова установка, органічна сировина, біогаз, енергетичні культури, біометан

Одним із важливих секторів відновлюваних джерел енергії у світі є виробництво та енергетичне використання біогазу. Отримання максимально можливих об'ємів біометану планується на основі використання не лише різноманітних відходів з ферм, а й вирощування та збір спеціальних енергетичних культур (ЕК) і ензимів. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності функціонування біогазових установок є розробка спеціальної системи оптимального керування щодо завантаження БГУ різними видами субстратів та створення необхідних умов для отримання максимально можливого об'єму біогазу та органічних добрив при часових і вартісних обмеженнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що фіксоване дозування вхідних субстратів визначається ще на етапі конструювання БГУ. У встановленому технологічному процесі не передбачається застосування у БГУ різних видів сезонної біомаси. При цьому, неоптимальне керування процесом завантаження різних видів субстратів може призвести до значного зменшення виходу біогазу. Перспективним напрямом усунення зазначеного недоліку є розробка та використання в математичному забезпеченні системи керування БГУ спеціального методу оптимального дозування вхідних субстратів та необхідних каталітичних домішок.

Мета досліджень – розробка методу та системи оптимального керування ЕТК БГУ щодо дозування вхідних субстратів і спеціальних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу.

Матеріали і методика досліджень. Одним із напрямів інтенсифікації процесів зброджування є оптимальне дозування та деструкційна (кавітаційна) обробка різних видів сировини, оптимальне підігрівання й перемішування завантаженого субстрату. При цьому перспективним напрямом інтенсифікації біогазових установок є застосування багатомодульних БГУ (рис. 1).

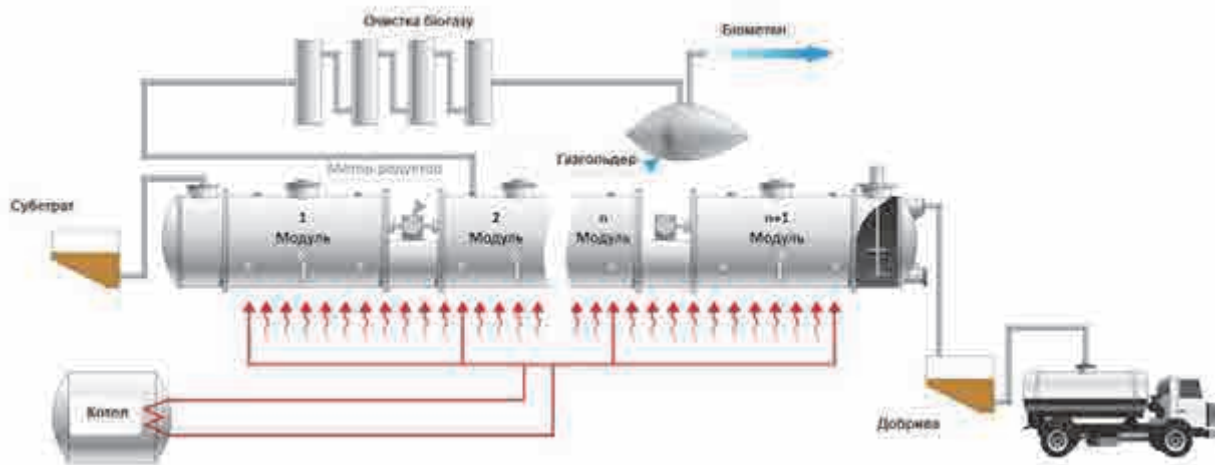


Рис. 1. Багатомодульна БГУ

Інтенсифікація біоенергетичної утилізації приводить не лише до збільшення виходу біогазу, але й до значного зменшення площі, що займають ці споруди. Такі процеси потребують продуктивного керування складними системами метанового бродіння та побудови спеціальної системи керування (СК) електротехнічним комплексом БГУ (рис. 2).

Загальний напрям у системному проектуванні СК – це проектування системи оптимального керування ЕТК БГУ для отримання максимальних об'ємів біогазу.

Результати досліджень. Як показують результати теоретичних та практичних досліджень, найбільший вихід біометану, дають субстрати з високою концентрацією енергії: свіжа трава, бадилля буряка, кукурудза, зернові рослини [1, 2]. Найменший вихід біогазу з органічного сухого субстрату має солома.

За допомогою системи керування ЕТК БГУ повинні забезпечуватися такі ключові умови виробництва біогазу.

Бактерії можуть активно працювати тільки в умовах відсутності кисню, тобто в анаеробних умовах. У системі керування біогазової установки спочатку передбачено дотримання цієї умови. При цьому виробництво біогазу здійснюється лише у вологому середовищі, адже лише за таких умов бактерії можуть функціонувати.

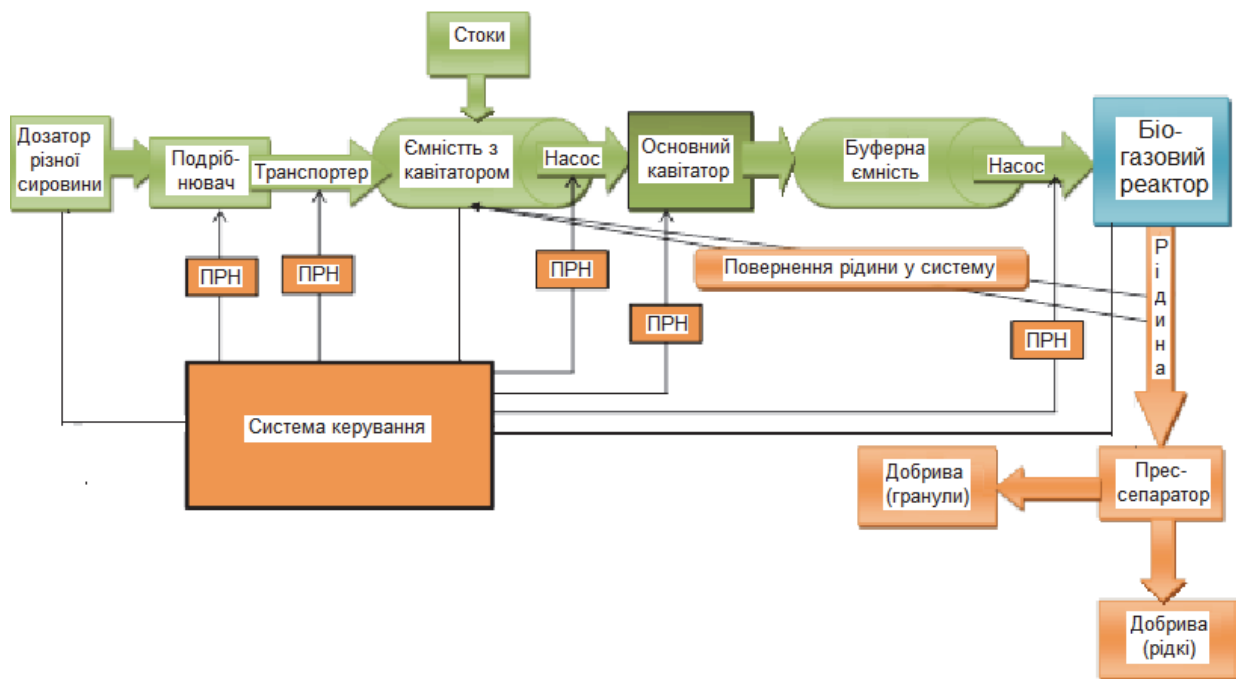


Рис. 2. Структура електротехнічного комплексу багатомодульної БГУ:
ПРН – плавний регулятор напруги

Оптимальним режимом для всіх груп бактерій є діапазон температур 35–40о С, що також забезпечується системою керування ЕТК БГУ з урахуванням прогнозованої температури навколишнього середовища.

У процесі бродіння кількість виробленого газу поступово зростає відповідно до збільшення його тривалості, причому спочатку воно відбувається швидше, а в міру зростання тривалості бродіння – повільніше. У результаті настає такий момент, коли подальше перебування у ферментаторі буде недоцільне з економічної точки зору.

Гідролізні й кислотоутворюючі бактерії в середовищі з рівнем рН 4,5–6,3 досягають оптимуму своєї активності, тоді як бактерії, що утворюють оцтову кислоту і метан, можуть жити лише при нейтральному або при слаболужному рівні рН 6,8–8. Для всіх бактерій дійсним є правило: якщо рівень рН перевищує оптимальний, то вони стають менш активними у своїй життєдіяльності, що затримує утворення біогазу.

Відомо, що співвідношення вуглецю до азоту в різних типах гнойових відходах свиней та в рідких відходах ВРХ здебільшого не перевищує значення 15, а для стабільного протікання процесу метанового бродіння оптимальним співвідношенням є діапазон 10-30:1. Натомість, співвідношення вуглецю до азоту в ЕК здебільшого перевищує значення 30. Очевидно, що змішування гнойових відходів та ЕК дасть змогу оптимізувати склад суміші за співвідношенням вуглецю до азоту, що свідчить про доцільність їх сумісного зброджування.

Процес інтенсифікації виходу біогазу полягає в тому, що потік різних видів біомаси у модулях БГУ подрібнюється до необхідного мікроскопічного рівня та гомогенізується. За допомогою спеціального

оптичного імунного біосенсору на основі поверхневого плазмового резонансу (ППР) визначається кількість та інтенсивність росту мікробної популяції у зброджуваній біомасі, що необхідно для оптимального дозування різних видів ЕК та спеціальних домішок, які в комплексі з кавітаційними деструкторами біомаси дадуть змогу значно збільшити вихід біогазу для отримання різних видів енергії.

Оптичний імунний біосенсор розроблюється на основі принципу ППР та відпрацьовується базовий алгоритм для оцінки інтенсивності росту мікробної популяції у зброджуваній біомасі під час переробки біомаси та домішок у біогазовій установці. Для цього, отримуються поліклональні антисироватки до генералізованої мікробної популяції, а з них виділяються специфічні антитіла у вигляді імуноглобулінів G. Останні використовуються в якості специфічних селективних сайтів для кількісної біосенсорної ідентифікації відповідних мікробних клітин. Щоб досягти високої чутливості аналізу, поверхня трансдюцера біосенсора попередньо оброблюється проміжними шарами. У процесі оптимізації цього процесу використовуються шари з ряду поліелектролітів та деяких білків стафілококу. Сенсорна діаграма аналізу подана на рис. 3, з якого видно, як змінюється резонансний кут ППР за умови контакту трансдюцерної поверхні з різними компонентами.

Попередньо отримані результати за кількісною оцінкою специфічних вищезгаданих базових груп бактерій у досліджуваному середовищі за допомогою оптичного ППР біосенсора подано на рис. 4. З огляду отриманих результатів, можна впевнено стверджувати, що чутливість аналізу досягає значного рівня, а головне, вона покриває діапазон коливання концентрації мікробних клітин для забезпечення оптимального стану каталітичного процесу бродіння. Наведені дані добре узгоджуються з раніше отриманими нами результатами щодо кількісного тестування деяких патогенних бактерій [3, 5].

Робоча гіпотеза дослідження полягає в тому, що шляхом оптимізації окремих етапів у циклі підготовки (дозуванні, деструкції-кавітації, підігріву) різних видів ЕК та спеціальних домішок (ензимів) досягається збільшення виходу біогазу та органічних добрив, підвищується їх якість, збільшується продуктивність БГУ та зменшується собівартість біогазу.

Технологію виробництва біогазу та органічних біодобрив можна представити у багатокроковій послідовності окремих стадій і робочих операцій. У БГУ охоплюється весь цикл операцій – від прийому оптимальних об'ємів різного виду вхідної сировини та спеціальних домішок і до одержання готової продукції – біогазу та добрив. При цьому передбачається, що процес переробки вхідної сировини являє собою керований N -етапний динамічний процес, який на кожному (n -му) етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування m_n (об'ємом різного виду вхідної сировини та домішок) і параметрами стану $G_n(m_n)$ (об'ємом отриманого біогазу на n -му етапі) [5]. У вигляді обмежень виступає сумарний ресурс часу функціонування БГУ (T) та вартісні витрати (C), що виділяються на вхідну сировину та домішки.

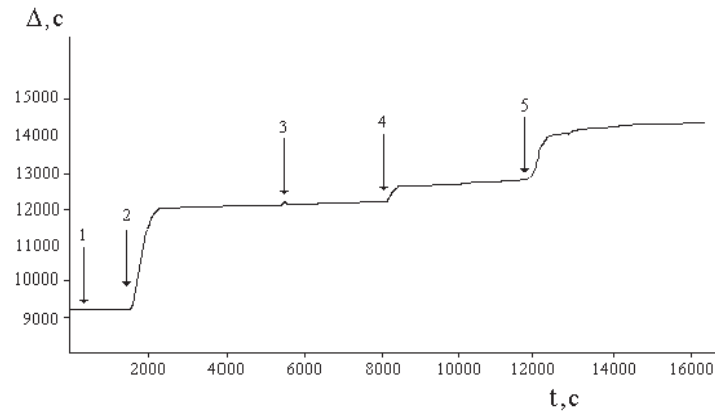


Рис. 3. Відгук біосенсора на основі ППР на присутність окремих компонент у вимірювальній комірці:

1 – дистильована вода, 2 – антитіла, що специфічні до окремих типів мікробних клітин, 3 – бичачий сироватковий альбумін, 4, 5 – самі мікробні клітини відповідно в концентрації 10^2 та 10^4 в мл (абсциса – час аналізу, ордината – зміни резонансного кута)

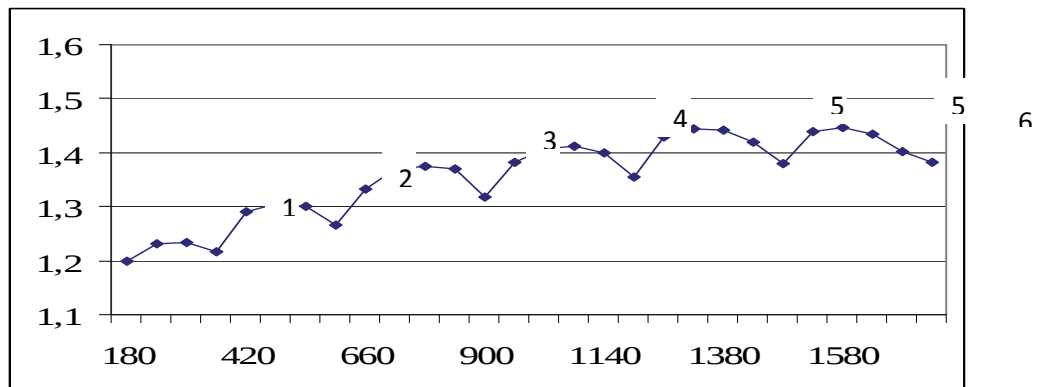


Рис. 4. Біосенсорна діаграма кількісного аналізу бактерій в біореакторній системі за допомогою імунного біосенсора на основі ППР:

абсциса – час аналізу, с; ордината – зміни резонансного кута 1-5 - 10^2 - 10^6 клітин/мл

Кінцевою метою функціонування БГУ (W_N) є отримання максимальних об'ємів біогазу.

Загалом задача оптимального дозування різних видів вхідної сировини та домішок може бути подана так.

Знайти

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) \quad (1)$$

при $T_N \leq T; C_N \leq C, \quad (2)$

де T_N – використаний час упродовж N етапів функціонування БГУ;

C_N – витрати впродовж N етапів функціонування БГУ.

Таким чином, необхідно знайти такі об'єми різних видів вхідної сировини та домішок на кожному етапі (m_n), щоб максимізувати цільову функцію (1) за наступних обмежень:

$$\left. \begin{aligned} a) \quad m_n &= 0, 1, 2, \dots, \\ б) \quad \sum_{n=1}^N t_n m_n &\leq T, \\ в) \quad \sum_{n=1}^N c_n m_n &\leq C, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де t_n – час анаеробного бродіння на n -му етапі функціонування БГУ;

C_n – вартісні витрати вхідної сировини (домішок), що завантажується на n -му етапі.

Для знаходження оптимальних значень (m_n) скористаємося методом динамічного програмування [4].

Оскільки в задачі є два види ресурсів (T та C), необхідно ввести два параметри становищ ξ_T та ξ_C .

Позначимо

$$\max_{m_1, \dots, m_k} \sum_{n=1}^k G_n(m_n)$$

за умови

$$\sum_{n=1}^k t_n m_n \leq \xi_T; \quad \sum_{n=1}^k c_n m_n \leq \xi_C; \quad m_n \geq 0, \quad n = 1, \dots, k.$$

через $A_k(\xi_T; \xi_C)$.

Після нескладних перетворень приходимо до наступного основного рекурентного співвідношення динамічного програмування:

$$A_k(\xi_T, \xi_C) = \max_{0 \leq m_k \leq \delta_k} [G_k(m_k) + A_{k-1}(\xi_T - t_k m_k; \xi_C - c_k m_k)],$$

$$\delta_k = \min \left\{ \left\lceil \frac{\xi_T}{t_k} \right\rceil; \left\lceil \frac{\xi_C}{c_k} \right\rceil \right\}$$

де

Одночасно з $A_k(\xi_T; \xi_C)$ знаходимо й оптимальне рішення $m_k^o(\xi_T; \xi_C)$.

На N -му етапі визначаємо $A_N(T; C)$ та одночасно – $m_N^o(T; C)$.

Найбільш вагомою перешкодою у вирішенні цієї задачі є велика її розмірність. Тому, з метою зниження розмірності, від задачі (1) перейдемо до задачі з одним обмеженням

$$\max W_1 = \max_{\{m_n\}} \sum_{n=1}^N G_n(m_n) - \lambda \sum_{n=1}^N c_n m_n \quad (4)$$

за умови

$$\sum_{n=1}^N t_n m_n = T; \quad m_n \geq 0,$$

де λ – множник Лагранжа [4].

Використання методу невизначених множників Лагранжа дає змогу зменшити розмірність, і тому задача (4) незрівнянно простіша за початкову.

Апріорі величина λ невідома, і тому задачу (4) доводиться вирішувати при декількох довільних значеннях λ . Оптимальне рішення задачі (4) буде залежати від λ :

$$m_{n\text{opt}} = m_n^o(\lambda) \quad (n = 1, \dots, N).$$

Якщо знайдене рішення $m_n^o(\lambda)$ відповідає обмеженню (3в), то воно є шуканим рішенням задачі (1). В іншому випадку, значення λ треба корегувати. Зокрема, якщо з'ясується, що $\sum_{n=1}^N c_n m_n^o(\lambda) > C$, то необхідно збільшувати λ .

Для швидкого визначення λ може бути застосований метод послідовних наближень [5]. Якщо для значень λ_1, λ_2 знайдені оптимальні рішення $m_1^o(\lambda_1), m_2^o(\lambda_2)$, то на наступному кроці отримуємо λ_3 з формули

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{h_2 - h_1} (C - h_1) + \lambda_1,$$

де

$$h_2 = \sum_{n=1}^N c_n m_n^o(\lambda_2); \quad h_1 = \sum_{n=1}^N c_n m_n^o(\lambda_1).$$

Оскільки у задачі (4) розглядається один вид ресурсу (C), необхідно ввести один параметр становища ξ_C .

Позначимо

$$\max_{m_1, \dots, m_k} \sum_{n=1}^k G_n(m_n)$$

за умови

$$\sum_{n=1}^k t_n m_n \leq \xi_T; \quad m_n \geq 0, \quad n = 1, \dots, k.$$

через $A_k(\xi_c)$.

Тоді основне рекурентне співвідношення динамічного програмування має наступний вигляд:

$$A_k(\xi_C) = \max_{m_k} [G_k(m_k) - \lambda c_k m_k + A_{k-1}(\xi_C - c_k m_k)]$$

Необхідно відзначити, що метод динамічного програмування являє собою направлений послідовний перебір варіантів, що обов'язково приводить до глобального максимуму й оптимального вирішення задачі (1).

На основі запропонованого методу відпрацьовуються стратегії оптимального керування ЕТК БГУ. Залежно від наявності технічних засобів і прогнозованих умов $u^p \in U$ генерується множина стратегій $\{V\}$. Серед існуючої множини стратегій визначається така $v^p \in V$, при якій забезпечується отримання максимального прибутку (P) від реалізації біометану та добрив:

$$P(v^p) = D - (C + kT) \rightarrow \max, \quad (5)$$

при $u^p \in U$,

де D – відповідно прогнозований дохід від реалізації біометану та добрив, грн;

C – вартість реалізації v^p -ої стратегії керування ЕТК щодо переробки різних видів вхідної біомаси та спеціальних домішок для отримання біометану, грн;

k – вартість функціонування одного часу БГУ, грн/час;

T – час роботи БГУ при реалізації v^p -ої стратегії керування ЕТК.

Таким чином, в умовах динамічних змін багатьох зовнішніх та внутрішніх факторів, що характеризуються постійною невизначеністю, основою успішного функціонування БГУ є визначення оптимальних стратегій керування ЕТК БГУ для отримання максимальних об'ємів біометану та органічних добрив.

Висновки

На основі проведеного аналізу задач керування ЕТК, що впливають на ефективність виробництва біометану, розроблено метод та систему оптимального керування електротехнічним комплексом біогазової установки щодо дозування вхідних субстратів та необхідних каталітичних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив.

Список літератури

1. Гелету́ха Г. Г. Перспективи біогазу в Україні. – Економічна правда, 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.
2. Гелету́ха Г. Г. Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспектива / Г. Г. Гелету́ха, П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев. – Киев-Гюльцов, 2013. – 71 с.
3. Starodub, N. (2016). Efficiency of Instrumental Analytical Approaches at the Control of Bacterial Infections in Water, Foods and Feed / N. Starodub, J. Ogorodniichuk, O. Novgorodova // Biosensors for Security and Bioterrorism Applications, Edited by Dimitrios P. Nikolelis, 199.
4. Шворов С. А. Метод оптимального дозування вхідних субстратів та спеціальних домішок для біогазових установок / С. А. Шворов, О. М. Юрченко, Д. С. Комарчук, П. Г. Охріменко // Відроджувальна енергетика. – 2015. – № 2. – С. 80–83.
5. Ogorodniichuk, J. (2013). Optical Immune Biosensors for Salmonella Typhimurium Detection // J. Ogorodniichuk, N. Starodub, T. Lebedeva, P. Shpylovyy // Advances in Biosensors and Bioelectronics (ABB), 2, 3, 39–46.

References

1. Heletukha, H. (2013). Perspektyvy biogazu v Ukrayini [Prospects for biogas production in Ukraine]. Ekonomichna pravda. – Available at: <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.
2. Heletukha, H., Kucheruk, P. Matveev, Y. (2013). Razvitiye byogazovykh tekhnologyy v Ukrayne y Germanyyi: normativno-pravovoye pole, sostoyanye y perspektyva [The development of biogas technology in Ukraine and Germany: the regulatory and legal framework, and the prospect of a state]. Kiev-Gültz, 71.

3. Starodub, N., Ogorodniichuk, J., Novgorodova, O. (2016). Efficiency of Instrumental Analytical Approaches at the Control of Bacterial Infections in Water, Foods and Feed . Biosensors for Security and Bioterrorism Applications, 199.

4. Shvorov, S. A. Yurchenko, O. M., Komarchuk, D. S., Okhrimenko, P. H. (2015). Metod optimal'nogo dozuvannya vkhidnykh substrativ ta spetsial'nykh domishok dlya biogazovykh ustanovok [The method of optimal dosing incoming substrates and special additives for biogas]. Renewable energy, 2, 80–83.

5. Ogorodniichuk, J. N., Starodub, T., Lebedeva, T., Shpylovyy P. (2013). Optical Immune Biosensors for Salmonella Typhimurium Detection. Advances in Biosensors and Bioelectronics (ABB), 2 (3), 39–46.

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

**Н. Ф. Стародуб,
С. А. Шворов,
Д. С. Комарчук,
В. Е. Лукин,
П. Г. Охрименко**

Аннотация. Предложена функциональная структура системы оптимального управления электротехническим комплексом биогазовой установки, обеспечивающей получение максимальных объемов биогаза и органических удобрений на основе переработки различных видов субстратов и использования специальных добавок. Рассмотрены основные задачи по оптимальной дозировке и преобразованию в биогаз различных видов энергетических культур и других органических отходов.

Ключевые слова: оптимальная система управления, электротехнический комплекс, биогазовая установка, органическое сырье, биогаз, энергетические культуры, биометан

SYSTEM CONTROL OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX OF BIOGAS PRODUCTION

**N. Starodub,
S. Shvorow,
D. Komarchuk,
V. Lukin,
P. Ohrimenko**

Abstract. The functional structure for the optimization of the system control of the electro technical complex of biogas production providing maximal it volumes and obtaining organic fertilizer based on processing of different types of substances and using of special additives is analyzed. It is discussed the main task of the optimal dosage and transformation into biogas of different types of energy crops and other organic wastes.

Keywords: biogas production, biomethane, organic feed, energy crops, electro technical complex, control system

ЭВОЛЮЦИЯ ЭНТРОПИИ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук
А. В. МИЩЕНКО, кандидат технических наук
Е. В. ШЕЛИМАНОВА, кандидат технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. Приведены основы метода анализа неравновесных многокомпонентных систем на базе положений Онзагера, в том числе феноменологического подхода: соотношения симметрии, принципа взаимности. Даны сведения о химическом потенциале Гиббса для смеси. Рассмотрен вопрос о производстве энтропии для нестационарных и неравновесных систем. Выполнен анализ эволюции энтропии и условия тождества Гиббса, касающегося её производства.

Ключевые слова: неравновесная система, многокомпонентная среда, соотношение Онзагера, химический потенциал Гиббса, принцип взаимности Онзагера-Казимира, соотношение симметрии, эволюция производства энтропии

Метод классической термодинамики позволяет исследовать основные закономерности квазистатических процессов, не вскрывая их молекулярного механизма. Работы Онзагера и Пригожина [1, 2] заложили основы аналогичного метода для исследования необратимых процессов, представляющих особый интерес для современной техники. Этот метод достаточно успешно применяется для изучения явлений переноса, химической кинетики и ряда других процессов.

Цель исследования – разработать метод определения степени неравновесности многокомпонентных нестационарных систем на основе эволюции производства энтропии.

Материалы и методика исследований. В линейной неравновесной термодинамике в качестве определяющих соотношений, которые дополняют систему гидродинамических уравнений сохранения, применяются феноменологические соотношения необратимых процессов (соотношения Онзагера) [1]

$$J_k = \sum_{j=1}^Q L_{kj} F_j, \quad (k=1, 2, \dots, Q) \quad (1)$$

где Q – число независимых физических процессов;

L_{kj} – матрица феноменологических (кинетических) коэффициентов, связывающая между собой потоки J_k и термодинамические силы X_j .

Первые соответствуют скоростям изменения экстенсивных величин (таких как масса, энергия), для которых существуют законы сохранения, или переносимых величин (таких как теплота), которые связаны с потоками в законах сохранения; вторые пропорциональны градиентам интенсивных параметров, отклоняющих термодинамическую систему от равновесия.

Потоки и термодинамические силы в (1) являются, в общем случае, тензорными величинами любого ранга. Как было упомянуто выше, в рамках феноменологической теории явный вид кинетических коэффициентов в (1) не расшифровывается, однако их физический смысл может быть выяснен в рамках молекулярно-кинетической теории. Число отличных от нуля кинетических коэффициентов в (1) ограничивается принципом Кюри [3], согласно которому, в силу свойств симметрии рассматриваемой материальной среды, компоненты (здесь составляющие векторов вдоль осей координат) потоков будут зависеть не от всех компонентов термодинамических сил.

Так, в частном случае изотропной системы (свойства которой в равновесном состоянии одинаковы во всех направлениях), процессы разной тензорной размерности не взаимодействуют друг с другом. Кроме того, при аксиоматическом подходе принимаются в качестве независимого постулата соотношения симметрии Онсагера-Казимира (принцип взаимности) позволяющие свести к минимуму число феноменологических коэффициентов в линейных соотношениях [4].

$$L_{kl}(B, \Omega) = \varepsilon_k \varepsilon_l L_{lk}(-B, -\Omega), \quad (2)$$

здесь B – магнитная индукция;

Ω – угловая скорость вращения системы;

$\varepsilon_k = 1$ для четных (энергия, концентрации) и $\varepsilon_k = -1$ для нечетных (плотность импульса) макроскопических параметров (четных или нечетных функций скоростей частиц). Для изотропной не вращающейся системы в отсутствии внешнего магнитного поля соотношения симметрии приобретают более простой вид:

$$L_{kl} = L_{lk}, \quad (3)$$

где L_{kl}, L_{lk} – скалярные величины.

Соотношения симметрии (2) могут считаться эмпирически устойчивой аксиомой, независимо от их доказательства в рамках статистической механики. Согласно Миллеру [5] и Мейсону [6], экспериментальное подтверждение принципа взаимности столь же убедительно, как и подтверждение 1, 2 и 3-го начал термодинамики. Это дает основание возвести постулат (1) в статусе парадигмы и использовать в качестве основы для описания широкого круга явлений.

Для определения потоков и сопряженных им термодинамических сил используется обычно конкретное представление скорости производства энтропии $\sigma_{(s)}$ внутри системы в рассматриваемом необратимом процессе в виде билинейной формы [3]

$$T\sigma_{(s)} = \sum_{k=1}^Q J_k F_k \geq 0 \quad (4)$$

причем, после того, как определены потоки J_k , сопряженные им силы X_k находятся однозначным образом, как коэффициенты перед соответствующими потоками в этом выражении.

Результаты исследований. Плотность удельной энтропии можно представить в виде уравнения эволюции энтропии:

$$\rho ds / dt = J_{(s)j,j} + \sigma_{(s)}, \quad (\sigma_{(s)} \geq 0), \quad (5)$$

в котором $J_{(s)j}$ – составляющие вектора субстанциональной плотности потока энтропии, причем дивергенция $J_{(s)j,j}$ описывает обратимый теплообмен между рассматриваемой системой и внешней средой, а неравенство $\sigma_{(s)} \geq 0$ соответствует второму закону термодинамики, который гласит, что энтропия замкнутой системы не может уменьшаться.

Принимая во внимание удельные числовые плотности на единицу объема молекулы вида α , удельной внутренней энергии смеси, а также соотношение внутренней энергии смеси, можно записать соотношение тождества Гиббса для движения центра масс физического элементарного объема:

$$TdS/dt = d\varepsilon / dt + p dv / dt - \sum_{\alpha=1}^N \mu_{\alpha} / dt \quad (6)$$

Здесь μ_{α} – химический потенциал компонента α , рассчитываемый на одну частицу веществ [6]:

$$\mu_{\alpha} = h_{\alpha} - TS_{\alpha} = \varepsilon_{\alpha} + \rho v_{\alpha} - TS_{\alpha}, \quad (7)$$

ε_{α} , v_{α} , h_{α} , ρ , S_{α} – соответственно, парциальная внутренняя энергия, парциальный объем, чистая плотность на единицу объема, плотность, парциальная энтропия компонента α .

Рассмотрим вопрос эволюции производства энтропии в неравновесных системах.

Полное производство энтропии

$$P = \int_v \sigma dV$$

где σ – удельное производство энтропии. Начнем с некоторых общих свойств полного производства энтропии P . Прежде всего, рассмотрим эволюцию δP , обусловленную малыми изменениями в силах δF_k и потоках δJ_k .

Так как $P = \int_v \sigma dV = \int_v \sum_k \frac{dF_k}{dt} J_k$, изменения P из-за малых изменений

dF_k и dJ_k можно записать как [6]

$$\frac{dP}{dt} = \int_v \left(\frac{\delta \sigma}{dt} \right) dV = \int_v \left(\sum_k \frac{dF_k}{dt} J_k \right) dV + \int_v \left(\sum_k F_k \frac{dJ_k}{dt} \right) dV \equiv \frac{d_F P}{dt} + \frac{d_J P}{dt}, \quad (8)$$

где $\frac{d_F P}{dt}$ – изменения, вызванные силами F_k , а $\frac{d_J P}{dt}$ – изменение под действием потоков J_k .

Теперь могут быть установлены два общих свойства [6]:

1. В линейном режиме

$$\frac{d_F P}{dt} = \frac{d_J P}{dt}. \quad (9)$$

2. Для независимых от времени граничных условий, даже вне линейного режима

$$\frac{d_F P}{dt} \leq 0 \quad (10)$$

(в стационарном состоянии $\frac{d_F P}{dt} = 0$).

Величина $d_F P$ не есть дифференциал функции состояния, и этим она отличается от термодинамических потенциалов, например, свободной энергии Гиббса G . Следовательно, тот факт, что $d_F P$ может только уменьшаться, не позволяет делать никаких выводов о том, как будет развиваться процесс.

Первое, из вышесформулированных свойств, следует из линейных соотношений $J_k = \sum_i L_{ki} G_i$ и соотношений взаимности Онсзгера $L_{ki} = L_{ik}$.

В линейном режиме

$$\frac{d_F P}{dt} = \frac{d_J P}{dt}, \quad (11)$$

в нелинейном режиме

$$\frac{d_F P}{dt} \leq 0. \quad (12)$$

Из приведенного выше в линейном режиме следует

$$\frac{dP}{dt} = 2 \frac{d_F P}{dt} \leq 0. \quad (13)$$

Соотношение (13) еще раз показывает, что отклонение полного производства энтропии P от стационарного значения, в соответствии с принципом минимума производства энтропии, монотонно уменьшается.

Из неравенства (13), которое является существенным критерием эволюции энтропии, вытекают два следствия. Во-первых, если изменения зависят от одной переменной, то $d_F P = dW$, где W характеризует так называемый кинетический потенциал. Во-вторых, независимо от времени, система не является стационарной, а осциллирует во времени. Отсюда следует заключение, что соотношения Онзагера не выполняются для состояний, далеких от равновесия.

Для неравновесного состояния термодинамические силы и соответствующие потоки энергии и вещества J_k не обращаются в нуль. Следовательно, как было указано, первая производная энтропии отлична от нуля, т.е. $\delta S \neq 0$. Вторая производная $\delta^2 S$ имеет определенный знак, потому что подинтегральное выражение, которое является второй производной энтропии, отрицательно:

$$\frac{1}{2} \delta^2 S < 0 \quad (14)$$

Принимая во внимание, что анализируются неравновесные процессы, можно написать:

$$\frac{d}{dt} \frac{\delta^2 S}{2} = \sum_k \delta F_k \delta J_k \quad (15)$$

Можно доказать, что неравновесное стационарное состояние устойчиво, если выполняется условие [4]

$$\frac{d}{dt} \frac{\delta^2 S}{2} = \sum_k \delta F_k \delta J_k > 0 \quad (16)$$

Условие $\sum_k \delta F_k \delta J_k < 0$ – является необходимым недостаточным условием неустойчивости системы.

По поводу зависимости тождества Гиббса для неравновесных процессов в непрерывной термодинамической системе, можно прийти к следующему заключению: согласно принципу квазилокального равновесия, являющемуся основным постулатом неравновесной термодинамики, всю систему можно разбить на достаточно малые микроскопические объекты, каждую из которых можно рассматривать как равновесную (точнее квазиравновесную) термодинамическую систему. В этом случае, связь между удельными характеристиками системы (удельная внутренняя энергия, удельная плотность, удельный объем, удельная концентрация) для отдельного компонента α гетерогенной среды ($\alpha=1,2,...N$), то в момент времени t система описывается удельной энтропией, для которой справедливо тождество Гиббса.

Следует отметить, что в рамках феноменологического подхода области применимости постулат о локальном термодинамическом равновесии применим, если процессы в системе исключают появления больших фрагментов составляющих переменных.

Обоснованность приложения феноменологического положений к анализу неравновесных процессов доказано экспериментально [5, 6].

Выводы

В многокомпонентной среде имеют место фазовые переходы в соответствии с закономерностью Гиббса.

Построена гидродинамическая модель молекулярного движения многокомпонентной схемы (с учетом химических реакций и полей внешних консервативных сил).

На основе феноменологического подхода (принципах Онзагера) построена модель динамики процессов в неравновесных процессах.

Показано, что критерием необратимости неравновесных систем является эволюция производства энтропии.

Список литературы

1. Onsager, L. Reciprocal relations in irreversible processes. Physical Review 37(4):405-426, January 1931.
2. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1960. – 160 с.
3. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М. : Мир, 2002. – 464 с.
4. Де Грот С. Неравновесная термодинамика / С. Де Грот, П. Мазур. – М. : Мир, 1964. – 456 с.
5. Mason, E. A. (1974). The Onsager reciprocal relations. Experimental evidence // Fundamental of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke: Mac Milan.
6. Miller, D. G. (1974). Onsager relations. Experimental evidence // Foundations of continuum thermodynamics. – London and Basingstoke: Mac Milan.

References

1. Onsager, L. (1931). Reciprocal relations in irreversible processes. Physical Review, 37 (4), 405–426.
2. Pryhozhyn, Y. (1960). Vvedeniye v termodynamiku neobratimyykh protsessov [Introduction to the thermodynamics of irreversible processes]. Moscow: Yzd-vo inostr. lit-ry, 160.
3. Pryhozhyn, Y., Kondepudy, D. (2002). Sovremennaya termodinamyka. Ot teplovykh dvigatelei do dissipativnykh struktur [Modern thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures]. Moscow: Mir, 464.
4. De Hrot, S., Mazur, P. (1964). Neravnovesnaya termodinamyka [Non-equilibrium thermodynamics]. Moscow: Myr, 456.
5. Mason, E. A. (1974). The Onsager reciprocal relations. Experimental evidence // Fundamental of continuum thermodynamics. London and Basingstoke: Mac Milan.
6. Miller, D. G. (1974). Onsager relations. Experimental evidence // In: Foundations of continuum thermodynamics. London and Basingstoke: Mac Milan.

ЕВОЛЮЦІЯ ЕНТРОПІЇ У БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ НЕРІВНОВАЖНИХ СИСТЕМАХ

**Б. Х. Драганов,
А. В. Міщенко,
О. В. Шеліманова**

Анотація. Наведено основи методу аналізу нерівноважних багатоконпонентних систем на базі положень Онзагера, в тому числі

феноменологічного підходу: співвідношення симетрії, принципу взаємності. Дано відомості про хімічний потенціал Гіббса для суміші. Розглянуто питання про виробництво ентропії для нестационарних і нерівноважних систем. Виконано аналіз еволюції ентропії і умови тотожності Гіббса, що стосується її виробництва.

Ключові слова: нерівноважна система, багатокомпонентне середовище, співвідношення Онзагера, хімічний потенціал Гіббса, принцип взаємності Онзагера-Казимира, співвідношення симетрії, еволюція виробництва ентропії

EVOLUTION OF ENTROPY IN MULTICOMPONENT NONEQUILIBRIUM SYSTEMS

B. Draganov,
A. Mishchenko,
E. Shelimanova

Abstract. These foundations analysis method of nonequilibrium multicomponent systems based on the provisions of the Onsager, including phenomenological approach: the ratio of symmetry, reciprocity. The information on the chemical potential of Gibbs for mix is given. The question of entropy production for non-stationary and non-equilibrium systems is consider. The evolution of entropy and Gibbs identity conditions relating to its production are made out.

Keywords: nonequilibrium systems, multicomponent medium, the Onsager's ratio, Gibbs' chemical potential, reciprocity of Onsager-Casimir, the ratio of symmetry, evolution of entropy production

УДК 631.3:621.1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ ПІД ЧАС РУХУ РІДИНИ В НАПІРНОМУ ТРУБОПРОВІДІ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук
О. В. НАЗЕМЦЕВ, студент магістратури
e-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. Розглянуто теорію руху рідини, отримані фізичні фактори, що впливають на коефіцієнт гідравлічного тертя під час руху рідини в напірному трубопроводі, встановлення методів його визначення.

Ключові слова: рух рідини, втрати напору, тиск, напірний трубопровід, коефіцієнт Дарсі (коефіцієнт гідравлічного тертя)

В інженерній практиці під час руху рідини в трубах рішення багатьох задач зводиться до знаходження залежності, що визначає зміну

феноменологічного підходу: співвідношення симетрії, принципу взаємності. Дано відомості про хімічний потенціал Гіббса для суміші. Розглянуто питання про виробництво ентропії для нестационарних і нерівноважних систем. Виконано аналіз еволюції ентропії і умови тотожності Гіббса, що стосується її виробництва.

Ключові слова: нерівноважна система, багатокomпонентне середовище, співвідношення Онзагера, хімічний потенціал Гіббса, принцип взаємності Онзагера-Казимира, співвідношення симетрії, еволюція виробництва ентропії

EVOLUTION OF ENTROPY IN MULTICOMPONENT NONEQUILIBRIUM SYSTEMS

B. Draganov,
A. Mishchenko,
E. Shelimanova

Abstract. These foundations analysis method of nonequilibrium multicomponent systems based on the provisions of the Onsager, including phenomenological approach: the ratio of symmetry, reciprocity. The information on the chemical potential of Gibbs for mix is given. The question of entropy production for non-stationary and non-equilibrium systems is consider. The evolution of entropy and Gibbs identity conditions relating to its production are made out.

Keywords: nonequilibrium systems, multicomponent medium, the Onsager's ratio, Gibbs' chemical potential, reciprocity of Onsager-Casimir, the ratio of symmetry, evolution of entropy production

УДК 631.3:621.1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ ПІД ЧАС РУХУ РІДИНИ В НАПІРНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук
О. В. НАЗЕМЦЕВ, студент магістратури
e-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. Розглянуто теорію руху рідини, отримані фізичні фактори, що впливають на коефіцієнт гідравлічного тертя під час руху рідини в напірному трубопроводі, встановлення методів його визначення.

Ключові слова: рух рідини, втрати напору, тиск, напірний трубопровід, коефіцієнт Дарсі (коефіцієнт гідравлічного тертя)

В інженерній практиці під час руху рідини в трубах рішення багатьох задач зводиться до знаходження залежності, що визначає зміну

швидкості й тиску по довжині потоку. Для цього звичайно використовуються два рівняння гідродинаміки [1, 2]:

- рівняння нерозривності потоку

$$Q = \omega V = \text{const} , \quad (1)$$

- рівняння Бернуллі

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_v . \quad (2)$$

Ці два рівняння мають три невідомих величини V , P і h_v тому для їх визначення необхідно мати третє рівняння. Таким рівнянням є залежність втрат напору h_v від середньої швидкості V . Кількісне визначення втрат напору являє собою одну з головних задач гідродинаміки і є актуальною задачею.

Мета досліджень – визначення коефіцієнта гідравлічного тертя під час руху рідини в напірному трубопроводі.

Матеріали і методика досліджень. Розглядається рух рідини в напірному трубопроводі. Під час досліджень використовується графік Нікурадзе [3].

Результати досліджень. Розрізняють два види втрат напору:

- втрати за довжиною;
- втрати на місцевих опорах.

Таким чином, загальні втрати напору визначаються як

$$h_v = h_l + h_m, \quad (3)$$

Втрати напору по довжині трубопроводу зумовлюються роботою сил тертя. Під час руху рідини вони розподіляються рівномірно по довжині трубопроводу постійного перерізу й збільшуються пропорційно до довжини труби.

Згідно з рівнянням Д. Бернуллі, втрати напору по довжині визначаються таким чином

$$h_l = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right), \quad (4)$$

Для горизонтальної труби постійного перерізу рівняння (4) при $z = \text{const}$ і $V = \text{const}$ спрощується й приймає вигляд:

$$h_l = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} , \quad (5)$$

За обґрунтованими висновками Дарсі та Вейсбаха, втрати напору по довжині під час руху рідини в трубах визначаються за формулою:

$$h_l = \lambda \frac{L V^2}{d 2g} , \quad (6)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі (коефіцієнт гідравлічного тертя);

L – довжина ділянки труби;

d – діаметр трубопроводу;

V – середня швидкість потоку;

g – прискорення вільного падіння.

Ця формула застосовується для ламінарного й турбулентного режимів руху. Точність розрахунків залежить від правильного вибору формули для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя. Таким чином, при визначенні втрат напору коефіцієнт λ набуває досить важливого значення. Тому визначення фізичних факторів, що впливають на його значення, і встановлення методів його визначення було впродовж тривалого часу предметом широких теоретичних та експериментальних досліджень.

Сучасні розрахункові формули для визначення коефіцієнта λ передбачають його залежність у загальному випадку від шорсткості стінок труби та числа Рейнольдса.

Для вивчення факторів, що впливають на значення коефіцієнта λ , і розробки теорії руху рідини в трубопроводах, суттєве значення мали роботи Прандтля, Кармана, Нікурадзе та інші.

Систематичні експерименти Нікурадзе, що проводилися в 1933 р., з дослідження руху води в трубах зі штучною рівномірно зернистою шорсткістю із кварцового піску, були узагальнені як залежність λ від

$$\text{певних параметрів } \lambda = f\left(R_E; \frac{K_E}{d}\right).$$

Аналізуючи графіки Нікурадзе (див. рисунок) можна виділити характерні області (1, 2, 3, 4), у межах кожної з яких залежність коефіцієнта λ від числа Рейнольдса та відносної еквівалентної шорсткості $\left(\frac{K_E}{d}\right)$ має свій особливий характер.

1 – область між прямою MN і початком координат – область ламінарного режиму руху ($Re < 2320$). Коефіцієнт λ у цій області обумовлюється силами в'язкості рідини й не залежить від шорсткості стінок труби, його величина визначається за формулою Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

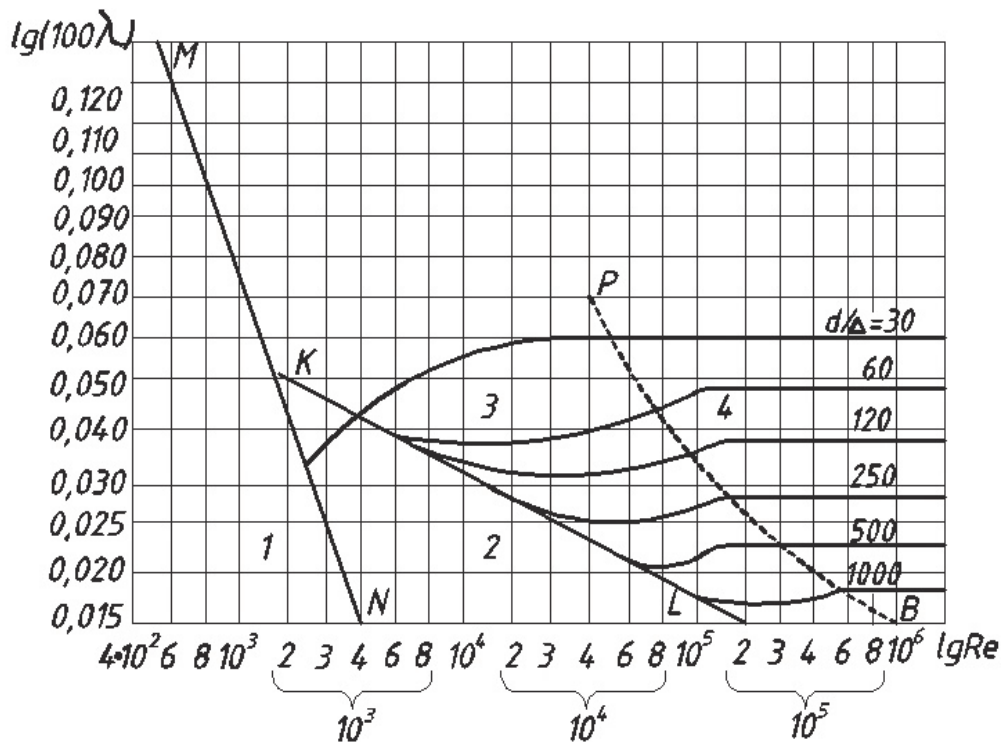
Межею цієї області є число $Re = 2320$.

2 – область між лініями MN і KL – область гідравлічно гладких труб. Потік рідини тут уже знаходиться в умовах турбулентного режиму руху ($Re > 2320$), однак поблизу стінок у в'язкому прошарку зберігається нерухома ламінарна плівка, що покриває виступи шорсткості стінок труби, і потік рухається немовби по гідравлічно гладкому трубопроводу (по рідинному нерухомому шару). Реалізується така течія при числі

Рейнольдса, що знаходиться в межах $4000 < Re < 10 \frac{d}{K_E}$.

Величина λ у цій області визначається за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (8)$$



Графік Нікурадзе

3 – область між лініями KL і AB – перехідна область. У цій області в міру збільшення швидкості, товщина ламінарної плівки на стінці труби зменшується, частково відкриваючи виступи шорсткості. На цих відкритих виступах спостерігаються зриви потоку й утворюються вихрові ядра. У такому потоці втрати напору обумовлюються як шорсткістю стінок труби, так і силами в'язкості рідини, тобто числом Рейнольдса.

Межі цієї області визначаються нерівністю $10 \frac{d}{k_E} < Re < 500 \frac{d}{k_E}$.

Для перехідної області найбільшого поширення у вітчизняній практиці по визначенню коефіцієнта λ одержана універсальна формула А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_E}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (9)$$

де k_E – висота еквівалентної шорсткості; d – діаметр трубопроводу.

4 – область праворуч від лінії AB – область квадратичного опору. Швидкість потоку рідини досягає значення, при якому втрати напору не залежать від числа Рейнольдса, а зумовлюються лише силами тертя потоку об стінки трубопроводу. Визначальним параметром тут є відносна еквівалентна шорсткість. Пристінна ламінарна плівка повністю руйнується, в'язкісний прошарок зникає, і потоком омиваються всі виступи шорсткості по всій їх висоті. На них утворюється поле дрібномасштабних вихорів, яке поширюється по всьому потоку.

Нижньою межею цієї області є $Re > 500 \frac{d}{k_E}$. Універсальна формула (9) для цієї області перетворюється у формулу Шифрінсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_E}{d} \right)^{0,25} \quad (10)$$

При розрахунках втрат напору в пневмосистемах звичайно використовують питомий опір, значення якого беруть із довідкової літератури, наприклад, таблиць Шевельова, де наводяться його значення для квадратичної області опору. Формула для визначення питомого опору

$$A = \frac{L\lambda}{\pi^2 g d^5} \quad (11)$$

У формулу (11) входить коефіцієнт λ , який у деяких випадках залежить не тільки від відносної еквівалентної шорсткості, але й від числа Рейнольдса (а отже, й від швидкості v). Отже, питомий опір не може бути постійною величиною для кожного режиму. Він постійний тільки в автомодельній по Re зоні, тобто у квадратичній області опору. Для сталених та чавунних труб при русі води ця область настає при швидкостях $V > 1,2$ м/с. При швидкості $v < 1,2$ м/с табличне значення A слід помножити на поправковий коефіцієнт δ , значення якого вибирається, залежно від швидкості руху v , із таблиці.

Значення поправочного коефіцієнта

v , м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,62
δ	1,41	1,28	1,20	1,15	1,115	1,085	1,06	1,045	1,02	1,00

Висновки

Отримані параметри, від яких залежить коефіцієнт λ в різних областях руху рідини, визначення коефіцієнта λ , еквівалентної шорсткості k_E в лабораторних умовах.

Список літератури

1. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води /А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Найманов А. Я. Водоснабжение / Найманов А. Я., Никиша С. Б. – Донецьк : Норд-прес, 2004. – 649 с.
3. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко. – К. : Кондор, 2009. – 288 с.
4. Тугай А. М. Водопостачання та водовідведення : підруч. / Тугай А. М., Орлов В. О., Орлова А. М. – К. : Знання, 2011. – 359 с.

References

1. Zapolskyi, A. K. (2005). Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody. [Water supply, sanitation and water quality]. Kyiv: Vyshcha shkola, 671.

2. Naymanov, A. Y., Nikisha, S. B. (2004). Vodosnabzheniye [Water supply]. Donetsk: Nord-pres, 649.

3. Kravchenko, V. S. (2009). Vodopostachannya ta kanalizatsiya [Water supply and sewerage]. Kyiv.: Kondor, 288.

4. Tuhai, A. M., Orlov, V. O., Orlova, A. M. (2011). Vodopostachannya ta vodovidvedennya: pidruchnyk [Water and wastewater]. Kyiv: Znannya, 359.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

**В. Е. Василенков,
О. В. Наземцев**

Аннотация. Рассмотрена теория движения жидкости, полученные физические факторы, влияющие на коэффициент гидравлического трения при движении жидкости в напорном трубопроводе, установление методов его определения.

Ключевые слова: движение жидкости, потери напора, давления, напорный трубопровод, коэффициент Дарси (коэффициент гидравлического трения)

INVESTIGATION OF FRICTION FACTOR IN THE HYDRAULIC FLUID FLOW IN THE PRESSURE PIPE

**V. Vasilenkov,
A. Nazemtsev**

Abstract. We consider the motion of a fluid theory received physical factors affecting the coefficient of hydraulic friction fluid flow in the discharge line, the establishment of methods for its determination.

Keywords: fluid motion, loss of pressure, pressure, pressure line, Darcy coefficient (coefficient of hydraulic friction)

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НА МОДЕЛІ В МАТЛАВ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ТРИФАЗНОГО РЕГУЛЯТОРА З ШІП ПІД ЧАС РОБОТИ НА АКТИВНО-ІНДУКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

І. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*
e-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Наведено результати аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача для трифазного асинхронного електропривода з різною частотою комутації транзисторного ключа перетворювача.

Ключові слова: комп'ютерна модель, вищі гармоніки, напівпровідникові перетворювачі напруги, спектральний аналіз, форма кривої напруги та струму

У попередніх працях [1] показано, що для регульованого малопотужного асинхронного електропривода за собівартістю перевагу мають напівпровідникові перетворювачі напруги. Недолік таких пристроїв у тому, що вони генерують в мережу живлення імпульси напруги та вищі гармоніки. Якість електроенергії залежить від способу керування перетворювачами. Для підтвердження цього положення в MatLab було створено моделі однофазного та трифазного регульованого асинхронного електропривода [2, 3] з регулюванням вихідної напруги за принципом широтно-імпульсного перетворювача.

Мета досліджень – покращення якості гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів регульованого трифазного асинхронного електропривода.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження трифазного напівпровідникового перетворювача напруги із широтно-імпульсним керуванням проводилося з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму та комп'ютерного моделювання в системі MatLab.

Результати досліджень. Для аналізу форми кривої вихідної напруги створена комп'ютерна модель трифазного перетворювача напруги яз широтно-імпульсним керуванням [3]. Силовий блок моделі складається з трифазного джерела живлення Three-PhaseSource, активно-індуктивного навантаження RL, трифазного діодного мосту UniversalBridge, транзисторного ключа IGBT. Керування роботою транзистора здійснюється блоком PulseGenerator, в якому задається частота комутації f_K та час ввімкненого стану транзистора.

*Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент І. М. Голодний

© І. М. Голодний, О. В. Санченко, 2016

Для дослідження спектрального складу в поле моделі введено блок Powergui. Вікно блока наведено на рис. 1.

При натисканні на вкладку FFTAnalysis відкривається вікно для проведення спектрального аналізу (рис. 2, 3). У верхньому вікні розміщена форма кривої, у нижньому – спектральний склад.

Дослідження проводилися при навантаженні $R_H=47,9\text{ Ом}$; $L_H = 197 \cdot 10^{-3}\text{ Гн}$ та тривалості ввімкненого стану транзисторного ключа 80%.

Як видно з результатів дослідження, вищі гармоніки як струму, так і напруги, формуються кратними частоті комутації: при $f_K = 500$ Гц частота вищих гармонік має значення $f_K/f_M = 10, 20, 30$ і т.д., при $f_K = 2000$ Гц – $f_K/f_M = 40, 80$ і т. д., де f_M – частота мережі.

При комутації (вмиканні/вимиканні) транзисторного ключа виникають імпульси зворотної напруги, які, залежно від частоти комутації, наприклад, при $f_K = 2000$ Гц, досягають 9000 В (рис. 4).

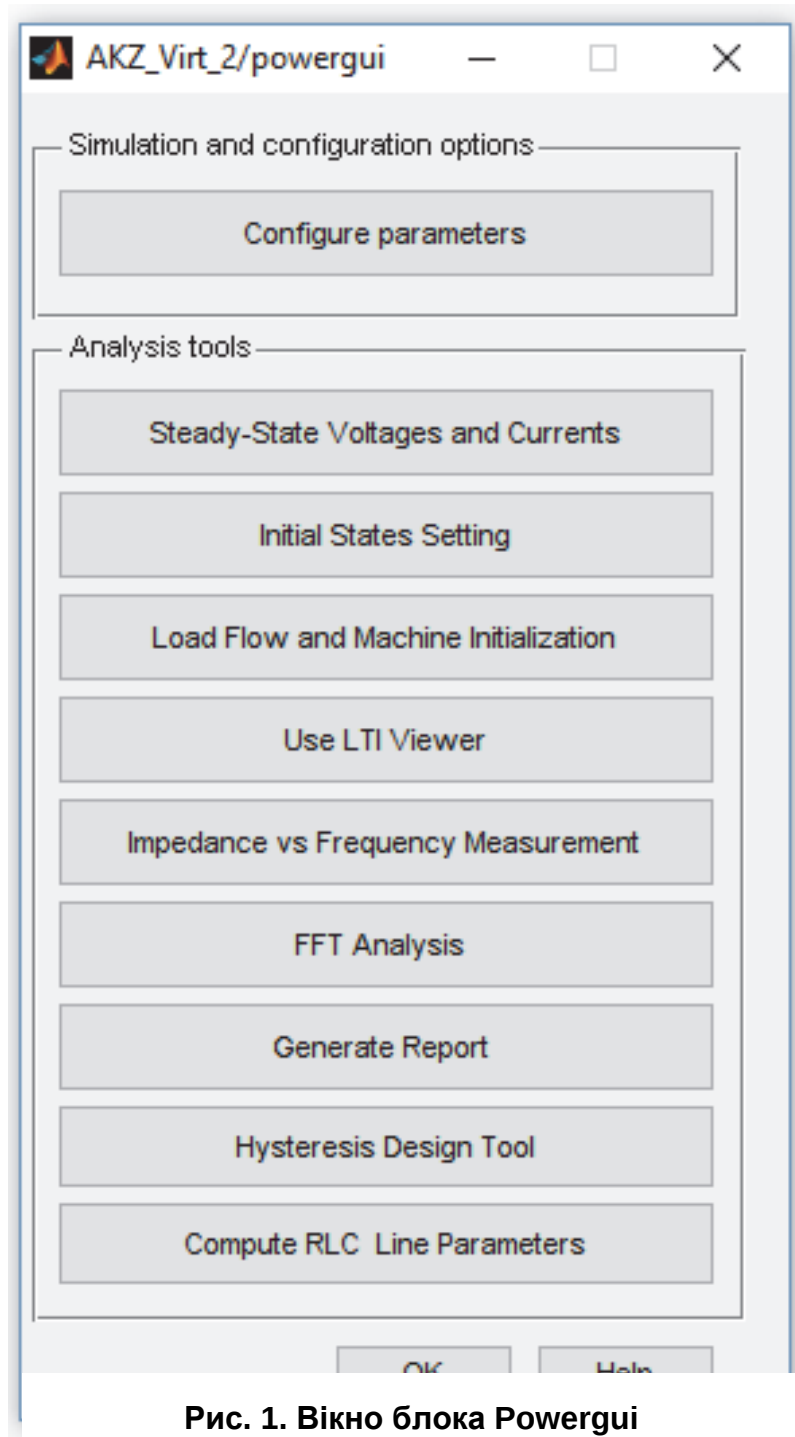
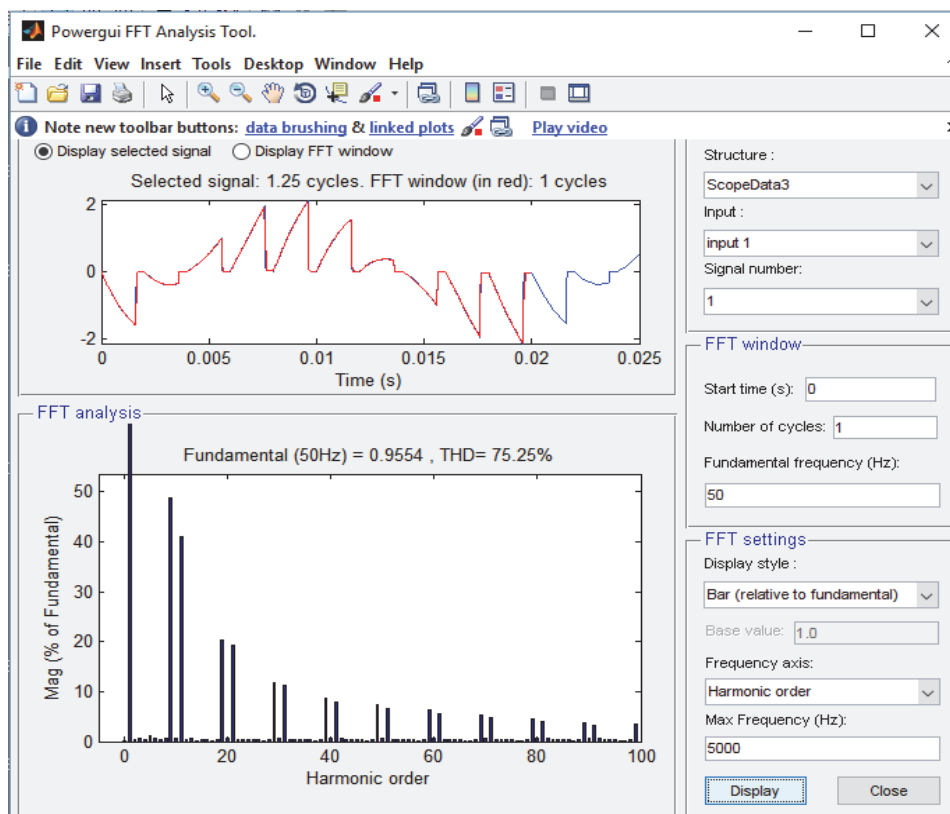


Рис. 1. Вікно блока Powergui

а



б

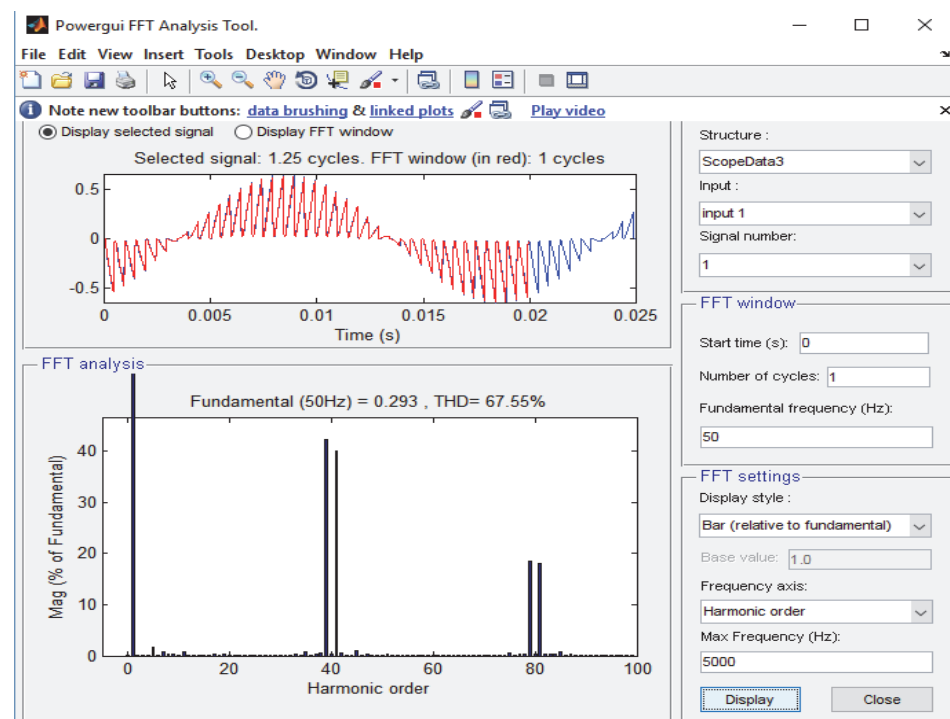
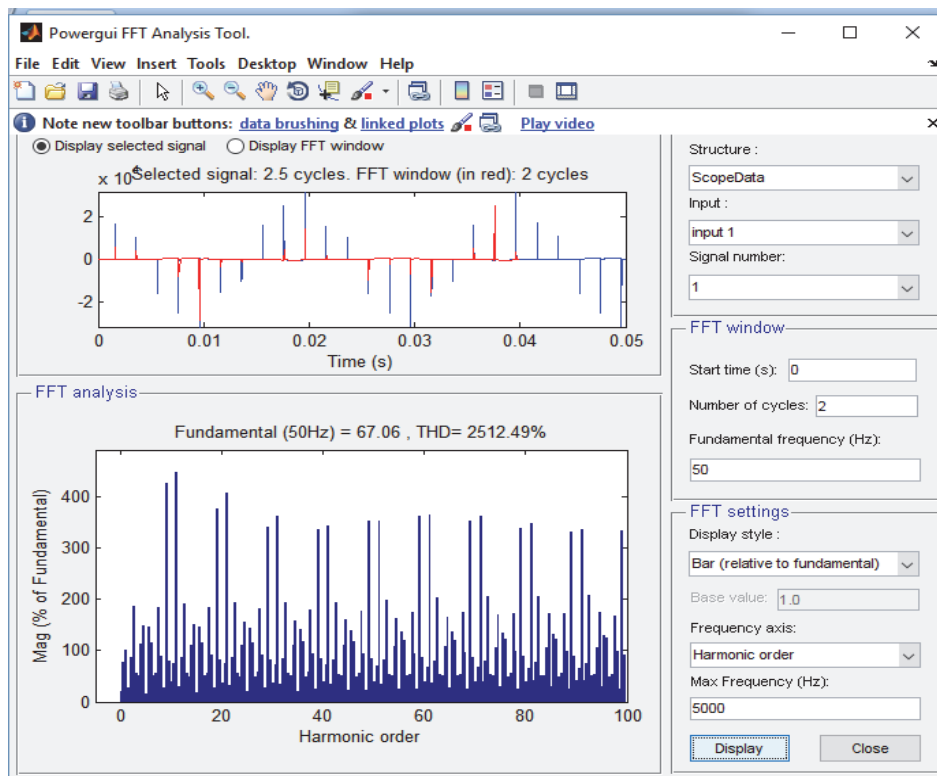


Рис. 2. Результати аналізу спектрального складу струму:

а – $f_K = 500$ Гц; б – $f_K = 2000$ Гц

a



б

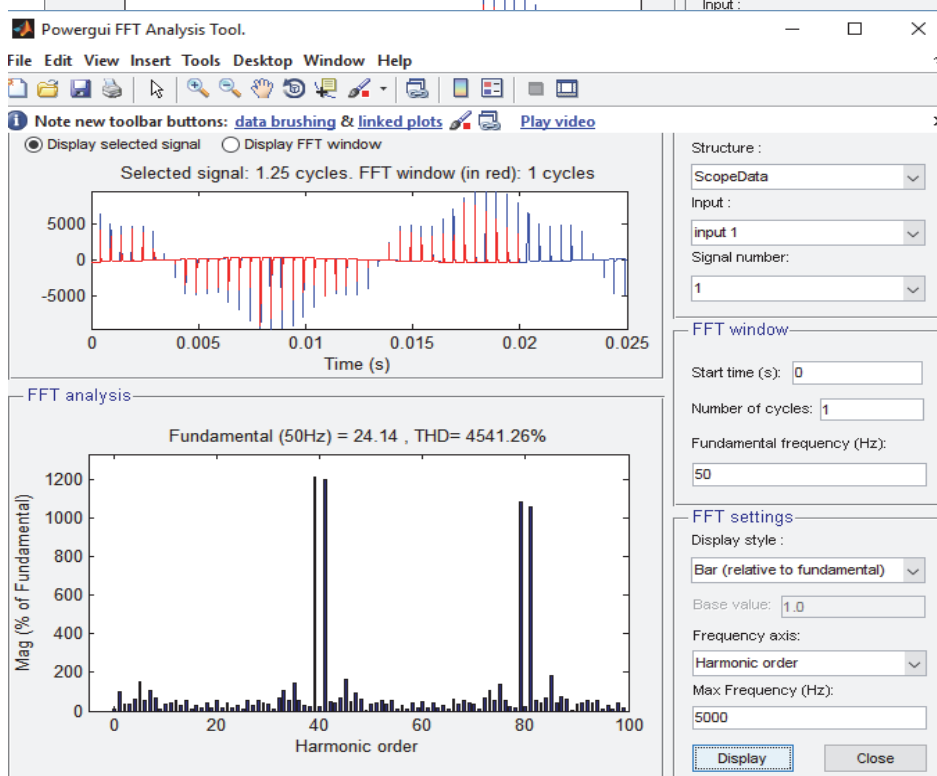


Рис. 3. Результати аналізу спектрального складу напруги:
а – $f_K = 500$ Гц; б – $f_K = 2000$ Гц

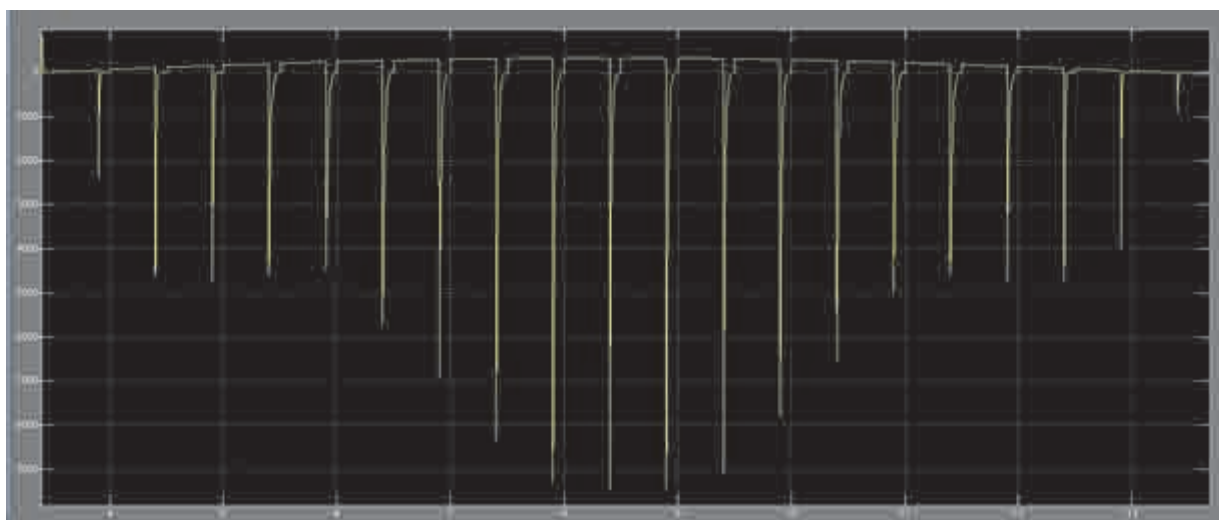


Рис. 4. Миттєві значення вихідної напруги при $f_k = 2000$ Гц

Висновки

Під час дослідження даного перетворювача необхідно проводити не тільки аналіз спектрального складу вихідної напруги та струму, а й враховувати зворотні імпульси напруги при комутації транзисторного ключа.

Список літератури

1. Голодний І. М. До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2011. – Вип. 166, ч. 4. – С. 64–70.
2. Голодний І. М. Порівняльний аналіз на моделі в MatLab гармонічного складу вихідної напруги електронних перетворювачів з різними способами керування при роботі на активне навантаження / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Вісник Харківського технічного університету ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 129 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Х. : ХНТУСГ, 2012. – С. 74–78.
3. Голодний І. М. Комп'ютерна модель трифазного регульованого асинхронного електропривода з ширототно-імпульсним перетворювачем / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – 2016. – Вип. 242. – С. 97–100.

References

1. Holodnyi, I. M., Sanchenko O. V. (2011). Do pytannya reguliuvannya shvydkosti malopotuzhnogo asynkhronnogo elektropryvoda. [Before issue of regulation of speed low-power asynchronous electric drive]. Naukovyi visnyk Natsionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy 166 (4), 64–70.
2. Holodnyi, I. M., Sanchenko, O. V. (2012). Porivnyalnyi analiz na modeli v MatLab garmonichnogo skladu vykhidnoi napruhy elektronnykh peretvoriuvachiv z riznymy sposobamy keruvannya pid chas roboty na aktyvne navantazhennya [Comparative analysis model in MatLab harmonic of output voltage electronic

transformers of different ways to manage when working on active load]. Visnyk Kharkivskoho tekhnichnoho universytetu im. P. Vasylenka. Tekhnichni nauky. "Problemy energozabezpechennya ta energozberezheniya v APK Ukrayiny". – Kharkiv, 129, 74–78.

3. Holodnyi, I. M., Sanchenko, O. V. (2016). Kompiuterna model tryfaznogo regul'ovanogo asynkhronnogo elektropryvoda z shyrotno-impulsnym peretvoryuvachem [Computer model of a three-phase asynchronous electric drive rehulvanoho of shyrotnotno-pulse converter]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 242, 97–100.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА МОДЕЛИ В МАТЛАБ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ТРЕХФАЗНОГО РЕГУЛЯТОРА С ШИП РАБОТАЮЩЕГО НА АКТИВНО-ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

**И. М. Голодный,
А. В. Санченко**

Аннотация. Приведены результаты анализа спектрального состава выходного напряжения регулятора на базе широтно-импульсного преобразователя для трехфазного асинхронного электропривода с разной частотой коммутации транзисторного ключа преобразователя.

Ключевые слова: компьютерная модель, высшие гармоники, полупроводниковые преобразователи напряжения, спектральный анализ, форма кривой напряжения и тока

SPECTRAL ANALYSIS VOLTAGE AND CURRENT OF THREE-PHASE REGULATOR OF PWM ON THE MATLAB MODEL WITH RESISTIVE-INDUCTIVE LOAD

**I. Golodnyi,
A. Sanchenko**

Abstract. The analysis of the spectral composition of the output voltage and current of regulator on the basis of pulse-width converter for three-phase induction motor with varying frequency switching transistor inverter key.

Keywords: computer model, higher harmonics, voltage converters semiconductor, spectral analysis, voltage waveform and current

МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ У ВЕНТИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ІЗ ЗАКРИТИМИ ПАЗАМИ З УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОЇ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А. В. ЖИЛЬЦОВ, доктор технічних наук
В. В. ЛИКТЕЙ, інженер
 e-mail: azhilt@mail.ru

Анотація. Удосконалено математичну модель розрахунку характеристик магнітного поля у вентильному електродвигуні із закритими пазами з урахуванням нелінійної магнітної характеристики шляхом модифікації ядер інтегральних рівнянь в напрямі зменшення складових, що містять функцію $\text{grad}_Q \mu(Q)$.

Ключові слова: метод вторинних джерел, інтегральні рівняння, магнітне поле, вентильний двигун

Розглянуто електричний двигун із неявнополюсним статором і явнополюсним ротором (див. рисунок, позначення, відповідно, до [2, с. 60]). Попередньо у [1, с. 124–126] сформульовано тривимірну крайову задачу для розрахунку характеристик магнітного поля в електродвигуні з урахуванням неоднорідності магнітних властивостей середовища. Для спрощення розрахунку магнітне поле було прийняте плоскопаралельним, знехтувано гістерезисом феромагнітних матеріалів та прийнято, що $B=B(H)$, де B , H – індукція та напруженість магнітного поля. У роботі [2, с. 59–70] на основі методу вторинних джерел крайову задачу розрахунку характеристик магнітного поля у вентильному електродвигуні з урахуванням нелінійності магнітної характеристики сталі було зведено до системи інтегральних рівнянь для фіктивних магнітних зарядів, що дало змогу звужити область пошуку невідомих.

Мета досліджень — удосконалення математичної моделі розрахунку характеристик магнітного поля у вентильному електродвигуні із закритими пазами з урахуванням нелінійної магнітної характеристики.

Матеріали і методика досліджень. Розрахунок характеристик магнітного поля в електричному двигуні з урахуванням нелінійної характеристики магнітних матеріалів $B=B(H)$ зводиться до системи інтегральних рівнянь для розрахунку густини простого шару магнітних зарядів σ на границі L феромагнітних тіл та густини об'ємних магнітних зарядів ρ в перерізі S феромагнітних тіл [2]:

$$\sigma(Q) - \frac{1}{\pi} \oint_L \sigma(M) \left[\lambda(Q) \frac{\vec{r}_{MQ} \vec{n}_Q}{r_{MQ}^2} - \frac{1}{L} \int_L \lambda(P) \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P \right] dL_M =$$

$$= \frac{1}{\pi_{s^+}} \int \rho(M) \left[\lambda(Q) \frac{\vec{r}_{MQ} \vec{n}_Q}{r_{MQ}^2} - \frac{1}{L} \int_L \lambda(P) \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P - \frac{\pi}{L} \right] dS_M +$$

$$+ 2\mu_0 \left[\lambda(Q) \vec{H}^{(B)}(Q) \vec{n}_Q - \frac{1}{L} \int_L \lambda(P) \vec{H}^{(B)}(P) \vec{n}_P dL_P \right]; \quad (1)$$

$$\rho(Q) + \frac{1}{2\pi_s} \int \rho(M) \left[\frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S} \int_s \frac{\vec{r}_{MP} \text{grad}_P \mu(P)}{\mu(P) r_{MP}^2} dS_P \right] dS_M =$$

$$= -\frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \left[\frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S} \int_s \frac{\vec{r}_{MP} \text{grad}_P \mu(P)}{\mu(P) r_{MP}^2} dS_P + \frac{2\pi}{S} \right] dL_M -$$

$$- \mu_0 \left[\frac{\vec{H}^{(B)}(Q) \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q)} - \frac{1}{S} \int_s \frac{\vec{H}^{(B)}(P) \text{grad}_P \mu(P)}{\mu(P)} dS_P \right], \quad (2)$$

де $\sigma(Q)$ — густина простого шару магнітних зарядів в точці Q границі L ;

$\rho(Q)$ — густина магнітних зарядів в точці Q поверхні

$\lambda(Q) = (\mu(Q) - \mu_0) / (\mu(Q) + \mu_0)$;

$\vec{r}_{MQ}$ — радіус-вектор, спрямований з точки інтегрування M до точки спостереження Q ;

$\vec{n}_Q$ — нормаль до границі розділу середовищ (феромагнітне тіло — повітря) та спрямовано із феромагнетика в повітря;

$\vec{H}^{(B)}(Q)$ — напруженість магнітного поля, що створюють постійні магніти та струми в обмотці статора електродвигуна,

$$\vec{H}^{(B)}(Q) = \frac{1}{2\pi_{L_M}} \oint \sigma_M(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dL_M + \frac{1}{2\pi_{S_w}} \int \frac{\vec{\delta}_w(M) \times \vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M, \quad (3)$$

тут $\sigma_M(M)$ — густина простого шару магнітних зарядів, що вводиться на границі однорідно намагнічених постійних магнітів із намагніченістю $\vec{J}(Q)$,

$\sigma_M(M) = \vec{J}(Q) \vec{n}_Q$;

$\vec{n}_Q$ — зовнішня до границі магнітів нормаль;

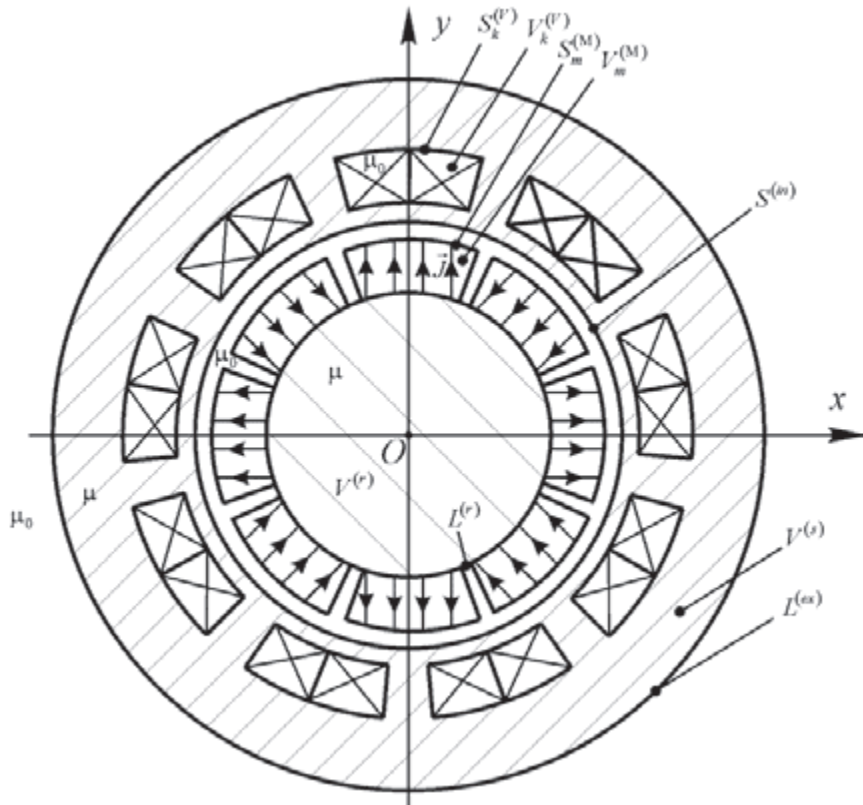
$\text{grad}_Q \mu(Q)$ — градієнт магнітній проникності;

$\mu(Q) = B(H(Q)) / H(Q)$ — магнітна проникність, що розраховується з використанням залежності $B = B(H)$;

μ_0 — магнітна постійна, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Якщо розв'язано систему рівнянь (1), (2), напруженість магнітного поля знаходиться за виразом

$$\vec{H}(Q) = \frac{1}{2\pi\mu_0} \oint_L \sigma(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dL_M + \frac{1}{2\pi\mu_0} \int_s \rho(M) \frac{\vec{r}_{MP}}{r_{MP}^2} dS_M + \vec{H}^{(B)}(Q). \quad (4)$$



Переріз вентильного електродвигуна із закритими пазами

Запишемо систему рівнянь (1) у вигляді:

$$\sigma(Q) - \frac{1}{\pi_L} \oint \sigma(M) K_1(M, Q) dL_M = \frac{1}{\pi_S} \int \rho(M) K_2(M, Q) dS_M + F^\sigma(Q) \quad (5)$$

$$\rho(Q) + \frac{1}{2\pi_S} \int \rho(M) K_3(M, Q) dS_M = -\frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) K_4(M, Q) dL_M - F^\rho(Q), \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} K_1(M, Q) &= \lambda(Q) \frac{\vec{r}_{MQ} \vec{n}_Q}{r_{MQ}^2} - \frac{1}{L_L} \int \lambda(P) \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P, \\ K_2(M, Q) &= \lambda(Q) \frac{\vec{r}_{MQ} \vec{n}_Q}{r_{MQ}^2} - \frac{1}{L_L} \int \lambda(P) \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P - \frac{\pi}{L}, \\ F^\sigma(Q) &= 2\mu_0 \left[\lambda(Q) \vec{H}^{(B)}(Q) \vec{n}_Q - \frac{1}{L_L} \int \lambda(P) \vec{H}^{(B)}(P) \vec{n}_P dL_P \right], \\ K_3(M, Q) &= \frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S_S} \int \frac{\vec{r}_{MP} \text{grad}_P \mu(P)}{\mu(P) r_{MP}^2} dS_P, \\ K_4(M, Q) &= \frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S_S} \int \frac{\vec{r}_{MP} \text{grad}_P \mu(P)}{\mu(P) r_{MP}^2} dS_P + \frac{2\pi}{S}, \end{aligned}$$

$$F^p(Q) = \mu_0 \left[\frac{\overline{H}^{(B)}(Q) \operatorname{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q)} - \frac{1}{S} \int_S \frac{\overline{H}^{(B)}(P) \operatorname{grad}_P \mu(P)}{\mu(P)} dS_P \right].$$

Результати досліджень. Перетворимо ядра $K_3(M, Q)$ та $K_4(M, Q)$ інтегральних рівнянь таким чином, щоб зменшити кількість складових, які входять до складу ядер, що містять $\operatorname{grad}_Q \mu(Q)$. Для цього використаємо тотожність Гріна у двовірному випадку:

$$\int_S (\varphi(P) \Delta \psi(P) + \operatorname{grad}_P \varphi(P) \operatorname{grad}_P \psi(P)) dS_P = \int_L \varphi(P) \frac{\partial \psi(P)}{\partial n} dL_P,$$

де $\frac{\partial \psi(P)}{\partial n}$ – похідна за напрямком до зовнішньої нормалі к L .

Нехай

$$\psi(P) = \ln \frac{1}{r_{PM}}, \quad \varphi(P) = \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0}.$$

Оскільки,

$$\Delta \left(\ln \frac{1}{r_{PM}} \right) = 0,$$

та

$$\operatorname{grad}_P \frac{1}{r_{PM}} = \frac{\partial}{\partial r_{PM}} \ln \frac{1}{r_{PM}} \operatorname{grad}_P r_{PM} = \frac{\vec{r}_{PM}}{r_{PM}^2}.$$

А також

$$\operatorname{grad}_P \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} = \frac{\operatorname{grad}_P \mu(P)}{\mu(P)}.$$

Тому, отримаємо наступний вираз:

$$\int_S \left(\operatorname{grad}_P \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \operatorname{grad}_P \frac{1}{r_{PM}} \right) dS_P = \int_S \left(\frac{\operatorname{grad}_P \mu(P) \vec{r}_{PM}}{\mu(P) r_{PM}^2} \right) dS_P = - \int_S \left(\frac{\operatorname{grad}_P \mu(P) \vec{r}_{MP}}{\mu(P) r_{MP}^2} \right) dS_P$$

Для перетворення розглянемо два випадки:

якщо $M \in S$;

якщо $M \in L$.

Нехай $M \in S$. Розглядаємо точку M , оточимо її окружністю радіусом R_0 з центром у точці M та розглянемо границю функції:

$$\begin{aligned} \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \int_{S-\Delta S} \left(\operatorname{grad}_P \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \operatorname{grad}_P \frac{1}{r_{PM}} \right) dS_P = \\ \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P + \lim_{L' \rightarrow 0} \int_{L'} \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P - \lim_{L' \rightarrow 0} \int_{L'} \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P = \\
&= \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P - \lim_{L' \rightarrow 0} \ln \frac{\mu(P')}{\mu_0} \cdot \int_{L'} \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P = \\
&= \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P + 2\pi \lim_{L' \rightarrow 0} \ln \frac{\mu(P')}{\mu_0} .
\end{aligned}$$

Таким чином,

$$\int_S \left(\frac{\text{grad}_P \mu(P) \vec{r}_{PM}}{\mu(P) r_{PM}^2} \right) dS_P = \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{PM} \vec{n}_P}{r_{PM}^2} dL_P + 2\pi \ln \frac{\mu(M)}{\mu_0} , \quad M \in S ,$$

або

$$\int_S \left(\frac{\text{grad}_P \mu(P) \vec{r}_{MP}}{\mu(P) r_{MP}^2} \right) dS_P = \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P - 2\pi \ln \frac{\mu(M)}{\mu_0} , \quad M \in S .$$

Нехай $M \in L$ (рис.), тоді, виконавши аналогічні перетворення, отримаємо наступний вираз:

$$\int_S \left(\frac{\text{grad}_P \mu(P) \vec{r}_{MP}}{\mu(P) r_{MP}^2} \right) dS_P = \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P - \pi \ln \frac{\mu(M)}{\mu_0} , \quad M \in L .$$

Таким чином, ядра $K_3(M, Q)$ та $K_4(M, Q)$ набувають наступного вигляду:

$$K_3(M, Q) = \frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S} \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P + \frac{2\pi}{S} \ln \frac{\mu(M)}{\mu_0} , \quad (7)$$

$$K_4(M, Q) = \frac{\vec{r}_{MQ} \text{grad}_Q \mu(Q)}{\mu(Q) r_{MQ}^2} - \frac{1}{S} \int_L \ln \frac{\mu(P)}{\mu_0} \cdot \frac{\vec{r}_{MP} \vec{n}_P}{r_{MP}^2} dL_P + \frac{\pi}{S} \ln \frac{\mu(M)}{\mu_0} + \frac{2\pi}{S} . \quad (8)$$

Розглянемо спосіб розрахунку $\text{grad}_Q \mu(Q)$, що входить до ядер (7), (8) інтегральних рівнянь. Вважаємо заданим закон $\mu(Q) = \mu(H(Q))$, тоді

$$\text{grad}_Q \mu(Q) = \frac{\partial \mu}{\partial H} \left[\frac{\partial H(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} \vec{e}_r(Q) + \frac{\partial H(r_Q, \alpha_Q)}{r_Q \partial \alpha_Q} \vec{e}_\alpha(Q) \right] , \quad (9)$$

де напруженість магнітного поля визначається в такий спосіб:

$$\begin{aligned}
\vec{H}(Q) &= \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dL_M + \frac{1}{2\pi} \int_{S^+} \rho(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M + \\
&+ \frac{1}{2\pi} \oint_{L_M} \sigma_M(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dL_M + \frac{1}{2\pi} \int_{S_w} \frac{\vec{\delta}_w(M) \times \vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M .
\end{aligned} \quad (10)$$

Враховуючи, що модуль напруженості магнітного поля дорівнює

$$H(r_Q, \alpha_Q) = \sqrt{H_r^2(r_Q, \alpha_Q) + H_\alpha^2(r_Q, \alpha_Q)} , \quad \text{знаходимо:}$$

$$\frac{\partial H(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} = \frac{1}{H(r_Q, \alpha_Q)} \left(H_r(r_Q, \alpha_Q) \frac{\partial H_r(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} + H_\alpha(r_Q, \alpha_Q) \frac{\partial H_\alpha(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} \right), \quad (11)$$

$$\frac{\partial H(r_Q, \alpha_Q)}{r_Q \partial \alpha_Q} = \frac{1}{r_Q H(r_Q, \alpha_Q)} \left(H_r(r_Q, \alpha_Q) \frac{\partial H_r(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} + H_\alpha(r_Q, \alpha_Q) \frac{\partial H_\alpha(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} \right). \quad (12)$$

Знайдемо часткові похідні, що входять у співвідношення (11), (12), використовуючи явний вираз для напруженості магнітного поля (10).

Розглянемо спочатку випадок, коли напруженість магнітного поля розраховується від простого шару магнітних зарядів (аналогічно для об'ємного шару простих зарядів з густиною $\rho(M)$ та простого шару магнітних зарядів із густиною $\sigma_M(M)$ на границі постійних магнітів):

$$\vec{H}^\sigma(Q) = \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \frac{\vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dL_M \quad (13)$$

або покомпонентно:

$$H_r^\sigma(Q) = \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \frac{r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} dL_M, \quad (14)$$

$$H_\alpha^\sigma(Q) = \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \frac{r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} dL_M. \quad (15)$$

Тоді,

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_r^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} &= \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \frac{\partial}{\partial r_Q} \left[\frac{r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} \right] dL_M = \\ &= \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) P_{rr}(Q, M) dL_M, \end{aligned} \quad (16)$$

$$P_{rr}(Q, M) = -\frac{r_Q^2 - 2r_M r_Q \cos(\alpha_Q - \alpha_M) + r_M^2 \cos(2(\alpha_Q - \alpha_M))}{r_{MQ}^4};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_\alpha^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} &= \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) \frac{\partial}{\partial r_Q} \left[\frac{r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} \right] dL_M = \\ &= \frac{1}{2\pi_L} \oint \sigma(M) P_{\alpha r}(Q, M) dL_M, \end{aligned} \quad (17)$$

$$P_{\alpha r}(Q, M) = \frac{-2r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) [r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)]}{r_{MQ}^4};$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_r^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} &= \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(M) \frac{\partial}{\partial \alpha_Q} \left[\frac{r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} \right] dL_M = \\ &= \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(M) P_{r\alpha}(Q, M) dL_M, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}P_{r\alpha}(Q, M) &= \frac{r_M (r_M^2 - r_Q^2) \sin(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^4}; \\ \frac{\partial H_\alpha^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} &= \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(M) \frac{\partial}{\partial \alpha_Q} \left[\frac{r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} \right] dL_M = \\ &= \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(M) P_{\alpha\alpha}(Q, M) dL_M, \end{aligned} \quad (19)$$

$$P_{\alpha\alpha}(Q, M) = \frac{-r_M (2r_M r_Q - (r_M^2 + r_Q^2) \cos(\alpha_Q - \alpha_M))}{r_{MQ}^2}$$

Розглянемо випадок, коли напруженість магнітного поля розраховується від котушок зі струмом густиною $\vec{\delta}_w(M)$:

$$\vec{H}^\delta(Q) = \frac{1}{2\pi} \int_{S_w} \frac{\vec{\delta}_w(M) \times \vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M$$

або покомпонентно

$$\begin{aligned}H_r^\delta(Q) &= \frac{1}{2\pi} \int_{S_w} \delta_w(M) \frac{-r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} dS_M; \\ H_\alpha^\delta(Q) &= \frac{1}{2\pi} \int_{S_w} \delta_w(M) \frac{r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}{r_{MQ}^2} dS_M. \end{aligned}$$

На підставі цього знаходимо, що

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_r^\delta(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} &= \frac{-\partial H_\alpha^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q}; & \frac{\partial H_\alpha^\delta(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q} &= \frac{\partial H_r^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial r_Q}; \\ \frac{\partial H_r^\delta(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} &= \frac{-\partial H_\alpha^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q}; & \frac{\partial H_\alpha^\delta(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q} &= \frac{\partial H_r^\sigma(r_Q, \alpha_Q)}{\partial \alpha_Q}.\end{aligned}$$

Отже, якщо відомо розподіл густини простого шару магнітних зарядів $\sigma(Q)$ на границі феромагнітних тіл, об'ємною густиною магнітних зарядів $\rho(Q)$ у перерізі масивних провідників, розподіл густини струму в котушках обмотки $\delta_w(Q)$, розподіл густини магнітних зарядів $\sigma_M(Q)$ на границі постійних магнітів, то часткові похідні, що входять у вирази (11) та (12),

знаходяться шляхом інтегрування по областях зі вказаними джерелами магнітного поля. Тобто, за допомогою виразу (9) шляхом інтегрування можемо розрахувати компоненти $grad_{Q\mu}(Q)$, які входять до ядер інтегральних рівнянь (7), (8).

Висновки

Удосконалено математичну модель розрахунку компонент магнітного поля в електродвигуні із закритими пазами з урахуванням нелінійних властивостей феромагнітних матеріалів шляхом спрощення виду ядер інтегральних рівнянь за рахунок зменшення кількості складових, що містять $grad_{Q\mu}(Q)$, що дає змогу спростити подальший чисельний розв'язок цих рівнянь.

Список літератури

1. Жильцов А. В. Крайова задача для тримірного магнітного поля з урахуванням неоднорідності магнітних властивостей середовища / А. В. Жильцов, В. В. Ликтей // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – 2014. – 1 (2). – С. 124–126.
2. Жильцов А. В. Розрахунок магнітного поля у вентильному електродвигуні із закритими пазами з урахуванням нелінійної магнітної характеристики. / А. В. Жильцов, В. В. Ликтей // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – 2014. – № 4. – С. 59–70.

References

1. Zhylytsov, A. V., Lyktei, V. V. (2014). Krayova zadacha dlya tryrnogo mahnitnogo polya z urahuvannyam neodnorodnosti magnitnykh vlastyvostei sere dovyscha [Formulation boundary problem for three-dimensional magnetic field with account heterogeneity among]. Problemy energoresursozbezheniya v elektrotekhnichnykh systemakh. Nauka, osvita i praktyka. Naukove vydannya, 1(2), 124–126.
2. Zhylytsov, A. V., Lyktei, V. V. (2014) Rozrakhunok mahnitnoho polia v ventyl'nomu elektrodvyhuni iz zakrytymy pazamy z urakhuvannyam neliniinoyi magnitnoyi kharakterystyky. [Calculation of magnetic field in brushless electric motors with closed grooves taking into account nonlinear magnetic characteristics] Elektromekhanichni i energozberigayuchi systemy. Shchokvartal'nyi vyrobnychiy zhurnal, 4, 59–70.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВЕНТИЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ С ЗАКРЫТЫМИ ПАЗАМИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А. В. Жильцов,
В. В. Ликтей

Аннотация. Усовершенствована математическая модель расчета характеристик магнитного поля в вентильный двигатель с закрытыми пазами с учетом нелинейной магнитной характеристики

путем модификации ядер интегральных уравнений в направлении уменьшения составляющих, содержащих функцию $\text{grad}_{\varphi}(\mathbf{Q})$.

Ключевые слова: метод вторичных источников, интегральные уравнения, магнитное поле, вентильный двигатель

MODELING MAGNETIC FIELD BRUSHLESS DC ELECTRIC MOTOR WITH CLOSED GROOVES TAKING INTO ACCOUNT NONLINEAR MAGNETIC CHARACTERISTICS

A. Zhiltsov,
V. Lyktey

Abstract. Mathematical model of calculating the characteristics of the magnetic field in Brushless DC electric motor with closed grooves taking into account nonlinear magnetic characteristics were improved by modifying the kernels of integral equations to help reduce the component containing the function $\text{grad}_{\varphi}(\mathbf{Q})$.

Keywords: method of secondary sources, integral equations, magnetic field, brushless DC electric motor

УДК 621.3:620.96

АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Обґрунтовано доцільність використання акумуляторів електричної та теплової енергії, що працює на фазових перетвореннях теплоакumuлюючого матеріалу, в складі енергозберігаючих систем комплексного енергозабезпечення споживачів із використанням сонячної енергії.

Ключові слова: система, акумулятор енергії, поновлювані джерела енергії, енергопостачання, імітаційне моделювання

Останніми роками в Україні значно поширюється будівництво індивідуальних житлових будинків в приміських зонах, де відсутнє централізоване тепло- та газопостачання. В цих умовах перспективним є використання систем енергозабезпечення на основі поновлюваних джерел енергії [1, 2]. Однак, враховуючи нерівномірний географічний

путем модификации ядер интегральных уравнений в направлении уменьшения составляющих, содержащих функцию $\text{grad}_{\varphi}(\mathbf{Q})$.

Ключевые слова: метод вторичных источников, интегральные уравнения, магнитное поле, вентильный двигатель

MODELING MAGNETIC FIELD BRUSHLESS DC ELECTRIC MOTOR WITH CLOSED GROOVES TAKING INTO ACCOUNT NONLINEAR MAGNETIC CHARACTERISTICS

A. Zhiltsov,
V. Lyktey

Abstract. Mathematical model of calculating the characteristics of the magnetic field in Brushless DC electric motor with closed grooves taking into account nonlinear magnetic characteristics were improved by modifying the kernels of integral equations to help reduce the component containing the function $\text{grad}_{\varphi}(\mathbf{Q})$.

Keywords: method of secondary sources, integral equations, magnetic field, brushless DC electric motor

УДК 621.3:620.96

АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук
e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. Обґрунтовано доцільність використання акумуляторів електричної та теплової енергії, що працює на фазових перетвореннях теплоакumuлюючого матеріалу, в складі енергозберігаючих систем комплексного енергозабезпечення споживачів із використанням сонячної енергії.

Ключові слова: система, акумулятор енергії, поновлювані джерела енергії, енергопостачання, імітаційне моделювання

Останніми роками в Україні значно поширюється будівництво індивідуальних житлових будинків в приміських зонах, де відсутнє централізоване тепло- та газопостачання. В цих умовах перспективним є використання систем енергозабезпечення на основі поновлюваних джерел енергії [1, 2]. Однак, враховуючи нерівномірний географічний

розподіл та стохастичний характер її надходження, мала питома концентрація енергетичних ресурсів та висока вартість енергогенеруючого устаткування джерел альтернативної енергетики, постає необхідність використання кількох різнорідних джерел та акумуляторів енергії в складі однієї системи, які здатні забезпечити накопичення надлишку генерованої системою енергії, з подальшим її використанням в інші періоди часу, для яких потреба в ній зростає. При цьому, становить інтерес аналіз доцільності включення акумуляторів енергії до складу такої системи з оцінкою їх впливу на ефективність процесу енергозабезпечення споживачів у цілому.

Мета досліджень – оцінка ефективності роботи системи комплексного енергозабезпечення споживачів із використанням сонячної енергії та акумуляторів енергії різних типів методом імітаційного моделювання.

Матеріали і методика досліджень. Узагальнюючи результати ряду наукових розробок і практичних експериментів як вітчизняних, так і закордонних дослідників, запропоновано систему комплексного енергозабезпечення споживачів [3], яка базується на використанні енергії сонячного випромінювання та/або електричної мережі з можливістю накопичення її надлишку в акумуляторах електричної та теплової енергії вдосконаленої конструкції [4].

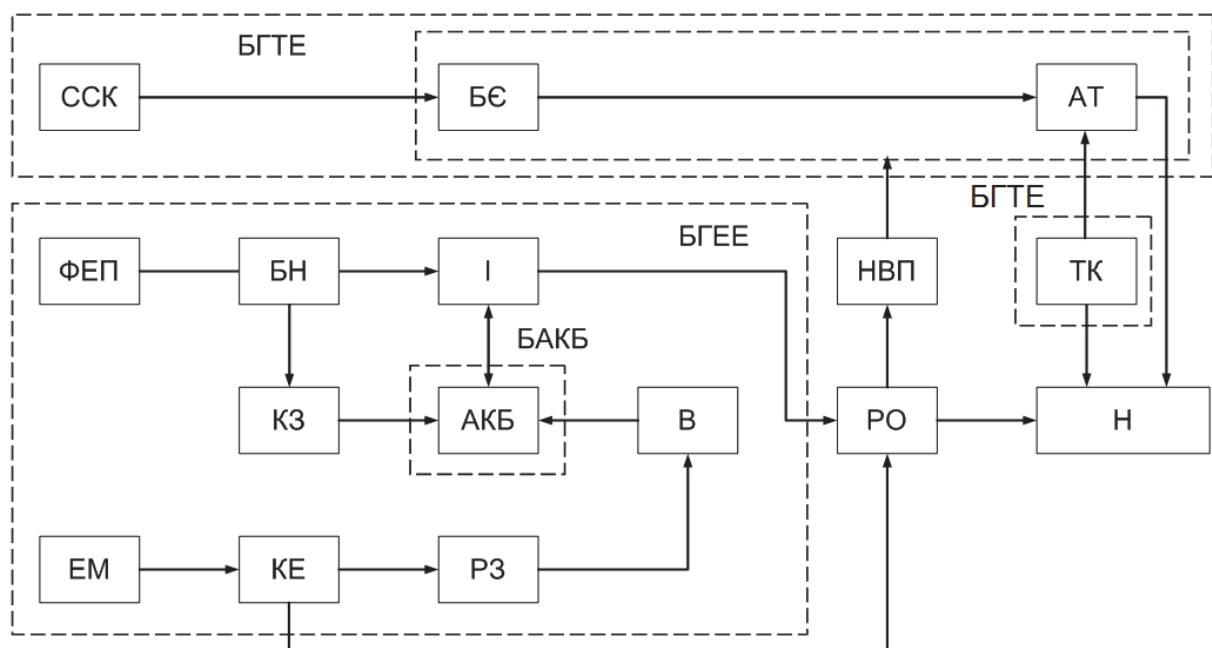


Рис. 1. Блок-схема функціонування системи комплексного енергозабезпечення з акумуляторами енергії:

БГЕЕ – блок генерації електричної енергії; БАКБ – блок акумуляторних батарей;
БГТЕ – блок генерації теплової енергії [3]

Використовуючи запропоновану в [5] імітаційну модель системи комплексного енергозабезпечення з використанням енергії альтернативних джерел, було проведено дослідження доцільності

включення акумуляторів енергії до складу запропонованої системи з оцінкою їх впливу на ефективність процесу енергозабезпечення споживачів у цілому. При побудові моделі в середовищі Simulink було знехтувано втратами в інверторі/випрямлячі та акумуляційних апаратах. Для знаходження кількості енергії, яку було вироблено та спожито елементами енергосистеми, використовували блоки інтеграторів.

Під час моделювання було використано добові графіки зміни середньої інтенсивності сонячного випромінювання та потужності навантаження (див. таблицю). Номінальна ємність однієї 12-вольтової акумуляторної батареї (АКБ), яка входить до складу кожної з груп m АКБ (від 2 до 4 шт. у групі), приймалась 100 А·год.

Моделювання проводилося для однієї доби з інтервалом 2 години.

Параметри моделей елементів навантаження запропонованої системи у середовищі Simulink

№ з/п	Споживач	Споживана потужність, Вт	Тривалість роботи, год.
1.	Електроплита	4000	7:00÷7:30; 19:00÷19:30
2.	Пральна машина	2500	22:00÷00:00
3.	Електрочайник	2000	8:00÷8:05 19:35÷19:40
4.	Електропраска	1500	7:45÷8:00
5.	Пилосос	1000	20:00÷21:00
6.	Фен	1000	6:45÷7:00
7.	Холодильник	100	00:00÷23:30
8.	Освітлення	100	6:30÷8:00 19:00÷23:30
9.	Телевізор	60	7:00÷8:00 20:00÷00:00
10.	Циркуляційний насос	2x45	00:00÷23:30
11.	Додаткові нагрівальні елементи	40x8	00:00÷23:30
12.	Електробойлер	1500	6:00÷6:30 21:00÷21:30
13.	Система опалення «тепла підлога»	700	00:00÷23:30
Всього: електрична потужність		14170	-
теплова потужність		7000	-

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено (рис. 2), що за добу навантаженням було спожито 14170 Вт·год електричної та 7000 Вт·год теплової енергії. Разом з тим, перетворювачами енергії альтернативних джерел вироблено: фотоелектричними батареями – 4410 Вт·год; сонячним колектором – 4650 Вт; акумуляовано групою акумуляторних батарей електричної енергії – 15650 Вт·год та теплової – 6250 Вт·год.

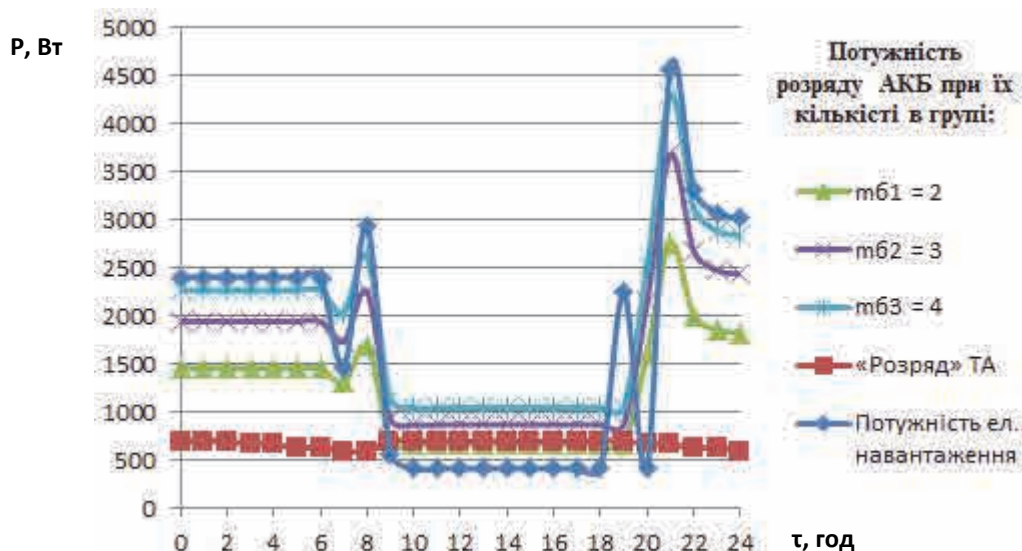


Рис. 2. Результати дослідження добової роботи запропонованої системи комплексного енергозабезпечення з акумуляторами енергії

З аналізу рис. 2 випливає, що акумулятори енергії згладжують добові перепади надходження як теплової, так і електричної енергії. Крім того, вони забезпечують функціонування запропонованої системи майже без використання енергії традиційних джерел живлення.

Таким чином, результати дослідження показують, що доля альтернативної енергії в енергоспоживанні при заданих параметрах моделі становить у межах 31 % для електричної та 66 % – для теплової енергії відповідно. При цьому, ефективність покриття навантаження споживачів за рахунок використання акумуляованої електричної енергії становить у межах 95...100 %, а теплової – 84...89 %.

Висновки

У результаті проведених досліджень обґрунтовано доцільність використання акумуляторів електричної та теплової енергії в складі енергозберігаючих систем комплексного енергозабезпечення споживачів із використанням сонячної енергії. Зокрема, встановлено:

1. Доля альтернативної енергії в енергоспоживанні при заданих параметрах моделі становить у межах 31 % для електричної та 66 % – для теплової енергії відповідно.
2. Ефективність покриття навантаження споживачів за рахунок використання акумуляованої електричної енергії становить у межах 95...100 %, а теплової – 84...89 %.

Список літератури

1. Басок Б. И. Экспериментальный модуль гелиогеотермальной установки для теплоснабжения / Б. И. Басок, А. И. Накорчевский, Т. Г. Беляева [и др.] // Промышленная теплотехника. – 2006. – № 1. – С. 69–78.
2. Горобець В. Г. Застосування сонячних енергетичних установок та акумуляторів теплоти в системах теплозабезпечення теплиць / В. Г. Горобець, Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 100–107.

3. Антипов Є. О. Комбінована система енергозабезпечення споживачів із застосуванням традиційних та альтернативних джерел і акумуляторів енергії [Електронний ресурс] / Є. О. Антипов // Енергетика і автоматика. – 2015. – № 1 (15). – С. 72–81. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2015_1_11.pdf.

4. Антипов Є. О. Експериментальне дослідження ефективності нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу / Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 253–257.

5. Кубкін М. В. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. II. – С. 192–202.

References

1. Basok, B. I., Nakorchevskyy, A. A., Belyaeva, T. G. [et al.] (2006). Eksperimental'nyy modul' geliogeotermal'noy ustanovki dlya teplosnabzheniya [Experimental module helio geothermal installation for heating]. Industrial Heat Engineering, 1, 69–78.

2. Gorobets, V. G., Antypov, I. O. (2014). Zastosuvannya sonyachnykh energetychnykh ustanovok ta akumulyatoriv teploty v systemakh teplozabezpechennya teplyts [The use of solar power systems and battery systems heat heating greenhouses]. Kyiv: NUBiP, 194 (2), 100–107.

3. Antypov, I. O. (2015). Kombinovana systema enerhozabezpechennya spozhyvachiv iz zastosuvannyam tradytsiynykh ta alternatyvnykh dzherel i akumulyatoriv enerhiyi [The combined system power consumers using traditional and alternative energy sources and batteries]. Energy and Automation, 1 (15), 72–81.

4. Antypov, I. O. (2015). Eksperymentalne doslidzhennya efektyvnosti novoyi konstruktsiyi akumulyatora teploty fazovogo perekhodu [Experimental study of the effectiveness of the new design of heat power phase transition]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 209 (2), 253–257.

5. Kubkin, M. V., Soldatenko, V. P. (2012). Imitatsiyna model kombinovanoyi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanymy dzherelamy energiyi [A simulation model of combined electricity system with renewable energy sources]. Kirovograd: RVL KNTU, 25 (II), 192–202.

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е. А. Антипов

Аннотация. Обоснована целесообразность использования аккумуляторов электрической и тепловой энергии, работающих на фазовых превращениях теплоаккумулирующего материала, в составе энергосберегающих систем комплексного энергообеспечения потребителей с использованием солнечной энергии.

Ключевые слова: система, аккумулятор энергии, возобновляемые источники энергии, энергоснабжение, имитационное моделирование

ANALYSIS OF THE WORK OF INTEGRATED ENERGY CONSUMERS BY SIMULATION

I. Antypov

Abstract. *The expediency of using batteries of electric and thermal energy, working on phase transformations heat-accumulating material, as part of energy-saving systems integrated energy consumers using solar energy.*

Keywords: *system, energy storage, renewable energy, energy, simulation*

УДК 66.012: 631.8

КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ВИРОБНИЦТВОМ ЕНЕРГОНОСІЯ, ОРГАНІЧНИХ ТА ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ГРАНУЛЬОВАНИХ ДОБРІВ

О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*

А. В. ЛЯШЕНКО, кандидат технічних наук

В. В. МИХАЛЕВИЧ, науковий співробітник

Н. С. КОРБУТ, молодший науковий співробітник

В. Г. СТЕЦЬЮК, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Робота спрямована на організацію сумісного виробництва біогазу та добрив на основі відходів сучасних комплексів для утримання ВРХ. Наведено результати експериментальних досліджень процесів сушіння гранульованих продуктів із додаванням ряду речовин.*

Ключові слова: *комплексна переробка, анаеробна ферментація, біогаз, органічні та органомінеральні гранульовані добрива*

Сонячна енергія представляє собою практично невичерпні джерела і могла б задовольнити енергетичні витрати всього населення землі на багато віків, але її безпосереднє застосування пов'язано зі значними капітальними витратами та потребує великих виробничих площ.

На сьогодні найперспективніше використовувати сонячну енергію, яка накопичилася в біомасі в результаті фотосинтезної діяльності рослин, для виробництва рідких, газоподібних і твердих палив.

ANALYSIS OF THE WORK OF INTEGRATED ENERGY CONSUMERS BY SIMULATION

I. Antypov

Abstract. *The expediency of using batteries of electric and thermal energy, working on phase transformations heat-accumulating material, as part of energy-saving systems integrated energy consumers using solar energy.*

Keywords: *system, energy storage, renewable energy, energy, simulation*

УДК 66.012: 631.8

КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ВИРОБНИЦТВОМ ЕНЕРГОНОСІЯ, ОРГАНІЧНИХ ТА ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ГРАНУЛЬОВАНИХ ДОБРІВ

О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*

А. В. ЛЯШЕНКО, кандидат технічних наук

В. В. МИХАЛЕВИЧ, науковий співробітник

Н. С. КОРБУТ, молодший науковий співробітник

В. Г. СТЕЦЬЮК, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Робота спрямована на організацію сумісного виробництва біогазу та добрив на основі відходів сучасних комплексів для утримання ВРХ. Наведено результати експериментальних досліджень процесів сушіння гранульованих продуктів із додаванням ряду речовин.*

Ключові слова: *комплексна переробка, анаеробна ферментація, біогаз, органічні та органомінеральні гранульовані добрива*

Сонячна енергія представляє собою практично невичерпні джерела і могла б задовольнити енергетичні витрати всього населення землі на багато віків, але її безпосереднє застосування пов'язано зі значними капітальними витратами та потребує великих виробничих площ.

На сьогодні найперспективніше використовувати сонячну енергію, яка накопичилася в біомасі в результаті фотосинтезної діяльності рослин, для виробництва рідких, газоподібних і твердих палив.

Найперспективніший спосіб одержання енергії з біомаси – анаеробне (без доступу кисню) зброджування відходів сільськогосподарського виробництва.

Виготовлені в результаті цього процесу продукти (біогаз та переброджена маса) являють собою значну цінність як газоподібне паливо та сировина для виробництва органічних добрив.

Не менш важливо, що застосування біогазових установок запобігає забрудненню повітря та водних басейнів, ґрунту й посівів завдяки утилізації та дезодорації гнойових стоків великих тваринницьких комплексів, виготовленню обеззаражених високоефективних органічних добрив.

Мета досліджень – розробка наукових основ сумісного виробництва біогазу та добрив на основі відходів сучасних тваринницьких комплексів.

Матеріали і методика досліджень. До органічних залишків та відходів сільськогосподарського виробництва належать, головним чином, екскременти тварин і рослинні матеріали, якщо вони не використовуються як корми. Наявні в цих органічних матеріалах компоненти здебільшого можуть бути використанні як рослинні добрива, що дає змогу таким чином частково замінювати мінеральні добрива, які потребують для свого виробництва значних витрат енергії та коштів.

Завдяки відносно високій теплоті згоряння, наведеній в табл. 1 та 2, ці матеріали мають енергетичний потенціал, який може бути використаний під час виробництва біогазу та біодобрив. Біологічний розклад переважно органічних сполук, а також частини легколетючих та різкопахучих речовин, які знаходяться, насамперед, у свіжих екскрементах тварин, спричиняють виділення газів та утворення запахів. Крім того, наявність у відходах збудників хвороб є потенційно небезпечною для людей і тварин.

1. Теплота згоряння різних органічних матеріалів [1]

Органічні відходи	Доля органічної маси в загальній масі сухої речовини, %	Теплота згоряння, Q_H (МДж/кг сухої речовини)
Відходи рослинного походження	95–98	16–19
Екскременти великої рогатої худоби	77	18–19
Екскременти свиней	80	18–19
Послід птиці	77	14–16

Таким чином, підхід до проблеми переробки відходів сільськогосподарського виробництва повинен базуватися, перш за все, на вимогах захисту навколишнього середовища, куди входить:

- ліквідація емісії неприємних запахів при утворенні та зберіганні відходів;
- поліпшення екологічного стану за рахунок ізоляції від зовнішнього середовища, відходів та процесів, які в них відбуваються, отримання безпечного кінцевого продукту, а також переробки відходів на місці їх утворення;

- реалізація енергетичного потенціалу органічних відходів у вигляді біогазу;
- отримання в короткий термін у промисловому масштабі цінних органічних добрив за рахунок переходу азоту та фосфору в легкозасвоювані рослинами форми;
- розвиток екологічно чистого органічного землеробства;
- запобігання контамінації продукції, зараженню людей і тварин збудниками хвороб;
- запобігання перевантаженню ґрунтів, води та рослин некорисними речовинами.

2. Теплота згоряння різних видів палива [1]

Види палива	Джерело виробництва	Теплота згоряння, QH (МДж/м3)
Біогаз	екскременти тварин із додаванням рослинних залишків	20–25
Генераторний газ	дерево, солома	5–7
Піролізний газ	екскременти тварин	18–20
Світильний газ		18–20
Природний газ		33–38
Метан		36
Пропан (газоподібний)		93
Дизельне паливо, котельне паливо, бензин		41–45 МДж /кг
Пропан (зріджений)		46
Вугілля		30–33 МДж /кг
Дрова		14–19 МДж /кг

При цьому застосування анаеробних методів передбачає додаткові переваги з точки зору виробництва сільськогосподарської продукції та економії енергії, оскільки за цих умов є можливість економити хімічні добрива, тому що використовуються продукти зброджування (біодобрива).

Ті чи інші цілі процесу переробки відходів, які визначаються вимогами охорони навколишнього середовища, можуть бути досягнуті в результаті використання як аеробного, так і анаеробного способу бродіння. Вирішальним фактором при виборі конкретного способу можуть бути:

- попередні та експлуатаційні витрати;
- надійність в експлуатації;
- вимоги до технічного обслуговування та експлуатації;
- ефективність використання виготовлюваної продукції.

Якщо початковий матеріал знаходиться в рідкому стані, тоді анаеробний спосіб зброджування має перевагу і за експлуатаційними витратами, так як затрати в енергії для окремих технологічних процесів (підігрів субстрату) можуть бути забезпечені за рахунок виготовлення

біогазу і за відповідної технології можливе додаткове зниження витрат, знову завдяки використанню біогазу. Ще однією з переваг анаеробної переробки може бути підвищення вмісту азоту в кінцевому продукті (біодобривах), що важливо для харчування рослин [2].

Відділ ТМОВР ІТТФ НАН України згідно з договором про співпрацю з кафедрою ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шикuli НУБіП України здійснював напрацювання партій гранульованих біодобрив та визначення їх характеристик під час попереднього обговорення методик проведення досліджень та композиційного складу продукту.

Результати досліджень. Рідкий розчин гною з насосної ферми Української молочної компанії в с. Великий Крупіль та переброджений розчин із ферментаторів БГУ відбирали та частково зневоднювали. Композиційні суміші готували за рекомендаціями. Першу партію продукту було виготовлено з розчинів гною, середні характеристики якого будуть наведені в табл. 3.

3. Середні характеристики гною (партія 1)

Розчин гною	pH	Густина, кг/м ³	Вологість, %	Абс. сухі, %	Біогенні до абс. сух., %	Зольність до абс. сух., %
Непереброджений	7,37	1018	94,05	5,95	84,72	15,28
Переброджений	7,93	1016	96,16	3,84	78,14	21,86

З цих розчинів частково відбирали вологу методом пресування. Вологість зменшувалася в неперебродженому розчині з 94,05 до 86,09 %, а в перебродженому – з 96,16 до 86,35 %. Інші компоненти композиційної суміші мали вологість 2–6 %. Співвідношення композиційної суміші завжди було: сепарований розчин – 80–85 %, домішки (цеоліт, перліт, торф) – 20–15 % (рис.1). Середня вологість композиції була 52–60 %.

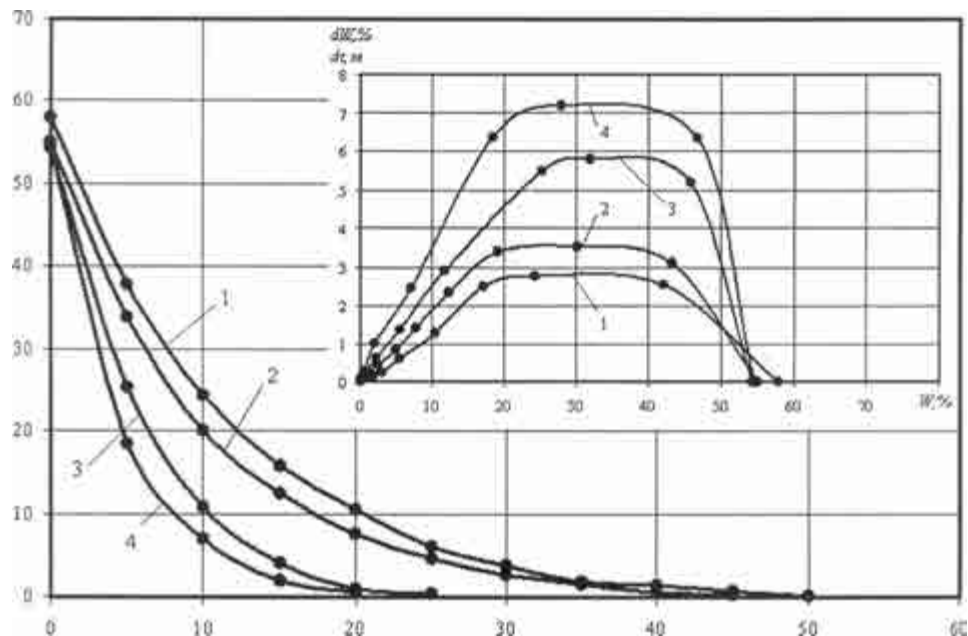


Рис. 1. Композиційний склад продукту в масових частках

Композицію (суміш компонентів) перемішували 10 с у ротаційній камері. Вологу суміш формували шнековим механізмом через фільтрну решітку з отворами діаметром 6 мм. Отриманий сформований продукт сушили в продувному шарі. Температура теплоносія 60–100 °С, швидкість – 3 м/с.

Криві сушіння та швидкості сушіння наведені на рис. 2.

W, %



τ, хв.

Рис. 2. Криві сушіння та криві швидкості сушіння (партія №1):

1 – непереброджений за $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – переброджений за $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
3 – непереброджений за $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – переброджений за $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Другу партія продукту було виготовлено з розчинів гною із середніми характеристиками, наведеними в табл. 4.

4. Середні характеристики гною (партія 2)

Розчин гною	pH	Густина, кг/м ³	Вологість, %	Абс. сухі, %	Біогенні До абс. сух, %	Зольність До абс. сух, %
Непере- броджений	7,05	1015	95,26	4,74	83,74	16,2
Пере- броджений	7,7	1016	96,05	3,95	79,08	20,92

Технологія напрацювань продукту не змінювалася. Криві сушіння та швидкості сушіння наведені на рис. 3 та 4.

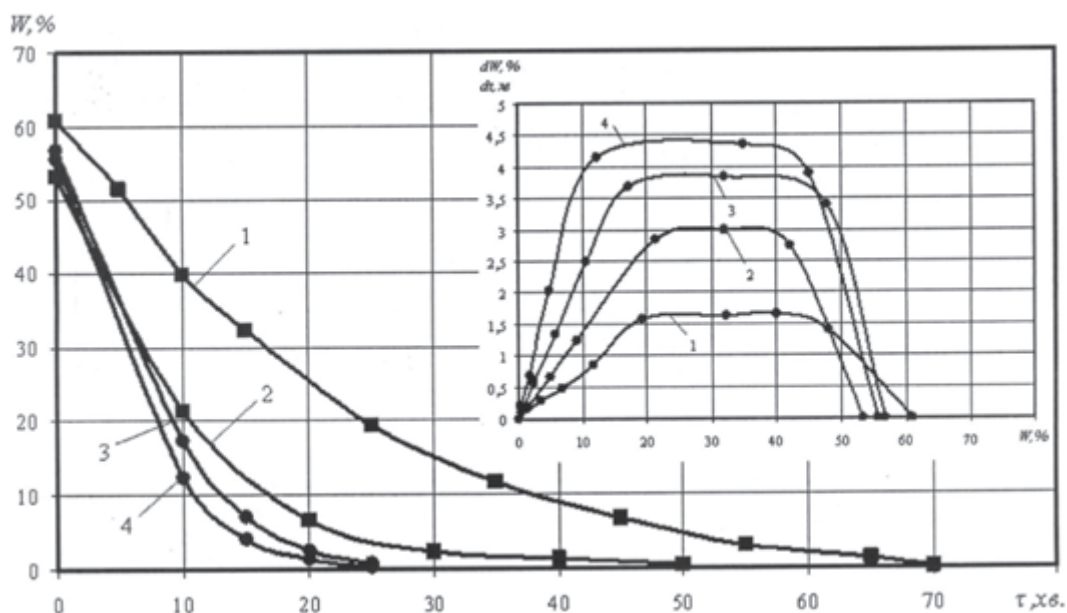


Рис. 3. Криві сушіння та криві швидкості сушіння (партія № 2)
 1 – непереброджений за $t=60^\circ\text{C}$; 2 – переброджений за $t=60^\circ\text{C}$;
 3 – непереброджений за $t=100^\circ\text{C}$; 4 – переброджений за $t=100^\circ\text{C}$

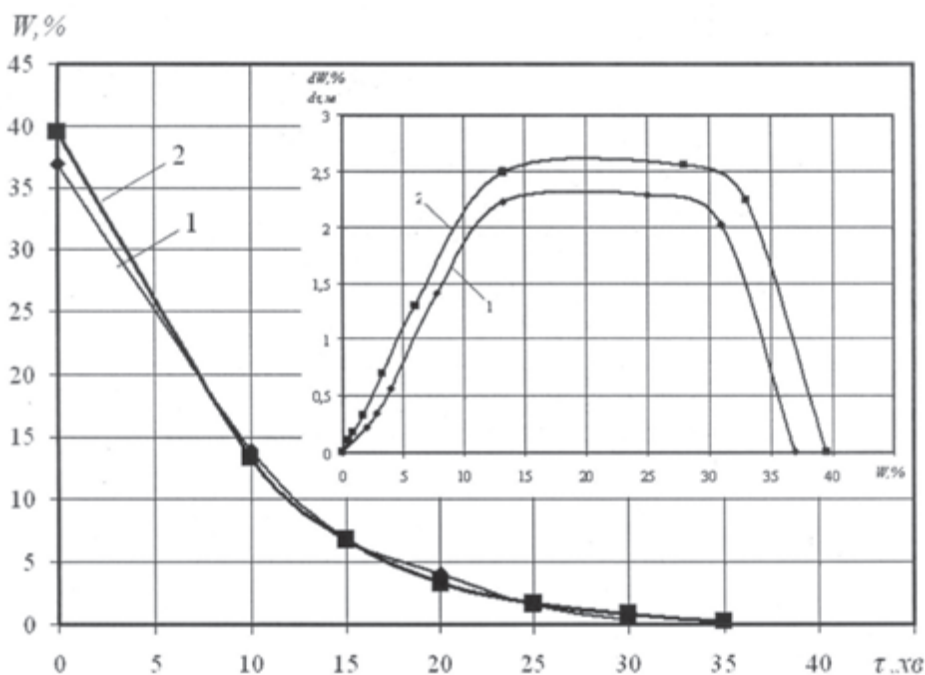


Рис. 4. Криві сушіння та криві швидкості сушіння (партія № 3):
 температура теплоносія $t = 100^\circ\text{C}$; швидкість $v = 3\text{ м/с}$;
 висота шару, що сохне, 1 – $h = 20\text{ мм}$, 2 – $h = 40\text{ мм}$

Щоб збільшити мінеральну складову продукту в композицію додавали певну кількість азотних, фосфорних та калійних добрив, формували та сушили його. Співвідношення композиційної суміші завжди було: сепарований розчин – 75–85 %, домішки (цеоліт, перліт, торф, амафоска, калій хлор) – 25–

15 % (рис. 5). Середня вологість композиції була 55–65 %. На рис. 6 показані криві сушіння та швидкості сушіння сформованого продукту з органіно-мінеральної суміші залежно від висоти шару продукту.

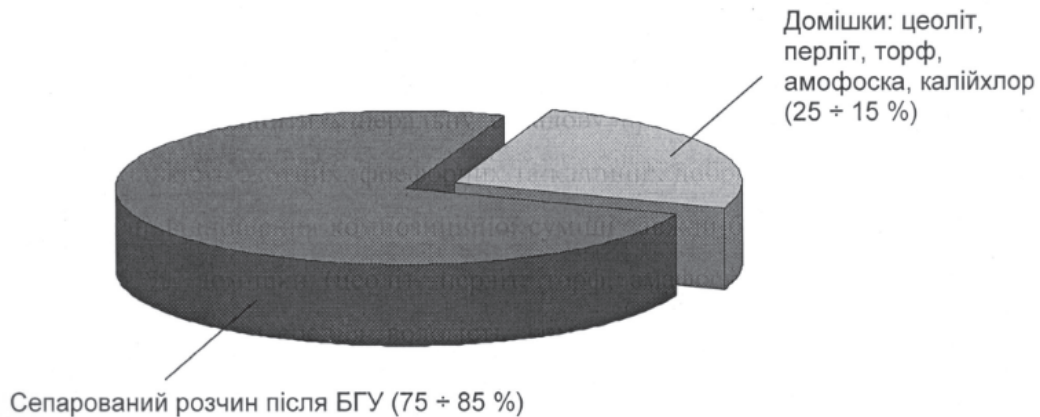


Рис. 5. Композиційний склад продукту в масових долях

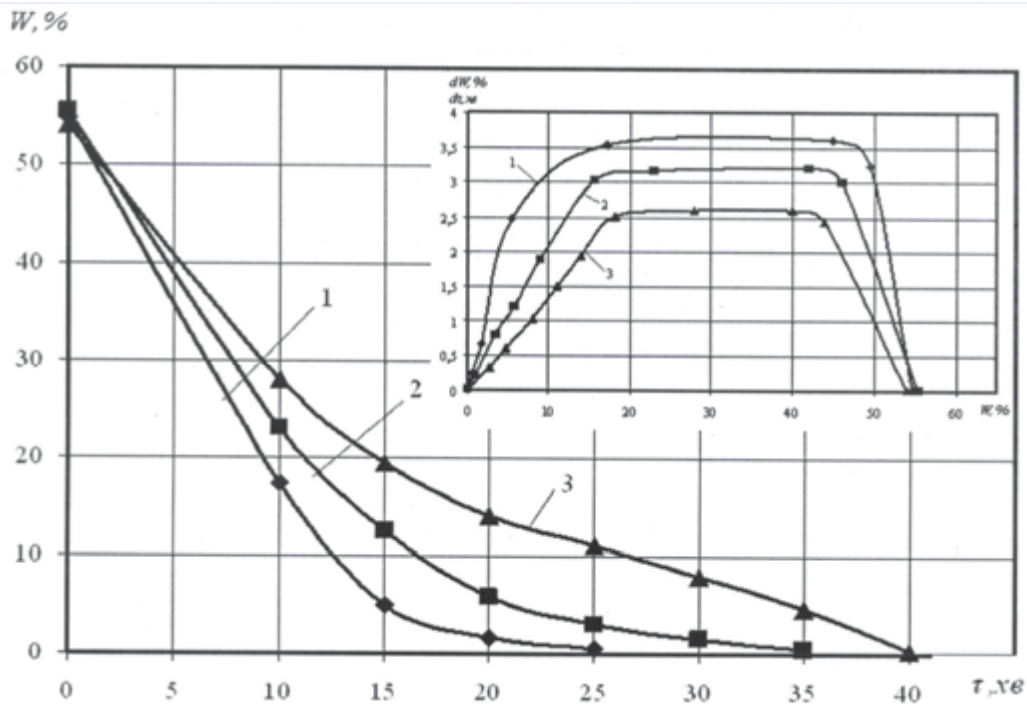


Рис. 6. Криві сушіння та криві швидкості сушіння органіно-мінеральних добрив:

температура теплоносія $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$; швидкість $v = 3\text{ м/с}$;
висота шару, що сохне 1 – $h = 20\text{ мм}$, 2 – $h = 40\text{ мм}$, 3 – $h = 85\text{ мм}$

Висновки

Аналіз кривих сушки та швидкості сушки свідчить, що вологість кінцевого продукту – 12–15%, як із додаванням мінеральних добрив, так і без них, досягається в сталому режимі без перегріву продукту, при цьому зберігаються біогенні складові добрив. Час сушки для отримання кінцевої вологості $\sim 15\text{ %}$ триває 12–15 хв за температури 60°C та 7–10 хв за

температури 100°C. Вища швидкість спостерігалася під час сушки продуктів із перебродженого розчину. Це пояснюється тим, що колоїдні частинки, які утримують вологу, під час ферментації під дією ензимних складових частково втрачають цю властивість.

Список літератури

1. Баядер В. Биогаз: теория и практика. / Баядер В., Доне Е., Бренндорфер М.; пер. с нем. М. И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Нескородов Г. Ф. Комплексное решение проблемы обеспечения энергоносителями сельских производителей за счет переработки биомассы из отходов / Г. Ф. Нескородов, В. Е. Марценюк // Материалы IV Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 31 января 2007. – С. 171–175.

References

1. Baiader, V., Done, E., Brenndorfer, M.; per. s nem. M. Y. Serebrianogo (1982). Byogaz: Teoryia i praktyka. [Biogas: Theory and Practice]. Moscow: Kolos, 148.
2. Neskorodov, H. F., Martseniuk, V. E. (2007). Kompleksnoye resheniye problemy obespecheniya energonosytelyamy selskykh proizvoditelei za schet pererabotki byomassy is otkhodov [A comprehensive solution to provide energy rural producers through the processing of biomass waste]. Materyaly IV Mezhdunarodnoi konferentsiyi «Sotrudnychestvo dlya resheniya problemy otkhodov» Kharkov, 31 yanvarya, 171–175.

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ, ОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ

**Е. В. Шелиманова,
А. В. Ляшенко,
В. В. Михалевич,
Н. С. Корбут,
В. Г. Стецюк**

***Аннотация.** Работа направлена на организацию совместного производства биогаза и удобрений на основе отходов современных комплексов для содержания КРС. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов сушки гранулированных продуктов с добавлением ряда веществ.*

***Ключевые слова:** комплексная переработка, анаэробная ферментация, биогаз, органические и органоминеральные гранулированные удобрения*

COMPLEX PROCESSING OF AGRICULTURE WASTE WITH PRODUCTION OF ENERGY, ORGANIC AND ORGANIC-MINERAL GRANULATED FERTILIZER

**E. Shelimanova,
A. Lyashenko,
V. Mikhalevich,**

**N. Korbut,
B. Stetsyuk**

Abstract. *The work is aimed at organizing joint production of biogas and fertilizers on the basis of modern systems of waste for cattle. The results of experimental studies of the drying process granular products with the addition of a number of substances are given.*

Keywords: *complex processing, anaerobic fermentation, biogas, organic fertilizers and organic-mineral granulated fertilizers*

УДК 658.014.1.011

**ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ**

М. О. КІКТЄВ, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

Н. І. ЧИЧИКАЛО, доктор технічних наук
К. Ю. ЛАРІНА, кандидат технічних наук
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
e-mail: nkiktev@ukr.net*

Анотація. *Вирішено задачу створення системи відеоспостереження за станом гірничо-технологічного об'єкта на прикладі стрічкового шахтного конвеєра задля подальшої передачі інформації диспетчеру. Наведено алгоритм реалізації даної задачі та фрагменти програмного забезпечення для її вирішення.*

Ключові слова: *шахтний конвеєр, відеоспостереження, мережеві технології, алгоритм, програмне забезпечення*

Автоматизована інформаційна система моніторингу стану конвеєрного транспорту вугільної шахти створюється з метою підвищення безпеки та надійності в процесі управління транспортуванням матеріальних і людських ресурсів у шахті. Інформаційно-управляюча підсистема дистанційного спостереження за станом конвеєрного транспорту є частиною АСУ ТП транспортуванням вугілля у шахті, яка дає можливість дистанційно досліджувати та управляти низкою гірничо-технологічних процесів.

Розробці системи відеоконтролю шахтних конвеєрів присвячені роботи Національного гірничого університету [1]. Зокрема, обґрунтовані параметри Ethernet-мережі за допомогою моделі черги для передачі

**N. Korbut,
B. Stetsyuk**

Abstract. *The work is aimed at organizing joint production of biogas and fertilizers on the basis of modern systems of waste for cattle. The results of experimental studies of the drying process granular products with the addition of a number of substances are given.*

Keywords: *complex processing, anaerobic fermentation, biogas, organic fertilizers and organic-mineral granulated fertilizers*

УДК 658.014.1.011

**ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ**

М. О. КІКТЄВ, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

Н. І. ЧИЧИКАЛО, доктор технічних наук
К. Ю. ЛАРІНА, кандидат технічних наук
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
e-mail: nkiktev@ukr.net*

Анотація. *Вирішено задачу створення системи відеоспостереження за станом гірничо-технологічного об'єкта на прикладі стрічкового шахтного конвеєра задля подальшої передачі інформації диспетчеру. Наведено алгоритм реалізації даної задачі та фрагменти програмного забезпечення для її вирішення.*

Ключові слова: *шахтний конвеєр, відеоспостереження, мережеві технології, алгоритм, програмне забезпечення*

Автоматизована інформаційна система моніторингу стану конвеєрного транспорту вугільної шахти створюється з метою підвищення безпеки та надійності в процесі управління транспортуванням матеріальних і людських ресурсів у шахті. Інформаційно-управляюча підсистема дистанційного спостереження за станом конвеєрного транспорту є частиною АСУ ТП транспортуванням вугілля у шахті, яка дає можливість дистанційно досліджувати та управляти низкою гірничо-технологічних процесів.

Розробці системи відеоконтролю шахтних конвеєрів присвячені роботи Національного гірничого університету [1]. Зокрема, обґрунтовані параметри Ethernet-мережі за допомогою моделі черги для передачі

інформації. Здійснено моделювання роботи моделі передачі даних системи контролю конвеєрних ліній, розрахунок завантаження комп'ютерної мережі інформаційної системи.

У роботі [2] виконаний аналіз методів управління передачею відеоінформації в комп'ютерних мережах, обґрунтовані переваги методу покадрової передачі відеоінформації для промислових об'єктів, а також надані рекомендації щодо збільшення пропускної спроможності локальних та глобальних мереж під час передачі відеоданих.

На сьогодні системи відеоспостереження, зокрема на промислових об'єктах, застосовуються, як правило, для забезпечення безпеки об'єкта, недопущення втручання сторонніх осіб, крадіжок, псування обладнання. Для контролю дій співробітників, робочих процесів і операцій застосовується система відеоспостереження. За допомогою відеокамер контролюються переміщення співробітників у цехах, робочий процес та виконання робітниками технологічних операцій. Так само відеокамерами контролюється територія навколо підприємства, наприклад, периметр і автостоянка. Камери відеоспостереження на підприємстві підключаються до відеореєстратора, який, крім контролю на місці, дає змогу вести віддалене відеоспостереження та переглядати архів.

Системи відеомоніторингу при управлінні технологічними об'єктами використовуються у галузях сільського господарства. У Національному університеті біоресурсів і природокористування (м. Київ) розроблено систему відеомоніторингу дослідження об'єктів в іншій галузі економіки, а саме: об'єкта рослинництва у сільському господарстві та природокористуванні, яку було розглянуто у статті [3]. Також науковці цього ВНЗ розробили та впровадили інформаційно-управляючу систему дистанційного відеоспостереження за станом біооб'єкта на прикладі дослідницького свинарника, яка також призначена для автоматизації наукових досліджень [4]. Існують розробки російських науковців (Московський державний агроінженерний університет імені В. П. Горячкіна) щодо відеоспостереження в системах землеробства. Відеоспостереження в умовах агровиробництва підвищує точність позиціонування робочих органів щодо об'єкта при зниженні вартості обладнання та експлуатації системи навігації [5]. Але вони призначені для спостереження на великій території – на полях, у садах, із застосуванням складних конструкцій – телескопічних веж, безпілотних літальних апаратів та ін.

На відміну від існуючих, мета системи відеоспостереження, якій присвячена дана стаття – спостереження за станом саме шахтного технологічного процесу з метою автоматизації виробництва у поєднанні з вимірювальними пристроями дають змогу своєчасно виявляти аварійні ситуації під час гірничо-технологічного процесу для подальшого управління ним.

Мета досліджень – розробка апаратно-програмного комплексу системи відеомоніторингу стану шахтних стрічкових конвеєрів для подальшої передачі відеоінформації за допомогою мережі Internet до диспетчера.

Матеріали і методика досліджень. У цьому науковому дослідженні вирішується питання спостереження за роботою шахтного конвеєра, зокрема завантаження/розвантаження, транспортування вугілля та людей без аварійних ситуацій.

Результати досліджень. Для автоматизації виробництва розроблено структуру апаратно-програмного комплексу у складі: комп'ютер диспетчера, відеокамери, кількість яких залежить від довжини конвеєра й кількості перевантажувальних вузлів, які передають інформацію до диспетчера за допомогою CAN-контролерів та мережі передачі даних, програмне середовище Visual Basic 6.0. На відміну від аналогічних систем відеоспостереження, камери мають відповідати вимогам вибухобезпеки. Пропонується встановити вибухобезпечні камери типу КТП-289Ех, або обладнати звичайні камери вибухобезпечними термокожухами серії CSP.

Для виконання поставленої задачі розроблено спеціальне програмне забезпечення. Програмою передбачено запис фотографій у графічні файли формату *.jpg*, назва файлу включає його нумерацію. Кожен номер попереднього графічного файлу зберігається в текстовому файлі *time.txt*, який знаходиться за адресою *c:\Proekt_Konveyer\time.txt*. Для цього використовується така конструкція:

```
myfile = FreeFile  
Open ("c:\Proekt_Konveyer \time.txt") For Input As #myfile  
Line Input #myfile, s  
Close #myfile  
i = CInt(s).
```

Останній оператор перетворює в цілий тип номер фотографії, який зчитується з текстового файлу та має строковий тип. Далі здійснюється фотозйомка та запис фотографії в графічний файл *VIDEO_N.jpg*, (*N* – номер файлу) за допомогою оператора:

```
SendMessageString hWDC, WM_CAP_FILE_SAVEDIB, 0,  
"E:\Проект_Konveyer \VIDEO_" & CStr(i) & ".jpg".
```

Інтервал зйомки (120 секунд, або 120000 мілісекунд) забезпечується конструкцією:

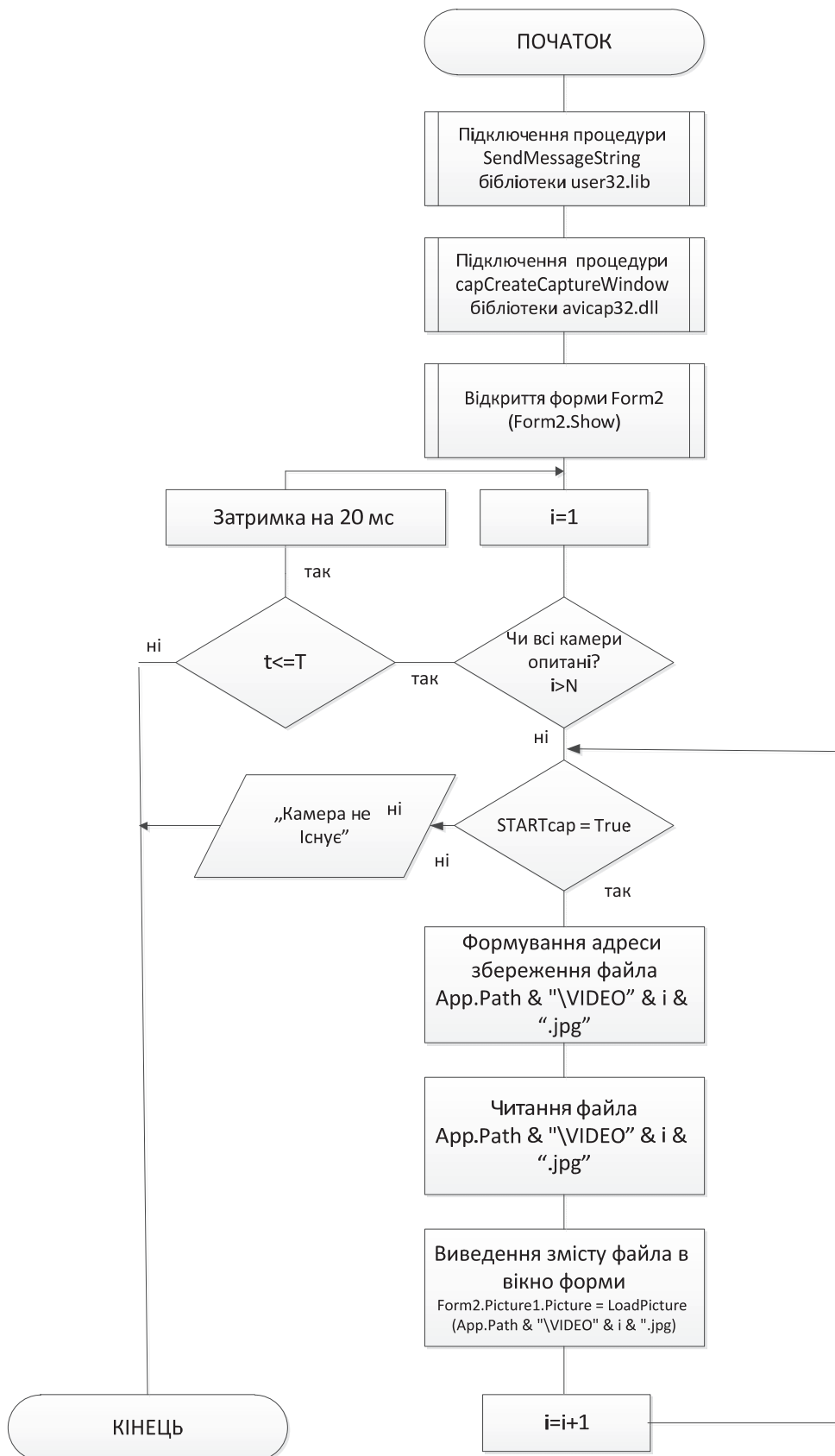
```
DoEvents  
Sleep 120000
```

.....

```
Loop
```

Далі змінній *i* присвоюється новий номер (номер наступної фотографії), перетворюється в строковий тип та записується в текстовий файл, що зберігає поточні номери фотографій:

```
i = i + 1  
s = CStr(i)  
Open ("c:\Proekt_Vorzel\time.txt") For Output As #myfile  
Print #myfile, s  
Close #myfile
```



Алгоритм програми покадрової зйомки рухомих об'єктів та відновлення кадрів для відеоспостереження

Серія зображень зберігається на комп'ютері диспетчера протягом встановленого часу, тому є можливість переглядати в архіві роботу конвеєра в задані дні та години у прискореному режимі. Відновлення зображення здійснюється шляхом анімування одержаних фотографій із затримкою 20 мс. У результаті цього, за декілька хвилин можна переглянути роботу конвеєра протягом дня. Відновлювання зображення здійснюється на окремій формі, у верхньому рядку якої відображується дата та час зйомки. Для цього використовується конструкція:

```
Form2.Caption = FileDateTime("E:\Проект_ Konveyer \Сборник\" & CStr(i) & ".jpg")
```

```
Form2.Picture1.Picture = LoadPicture("E:\Проект_ Konveyer \Сборник\" & CStr(i) & ".jpg")
```

На рисунку показано алгоритм програми покадрової зйомки рухомих об'єктів та відновлення кадрів для відеоспостереження.

Висновки

У наведеній науковій праці досліджено та розроблено систему відеоспостереження за роботою технологічного об'єкта, що повільно змінюється, а саме: шахтного стрічкового конвеєра. Система дає можливість відстежити та порівняти роботу конвеєра при різних вхідних параметрах, оцінити ефективність гірничих технологій та порівняти із цифровою інформацією, що знаходиться з датчиків. Система відеоспостереження за роботою конвеєрної лінії може знайти своє подальше використання як складова частина автоматизованої системи керування, а також іншими гірничо-технологічними процесами.

Список літератури

1. Цвіркун, Л. І. Моделювання роботи мережі передачі даних системи контролю конвеєрних ліній / Л. І. Цвіркун, І. В. Кмітіна // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Х. : НТУ "ХПИ". – 2010. – № 21. – С. 193–199.
2. Васильев В. Н. Анализ методов передачи видеоинформации в компьютерных сетях / В. Н. Васильев, Ю. В. Гугель, И. П. Гуров // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург : УТМО. – 2002. – № 2 (6). – С. 14–26.
3. Hardware and software of automated system for research in greenhouse production (video-monitoring of plant growth inside greenhouse) / V. Reshetyuk, N. Kiktev, M. Bondarenko // Annals of Warsaw University of Life Sciences, 62, 52–58.
4. Кіктєв М. О. Апаратно-програмний інтерфейс інформаційно-управляючої підсистеми дистанційного спостереження за станом технологічного об'єкта агропромислового комплексу / М. О. Кіктєв, І. І. Веклинець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2012. – № 174 (1). – С. 59–63.
5. Башилов А. М. Видеонаблюдение и навигация в системах точного земледелия / А. М. Башилов // Научни трудове на Русенския университет. – 2010. – Т. 49, серия 3.1. – С. 112–118.

References

1. Cvirkun, L. I., Kmitina, I. V. (2010). Modeljuvannja roboty merezhi peredachi danyh sistemy kontrolju konveyernih linij [The simulation of data transmission network control system of conveyor lines]. Bulletin of NTU "KHPI". Special issue: Informatics and modeling, 21, 193–199.
2. Vasil'ev, V. N., Gugel', Ju. V., Gurov, I. P. (2002). Analiz metodov peredachi videoinformatsiyi v komp'yuternyh setjah [Analysis of methods of video transmission in computer networks]. Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics, 2 (6), 14–26.
3. Reshetyuk, V., Kiktev, N., Bondarenko, M. (2013). Hardware and software of automated system for research in greenhouse production (video monitoring of plant growth inside greenhouse). Annals of Warsaw University of Life Sciences, 62, 52–58.
4. Kiktev, M. O., Veklinec', I. I. (2012). Aparatno-programnij interfejs informacijno-upravlyayuchoyi pidsystemy distancijnogo sposterezheniya za stanom tehnologichnogo ob'yekta agropromislovogo kompleksu [Hardware-software interface of the information management subsystem remote monitoring of the condition of the technological object of the agro-industrial complex]. Scientific Bulletin of National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: technology and energy APK, 174 (1), 59–63.
5. Bashilov, A. M. Videonablyudeniye i navigaciya v sistemah tochnogo zemledeliya [Surveillance and navigation systems precision farming]. Labour Nauchni the Ruse University, 49, series 3.1. – P. 112–118.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

Н. А. Киктев,
Н. И. Чичикало,
Е. Ю. Ларина

Аннотация. Решена задача создания системы видеонаблюдения за состоянием горно-технологического объекта на примере ленточного шахтного конвейера с целью дальнейшей передачи информации диспетчеру. Приведен алгоритм реализации данной задачи и фрагменты программного обеспечения для ее решения.

Ключевые слова: шахтный конвейер, видеонаблюдение, алгоритм, сетевые технологии, программное обеспечение

THE USE OF WIRELESS NETWORK TECHNOLOGIES IN COMPLEX OPERATING CONDITIONS OF BELT CONVEYOR LINES

N. Kiktev,
N. Chichikalo,
Y. Larina

Abstract. In the article the problem of establishing a surveillance system for the condition of the mining-technological object on the example of coal mine belt conveyor for further transfer information to the dispatcher. The algorithm of realization of this problem, fragments of software to solve this problem.

Keywords: mine conveyor, surveillance, algorithm, network technology, software

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАНУРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ УСТАНОВОК ВОДОПОСТАЧАННЯ

М. Т. ЛУТ, кандидат технічних наук
О. В. ОКУШКО, кандидат технічних наук,
Д. В. ЧАЇН, студент
e-mail: oaleks@ukr.net

Анотація. Розглянуто питання контролю технічного стану занурювальних електродвигунів установок водопостачання. Запропоновано оновлений варіант спеціалізованого діагностичного пристрою з використанням датчика зношення підшипників ковзання електродвигуна.

Ключові слова: артезіанська свердловина, електронасосний агрегат, занурювальний електродвигун, підшипники ковзання, діагностичний параметр, струм витікання, пристрій захисного вимикання

Джерелом водопостачання в сільському господарстві є переважно артезіанські свердловини, підйом води з яких здійснюється занурювальними електронасосними агрегатами. Вони мають значний напір, випускаються з різною подачею, що дає змогу вибрати насос, який найбільш відповідає розрахунковим показникам водоспоживання.

Конструкційно занурювальний електронасосний агрегат являє собою багатоступінчастий відцентровий насос, вал якого безпосередньо з'єднаний з водозаповненим електродвигуном типу ПЭДВ (АДП). Насосний агрегат має значну довжину (1...2 м) при відносно малому діаметрі. Цей розмір обмежується розміром обсадних труб свердловини, до якої опускається насос разом із напірним трубопроводом.

Обмотка статора занурювального електродвигуна [3] виконана проводом ПЭВВП з посиленою водостійкою ізоляцією (емаль та додаткове покриття з полівінілхлоридного пластикату). Будучи водостійкою, ізоляція обмотки статора водночас має низьку граничну температуру нагріву – не вище за +70 °С. До того ж, через малий діаметр та значну довжину двигуни нагріваються нерівномірно, при цьому зона більш високих температур знаходиться приблизно посередині статора.

Зазначені обставини зумовлюють високу чутливість занурювальних електродвигунів до перевантажень, обмежують кількість їх пусків протягом години (як правило, не більше, ніж три), а до захисту їх від аномальних режимів, зокрема від перенавантажень, висуваються особливі вимоги.

В електродвигунах застосовують підшипники ковзання, які змащуються водою, що заповнює порожнину статора. Підшипники досить

швидко зношуються, що дуже часто призводить до виходу електронасосних агрегатів із ладу.

Замовники, як правило, отримують комплект, який поєднує електронасосний агрегат, станцію (пристрій) керування та провід із посиленою ізоляцією для підключення занурювального електродвигуна до неї.

Мета досліджень – розробити простий і надійний пристрій контролю технічного стану занурювальних електродвигунів електронасосних агрегатів установок водопостачання.

Строк служби електронасосних агрегатів, які встановлюються в артезіанських свердловинах, до першого капітального ремонту за результатами обстежень коливається від 1,4 до 12 тис. год [3]. За такого широкого діапазону дуже важко визначити середній міжремонтний строк, і тому частина електродвигунів виходить з ладу ще до настання планового ремонту, а частину піднімають на поверхню у такому стані, що не потребує ремонту.

У першому випадку виникають, як правило, перебої у водопостачанні, а другий пов'язаний зі значними невиправданими затратами на демонтаж електронасосного агрегата, який перебуває у свердловині, беручи до уваги, що глибина залягання водоносного шару становить 160...250 м.

Затрати на підняття електронасосного агрегата практично дорівнюють вартості ремонту, тому доцільно здійснювати його тільки в тих випадках, коли досягнуто граничного зношення деталей та вузлів і подальша експлуатація насосного агрегата може призвести до аварії та виходу його з ладу (в 90 зі 100 випадків має місце аварія електродвигуна).

Отримати достовірну та об'єктивну інформацію про стан електродвигуна й насоса можна, здійснюючи їх періодичний чи постійний контроль.

Досвід свідчить, що в разі своєчасного проведення поточного ремонту електродвигуна (зокрема відновлення підшипників) він може пропрацювати до капітального ремонту ще один міжремонтний період.

Оскільки більшість відмов насосних агрегатів припадає на електродвигуни, очевидно є необхідність діагностування їх технічного стану, передусім найбільш уразливих їх вузлів. Такими вузлами є: обмотка статора (через низьку теплостійкість виткової ізоляції) та підшипники ковзання.

Як діагностичний параметр ізоляції обмотки статора приймають струм витікання на корпус двигуна і «землю», а стан підшипників контролюють за:

- симетрією розташування ротора в розточці статора для радіальних підшипників;
- осьовим (униз) переміщенням ротора двигуна для опорного підшипника.

Свого часу в інституті технічного сервісу УААН розроблено пристрій для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301 [4].

Пристрій (рис. 1) монтується поряд зі станцією (пристроєм) керування електронасосним агрегатом і підключається до неї джгутом з п'яти проводів (корпус окремо занулюється). Характерно, що до електродвигуна немає потреби прокладати додаткові проводи, оскільки схемою пристрою передбачене використання його проводів живлення.

Контролюючи технічний стан ізоляції обмотки статора електродвигуна, а також зношення радіальних і опорних підшипників та згин валу ротора, пристрій КИ-6301 дозволяє або забороняє подачу команди на увімкнення електродвигуна, що формується станцією керування. Контроль зношення підшипників можливий лише за умови обладнання двигуна спеціальним датчиком, що складається з двох відрізків проводу ПЭВВП діаметром 2 мм, діода Д 223Б та резистора МЛТ опором 2...3 кОм (рис. 2).

Технологія встановлення датчика викладена в інструкції [6] пристрою КИ-6301, що регламентує порядок його монтажу, налагодження та експлуатації.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження проводилися в лабораторіях експлуатації та діагностування електрообладнання з використанням моделі датчика зношення підшипників ковзання занурювального електродвигуна установок водопостачання. Застосовувалися електромеханічні пристрої захисного вимикання, що не потребують живлення.

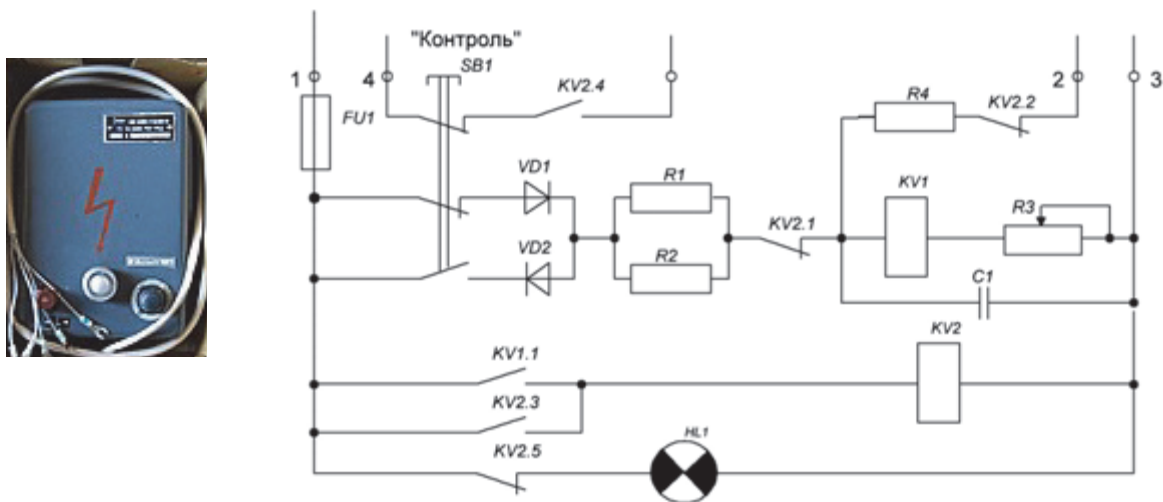


Рис. 1. Зовнішній вигляд та принципова електрична схема пристрою для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301

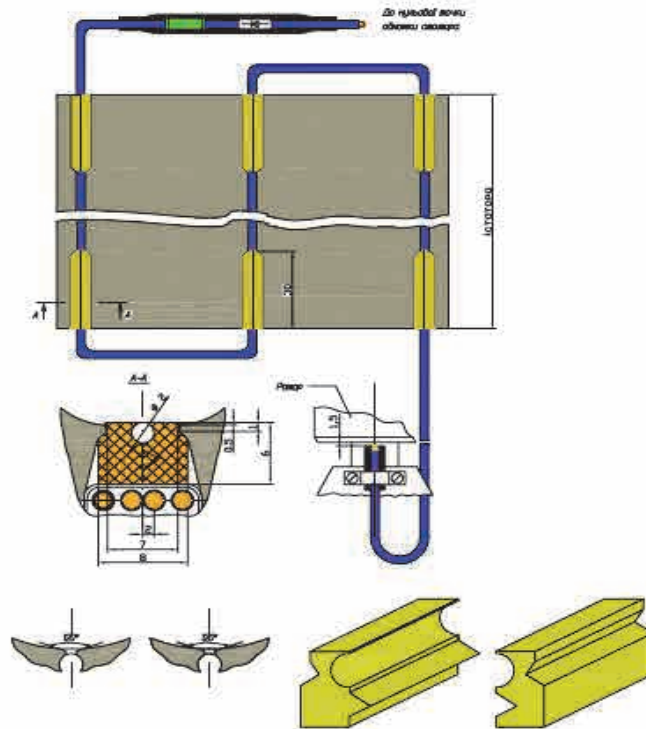


Рис. 2. Датчик контролю зношення підшипників ковзання занурювального електродвигуна

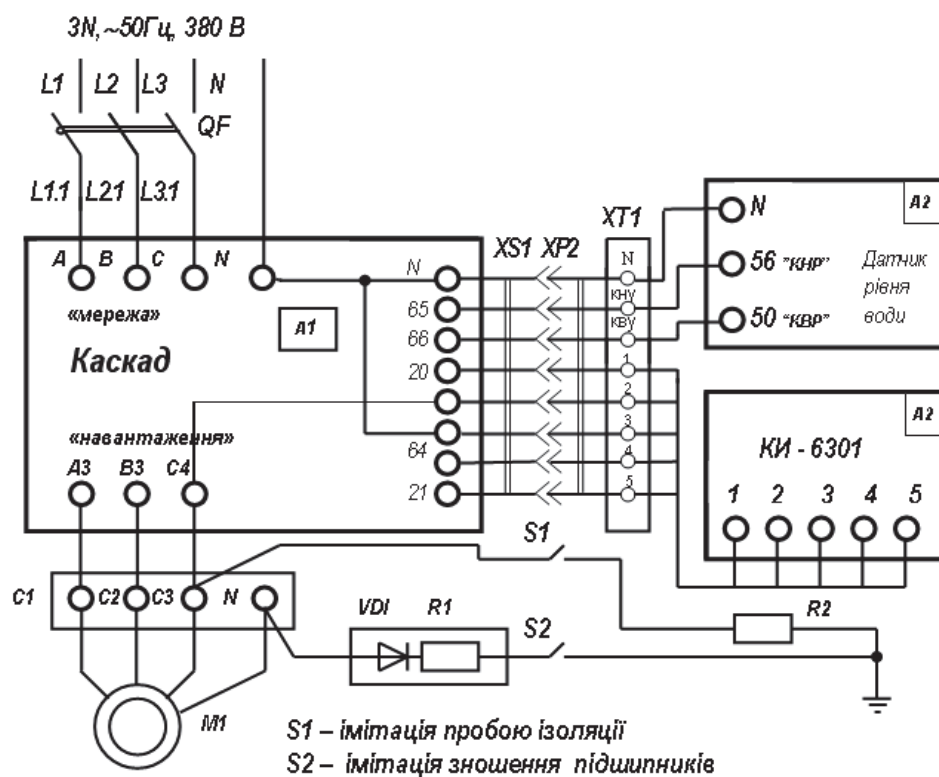


Рис. 3. Схема електрична з'єднань комплектного пристрою керування «Каскад» із пристроєм контролю технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301

Результати досліджень. Досвід експлуатації пристрою КИ-6301 свідчить, що він має ряд недоліків, зокрема щодо труднощів у налаштуванні. До того ж, із часом, контакти реле KV1 і KV2, що входять до складу пристрою, підгорають і за таких обставин важко очікувати надійної його роботи.

Пропонується альтернативний варіант пристрою для контролю технічного стану занурювальних електродвигунів, що будується на основі електромеханічних пристроїв захисного вимикання (ПЗВ). Принципова електрична схема пристрою наведена на рис. 4 (чотириполюсний ПЗВ) і на рис. 5 (двополюсний ПЗВ).

Перша із наведених схем працює наступним чином. Із замиканням контакту виконавчого реле KV1 станції керування електронасосним агрегатом (на прикладі станції керування «Каскад») через контакти ПЗВ проходить струм котушки електромагнітного пускача KM1, він спрацьовує і вмикає електродвигун насосного агрегата. Вимкнення електродвигуна настає за командою станції керування або в ручному режимі, або в автоматичному з використанням електродних датчиків рівня у резервуарі водонапірної башти чи датчика тиску (електроконтактного манометра). Якщо ж через пошкодження ізоляції обмотки статора електродвигуна виникає струм витікання через неї, значення якого перевищує струм спрацьовування ПЗВ, останній спрацьовує і вмикає електродвигун насосного агрегата.

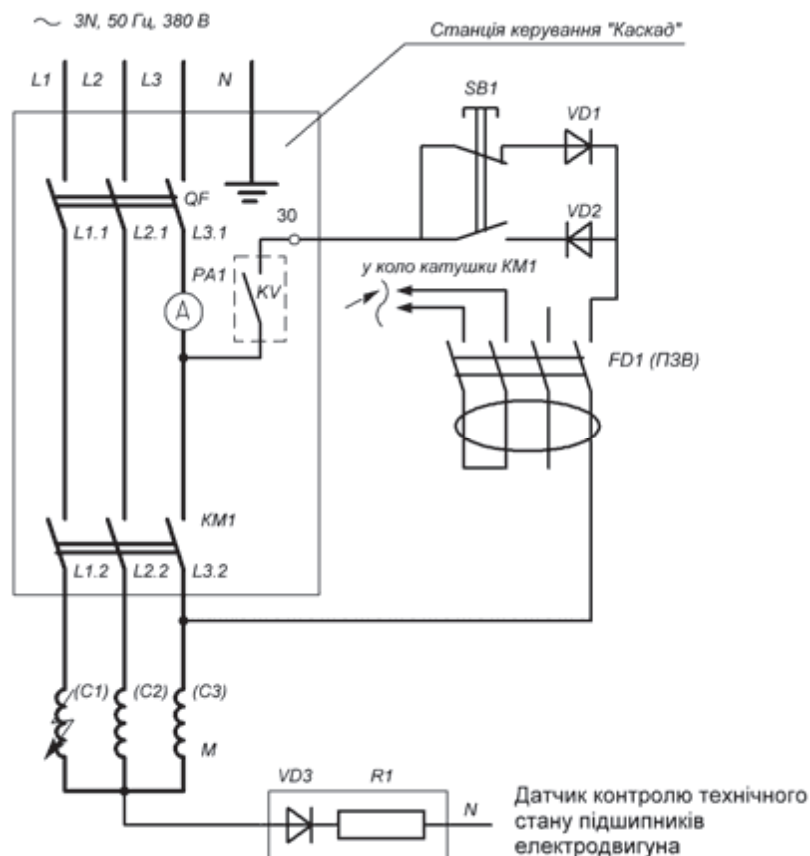


Рис. 4. Схема електрична принципова пристрою контролю технічного стану занурювальних електродвигунів на базі чотириполюсного пристрою захисного вимикання

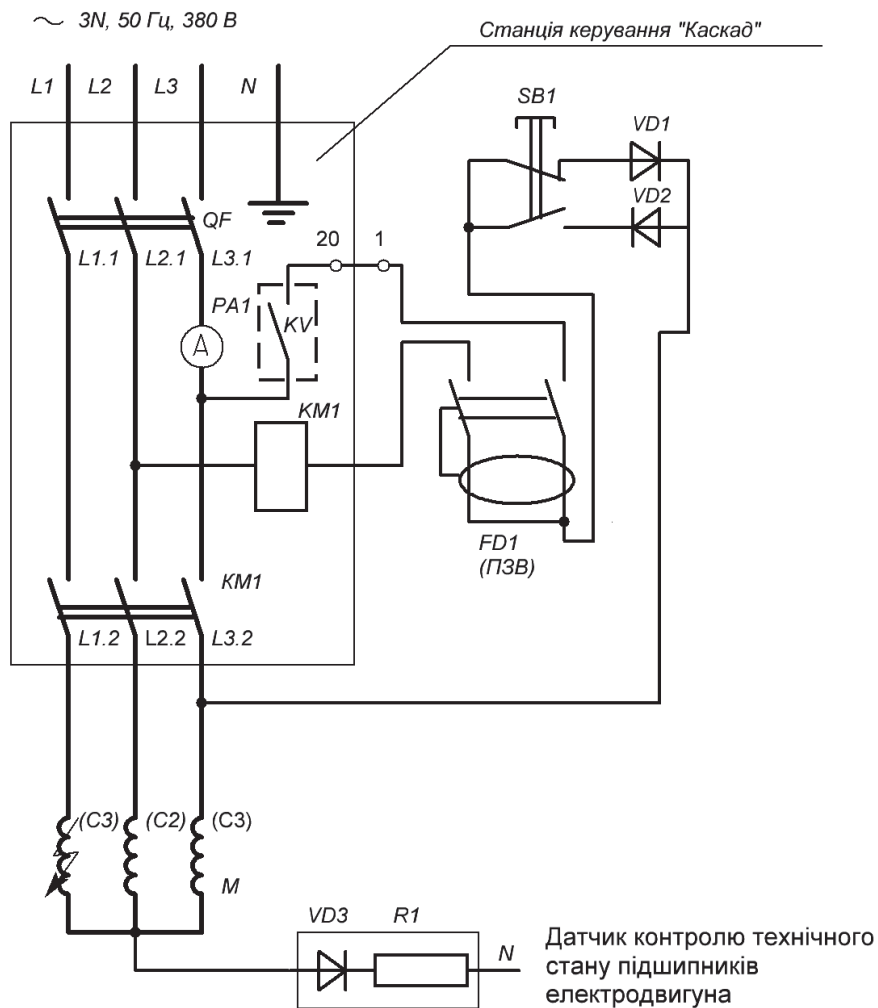


Рис. 5. Схема електрична принципова пристрою для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів на базі двополюсного пристрою захисного вимикання

Виходячи зі значної протяжності електропроводки до двигуна, хоч і виконаної проводом з посиленою ізоляцією (ВПП), в умовах експлуатації може виникнути природній струм витікання у кілька міліампер. Тому друга схема працює подібним чином із тією різницею, що струм витікання додається до струму споживаного котушкою електромагнітного пускача KM1 і проходить лише один раз через вікно магнітопроводу вбудованого у ПЗВ трансформатора струму нульової послідовності. ПЗВ спрацьовує і електродвигун насосного агрегата зрештою вимикається.

Відрізнити причину спрацювання ПЗВ через пошкодження ізоляції обмотки статора від спрацювання внаслідок зношення підшипників ковзання можна наступним чином. Натиснувши кнопку SB1, слід увімкнути ПЗВ. Якщо при цьому магнітний пускач KM1 спрацює, причиною є зношення підшипників ковзання електродвигуна (при натисненій кнопці SB1 зустрічно послідовно з діодом VD датчика зношення підшипників вмикається діод VD2, а тому кола для протікання струму витікання не

стає). З відпусканням кнопки SB1 ПЗВ спрацьовує, як і спрацьовує при натисненій кнопці, але коли струм вимикання виникає через пошкодження ізоляції обмотки статора занурювального електродвигуна.

В обох випадках необхідно підняти електронасосний агрегат із свердловини і встановити замість нього справний. Хоча електродвигун із частково зношеними підшипниками ковзання ще може деякий час працювати (така можливість передбачена схемою пристрою КИ-6301), однак краще своєчасно відправити електронасосний агрегат на ремонт, замінивши його новим або капітально відремонтованим.

Висновки

1. Найбільш уразливими елементами занурювального асинхронного електродвигуна є обмотка статора й підшипники ковзання.
2. Інформативним і універсальним діагностичним параметром занурювального асинхронного електродвигуна є струм витікання – реальний у разі пошкодження ізоляції обмотки статора і модельований – у разі зношення підшипників ковзання.
3. Застосування пристрою захисного вимикання дає змогу спростити схему пристрою контролю технічного стану занурювального асинхронного електродвигуна та підвищити надійність електронасосного агрегата в цілому.

Список літератури

1. Лут М. Т. Технології обслуговування та ремонту енергообладнання і засобів автоматизації / Лут М. Т., Радько І. П., Волошин С. М. . – К. : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 878 с.
2. Лут М. Т. Діагностування енергетичного обладнання : навч. посіб. / М. Т. Лут, В. А. Наливайко, І. П. Радько. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – К. : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014.– 590 с.
3. Костенко С. И. Эксплуатация погружных насосов / С. И. Костенко, А. М. Хан. – М. : Россельхозиздат, 1977. – 110 с.
4. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования / В. П. Таран. – К. : Техника, 1983. – 200 с.
5. Устройство управления комплектное «Каскад». Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
6. Инструкция по изготовлению и установке в погружные электродвигатели датчика контроля технического состояния. – К. : ВНИИВИД, 1976. –16 с.

References

1. Lut, M. T., Radko, I. P., Voloshyn, S. M. (2012). Tekhnologiyi obslugo-vuvannya ta remontu energoobladdnannya i zasobiv avtomatyzatsiyi [Technology maintenance and repair of power equipment and automation]. Kyiv, Ukraine: TOV «Ahrar Media Hrup», 878.
2. Lut, M. T., Nalyvaiko, V. A., Radko, I. P. (2014). Diagnostuvannya energetychnogo obladdnannya [Diagnosis of Power Equipment]. Kyiv, Ukraine: TOV «Ahrar Media Hrup», 590.

3. Kostenko, S. I., Han, A. M. (1977). Ekspluatatsiya pogruzhnyh nasosov [Operation of submersible pumps]. Moskva, Rossiia: Rossel'hozizdat, 110.
4. Taran, V. P. (1983). Diagnostirovaniye elektrooborudovaniya [electrical Diagnosis]. Kyiv, Ukraina: Tekhnika, 200.
5. Ustroistvo upravleniya komplektnoye «Kaskad». Tehnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsiyi [Complete “Cascade” control unit. Technical description and user manual].
6. Instruktsiya po izgotovleniyu i ustanovke v pogruzhnyye elektrodvigateli datchika kontrolya tehnikeskogo sostoianiya (1976). [Instructions for the production and installation Kyiv:VNIIVID, 16.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ УСТАНОВОК ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Н. Т. Лут,
А. В. Окушко,
Д. В. Чаин

Аннотация. Рассмотрены вопросы контроля технического состояния погружных электродвигателей установок водоснабжения. Предложен обновленный вариант специализированного диагностического устройства с использованием датчика износа подшипников скольжения электродвигателя.

Ключевые слова: артезианская скважина, электронасосный агрегат, погружной электродвигатель, подшипники скольжения, диагностический параметр, ток утечки, устройство защитного отключения

DEVICE CONDITION MONITORING SUBMERSIBLE ELECTRIC MOTORS WATER PLANTS

M. Lut,
O. Okushko,
D. Chayin

Abstract. The questions of condition monitoring dip thick electric installations water. The proposed update of specialized diagnostic device using sensor wear bearings motor.

Keywords: artesian well, electric pump unit, submersible motor, plain bearings, the diagnostic option, current leakage, emergency shutdown device

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАНУРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ УСТАНОВОК ВОДОПОСТАЧАННЯ

М. Т. ЛУТ, кандидат технічних наук
О. В. ОКУШКО, кандидат технічних наук,
Д. В. ЧАЇН, студент
e-mail: oaleks@ukr.net

Анотація. Розглянуто питання контролю технічного стану занурювальних електродвигунів установок водопостачання. Запропоновано оновлений варіант спеціалізованого діагностичного пристрою з використанням датчика зношення підшипників ковзання електродвигуна.

Ключові слова: артезіанська свердловина, електронасосний агрегат, занурювальний електродвигун, підшипники ковзання, діагностичний параметр, струм витікання, пристрій захисного вимикання

Джерелом водопостачання в сільському господарстві є переважно артезіанські свердловини, підйом води з яких здійснюється занурювальними електронасосними агрегатами. Вони мають значний напір, випускаються з різною подачею, що дає змогу вибрати насос, який найбільш відповідає розрахунковим показникам водоспоживання.

Конструкційно занурювальний електронасосний агрегат являє собою багатоступінчастий відцентровий насос, вал якого безпосередньо з'єднаний з водозаповненим електродвигуном типу ПЭДВ (АДП). Насосний агрегат має значну довжину (1...2 м) при відносно малому діаметрі. Цей розмір обмежується розміром обсадних труб свердловини, до якої опускається насос разом із напірним трубопроводом.

Обмотка статора занурювального електродвигуна [3] виконана проводом ПЭВВП з посиленою водостійкою ізоляцією (емаль та додаткове покриття з полівінілхлоридного пластикату). Будучи водостійкою, ізоляція обмотки статора водночас має низьку граничну температуру нагріву – не вище за +70 °С. До того ж, через малий діаметр та значну довжину двигуни нагріваються нерівномірно, при цьому зона більш високих температур знаходиться приблизно посередині статора.

Зазначені обставини зумовлюють високу чутливість занурювальних електродвигунів до перевантажень, обмежують кількість їх пусків протягом години (як правило, не більше, ніж три), а до захисту їх від аномальних режимів, зокрема від перенавантажень, висуваються особливі вимоги.

В електродвигунах застосовують підшипники ковзання, які змащуються водою, що заповнює порожнину статора. Підшипники досить

швидко зношуються, що дуже часто призводить до виходу електронасосних агрегатів із ладу.

Замовники, як правило, отримують комплект, який поєднує електронасосний агрегат, станцію (пристрій) керування та провід із посиленою ізоляцією для підключення занурювального електродвигуна до неї.

Мета досліджень – розробити простий і надійний пристрій контролю технічного стану занурювальних електродвигунів електронасосних агрегатів установок водопостачання.

Строк служби електронасосних агрегатів, які встановлюються в артезіанських свердловинах, до першого капітального ремонту за результатами обстежень коливається від 1,4 до 12 тис. год [3]. За такого широкого діапазону дуже важко визначити середній міжремонтний строк, і тому частина електродвигунів виходить з ладу ще до настання планового ремонту, а частину піднімають на поверхню у такому стані, що не потребує ремонту.

У першому випадку виникають, як правило, перебої у водопостачанні, а другий пов'язаний зі значними невиправданими затратами на демонтаж електронасосного агрегата, який перебуває у свердловині, беручи до уваги, що глибина залягання водоносного шару становить 160...250 м.

Затрати на підняття електронасосного агрегата практично дорівнюють вартості ремонту, тому доцільно здійснювати його тільки в тих випадках, коли досягнуто граничного зношення деталей та вузлів і подальша експлуатація насосного агрегата може призвести до аварії та виходу його з ладу (в 90 зі 100 випадків має місце аварія електродвигуна).

Отримати достовірну та об'єктивну інформацію про стан електродвигуна й насоса можна, здійснюючи їх періодичний чи постійний контроль.

Досвід свідчить, що в разі своєчасного проведення поточного ремонту електродвигуна (зокрема відновлення підшипників) він може пропрацювати до капітального ремонту ще один міжремонтний період.

Оскільки більшість відмов насосних агрегатів припадає на електродвигуни, очевидно є необхідність діагностування їх технічного стану, передусім найбільш уразливих їх вузлів. Такими вузлами є: обмотка статора (через низьку теплостійкість виткової ізоляції) та підшипники ковзання.

Як діагностичний параметр ізоляції обмотки статора приймають струм витікання на корпус двигуна і «землю», а стан підшипників контролюють за:

- симетрією розташування ротора в розточці статора для радіальних підшипників;
- осьовим (униз) переміщенням ротора двигуна для опорного підшипника.

Свого часу в інституті технічного сервісу УААН розроблено пристрій для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301 [4].

Пристрій (рис. 1) монтується поряд зі станцією (пристроєм) керування електронасосним агрегатом і підключається до неї джгутом з п'яти проводів (корпус окремо занулюється). Характерно, що до електродвигуна немає потреби прокладати додаткові проводи, оскільки схемою пристрою передбачене використання його проводів живлення.

Контролюючи технічний стан ізоляції обмотки статора електродвигуна, а також зношення радіальних і опорних підшипників та згин валу ротора, пристрій КИ-6301 дозволяє або забороняє подачу команди на увімкнення електродвигуна, що формується станцією керування. Контроль зношення підшипників можливий лише за умови обладнання двигуна спеціальним датчиком, що складається з двох відрізків проводу ПЭВВП діаметром 2 мм, діода Д 223Б та резистора МЛТ опором 2...3 кОм (рис. 2).

Технологія встановлення датчика викладена в інструкції [6] пристрою КИ-6301, що регламентує порядок його монтажу, налагодження та експлуатації.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження проводилися в лабораторіях експлуатації та діагностування електрообладнання з використанням моделі датчика зношення підшипників ковзання занурювального електродвигуна установок водопостачання. Застосовувалися електромеханічні пристрої захисного вимикання, що не потребують живлення.

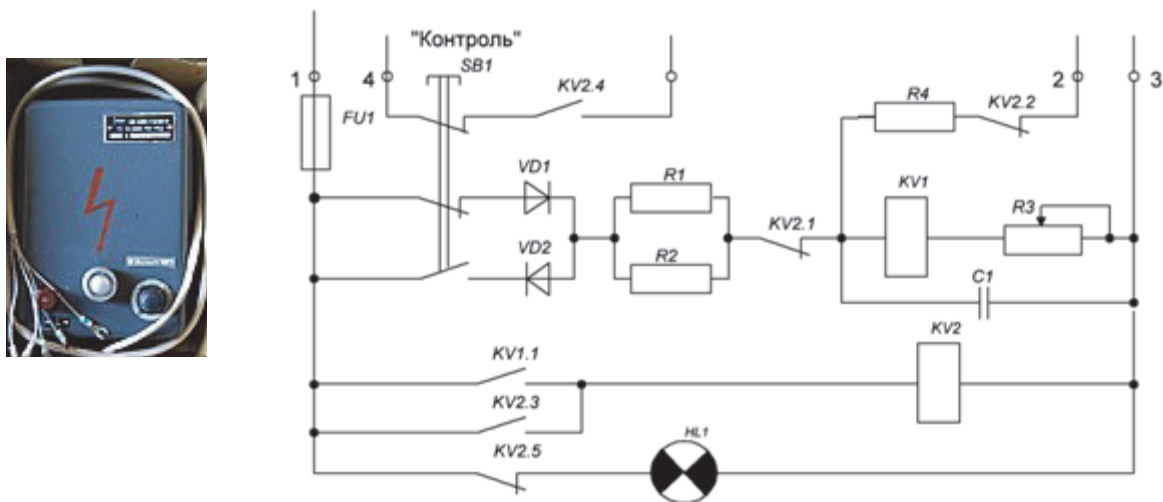


Рис. 1. Зовнішній вигляд та принципова електрична схема пристрою для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301

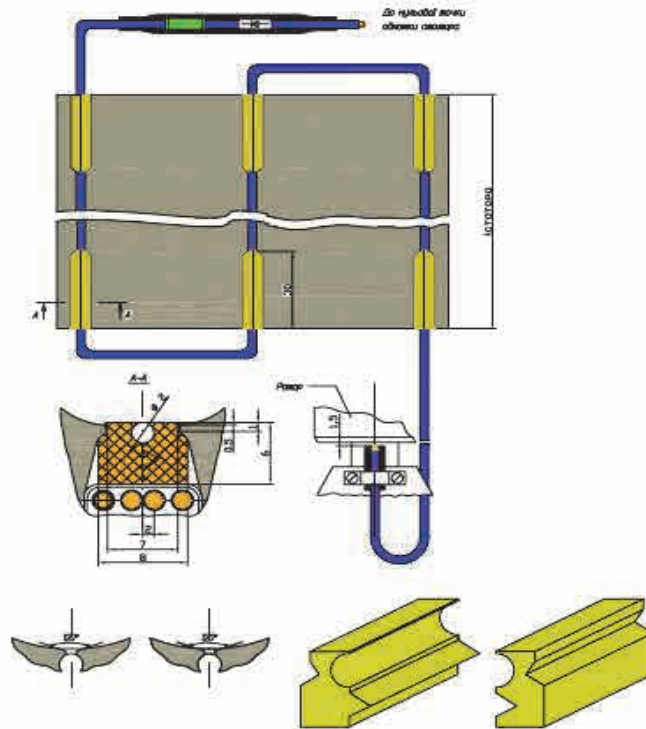


Рис. 2. Датчик контролю зношення підшипників ковзання занурювального електродвигуна

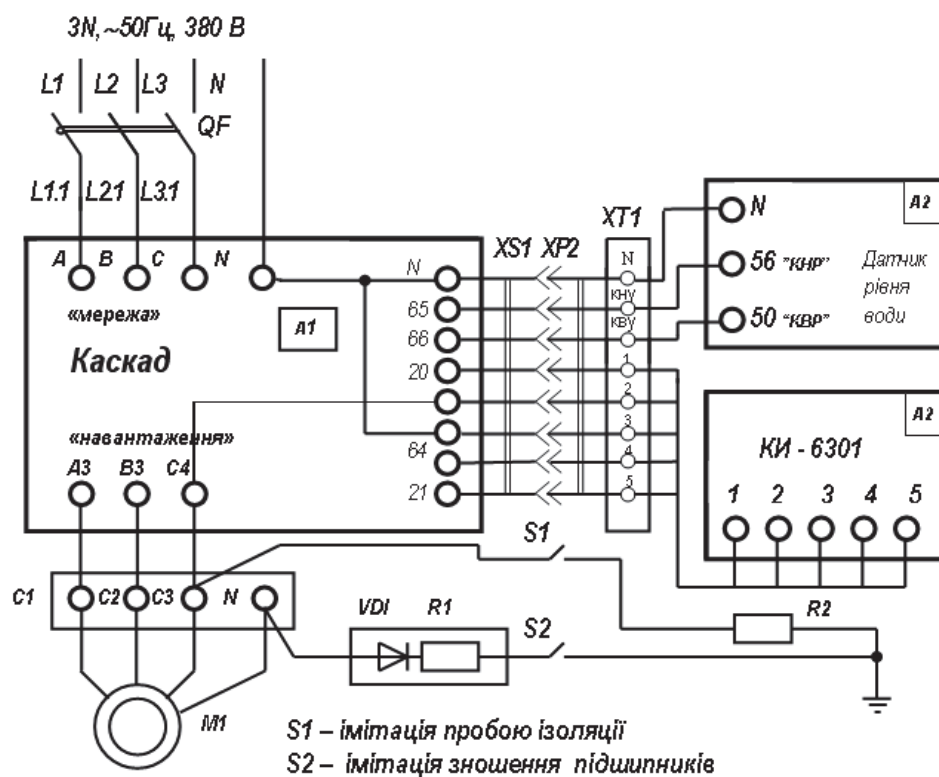


Рис. 3. Схема електрична з'єднань комплектного пристрою керування «Каскад» із пристроєм контролю технічного стану занурювальних електродвигунів КИ-6301

Пропонується альтернативний варіант пристрою для контролю технічного стану занурювальних електродвигунів, що будується на основі електромеханічних пристроїв захисного вимикання (ПЗВ). Принципова електрична схема пристрою наведена на рис. 4 (чотириполюсний ПЗВ) і на рис. 5 (двополюсний ПЗВ).

~ 3N, 50 Гц, 380 В

Станція керування "Каскад"

SB1

VD1

VD2

у коло катушки KM1

FD1 (ПЗВ)

QF

L1 L2 L3 N

L1.1 L2.1 L3.1

PA1

KV

30

KM1

L1.2 L2.2 L3.2

(C1) (C2) (C3)

M

VD3

R1

N

Датчик контролю технічного стану підшипників електродвигуна

209

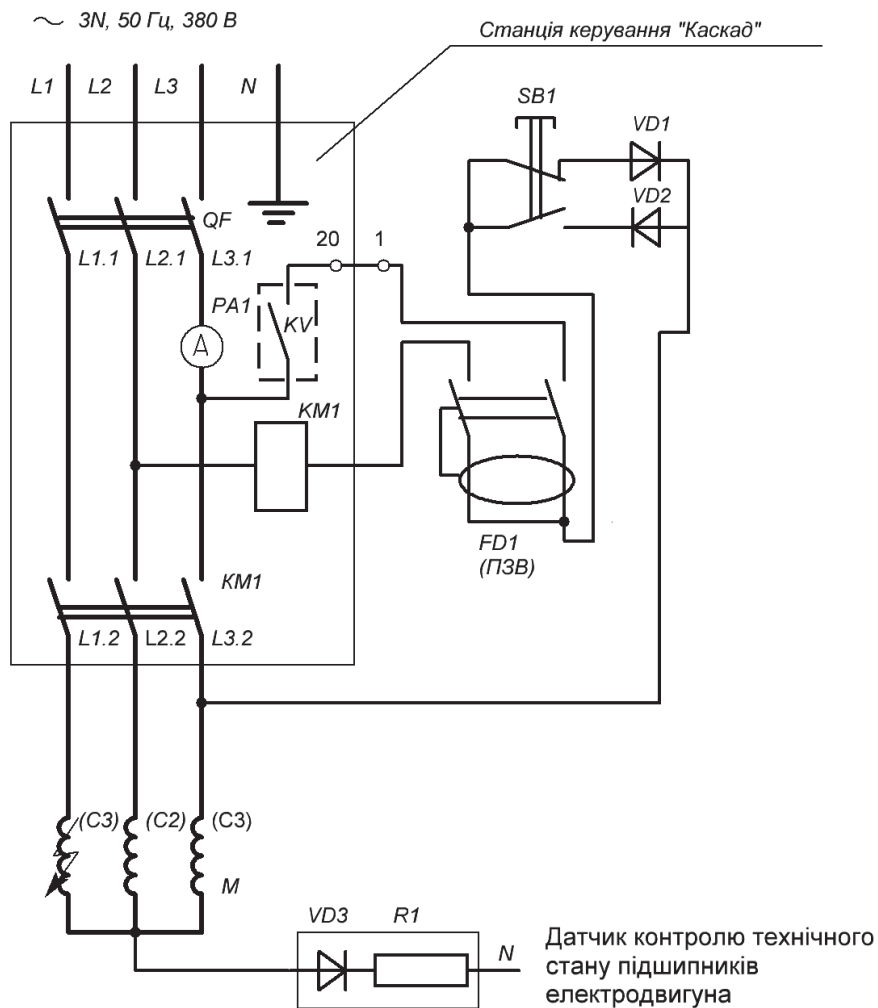


Рис. 5. Схема електрична принципова пристрою для діагностування технічного стану занурювальних електродвигунів на базі двополюсного пристрою захисного вимикання

Виходячи зі значної протяжності електропроводки до двигуна, хоч і виконаної проводом з посиленою ізоляцією (ВПП), в умовах експлуатації може виникнути природній струм витікання у кілька міліампер. Тому друга схема працює подібним чином із тією різницею, що струм витікання додається до струму споживаного котушкою електромагнітного пускача KM1 і проходить лише один раз через вікно магнітопроводу вбудованого у ПЗВ трансформатора струму нульової послідовності. ПЗВ спрацьовує і електродвигун насосного агрегата зрештою вимикається.

Відрізнити причину спрацювання ПЗВ через пошкодження ізоляції обмотки статора від спрацювання внаслідок зношення підшипників ковзання можна наступним чином. Натиснувши кнопку SB1, слід увімкнути ПЗВ. Якщо при цьому магнітний пускач KM1 спрацює, причиною є зношення підшипників ковзання електродвигуна (при натисненій кнопці SB1 зустрічно послідовно з діодом VD датчика зношення підшипників вмикається діод VD2, а тому кола для протікання струму витікання не

стає). З відпусканням кнопки SB1 ПЗВ спрацьовує, як і спрацьовує при натисненій кнопці, але коли струм вимикання виникає через пошкодження ізоляції обмотки статора занурювального електродвигуна.

В обох випадках необхідно підняти електронасосний агрегат із свердловини і встановити замість нього справний. Хоча електродвигун із частково зношеними підшипниками ковзання ще може деякий час працювати (така можливість передбачена схемою пристрою КИ-6301), однак краще своєчасно відправити електронасосний агрегат на ремонт, замінивши його новим або капітально відремонтованим.

Висновки

1. Найбільш уразливими елементами занурювального асинхронного електродвигуна є обмотка статора й підшипники ковзання.
2. Інформативним і універсальним діагностичним параметром занурювального асинхронного електродвигуна є струм витікання – реальний у разі пошкодження ізоляції обмотки статора і модельований – у разі зношення підшипників ковзання.
3. Застосування пристрою захисного вимикання дає змогу спростити схему пристрою контролю технічного стану занурювального асинхронного електродвигуна та підвищити надійність електронасосного агрегата в цілому.

Список літератури

1. Лут М. Т. Технології обслуговування та ремонту енергообладнання і засобів автоматизації / Лут М. Т., Радько І. П., Волошин С. М. . – К. : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 878 с.
2. Лут М. Т. Діагностування енергетичного обладнання : навч. посіб. / М. Т. Лут, В. А. Наливайко, І. П. Радько. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – К. : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014.– 590 с.
3. Костенко С. И. Эксплуатация погружных насосов / С. И. Костенко, А. М. Хан. – М. : Россельхозиздат, 1977. – 110 с.
4. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования / В. П. Таран. – К. : Техника, 1983. – 200 с.
5. Устройство управления комплектное «Каскад». Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
6. Инструкция по изготовлению и установке в погружные электродвигатели датчика контроля технического состояния. – К. : ВНИИВИД, 1976. –16 с.

References

1. Lut, M. T., Radko, I. P., Voloshyn, S. M. (2012). Tekhnologiyi obslugofovuvannya ta remontu energoobladdnannya i zasobiv avtomatyzatsiyi [Technology maintenance and repair of power equipment and automation]. Kyiv, Ukraine: TOV «Ahrar Media Hrup», 878.
2. Lut, M. T., Nalyvaiko, V. A., Radko, I. P. (2014). Diagnostuvannya energetychnogo obladdnannya [Diagnosis of Power Equipment]. Kyiv, Ukraine: TOV «Ahrar Media Hrup», 590.

3. Kostenko, S. I., Han, A. M. (1977). Ekspluatatsiya pogruzhnyh nasosov [Operation of submersible pumps]. Moskva, Rossiia: Rossel'hozizdat, 110.
4. Taran, V. P. (1983). Diagnostirovaniye elektrooborudovaniya [electrical Diagnosis]. Kyiv, Ukraina: Tekhnika, 200.
5. Ustroistvo upravleniya komplektnoye «Kaskad». Tehnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsiyi [Complete “Cascade” control unit. Technical description and user manual].
6. Instruktsiya po izgotovleniyu i ustanovke v pogruzhnyye elektrodvigateli datchika kontrolya tehnikeskogo sostoianiya (1976). [Instructions for the production and installation Kyiv:VNIIVID, 16.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ УСТАНОВОК ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Н. Т. Лут,
А. В. Окушко,
Д. В. Чаин

Аннотация. Рассмотрены вопросы контроля технического состояния погружных электродвигателей установок водоснабжения. Предложен обновленный вариант специализированного диагностического устройства с использованием датчика износа подшипников скольжения электродвигателя.

Ключевые слова: артезианская скважина, электронасосный агрегат, погружной электродвигатель, подшипники скольжения, диагностический параметр, ток утечки, устройство защитного отключения

DEVICE CONDITION MONITORING SUBMERSIBLE ELECTRIC MOTORS WATER PLANTS

M. Lut,
O. Okushko,
D. Chayin

Abstract. The questions of condition monitoring dip thick electric installations water. The proposed update of specialized diagnostic device using sensor wear bearings motor.

Keywords: artesian well, electric pump unit, submersible motor, plain bearings, the diagnostic option, current leakage, emergency shutdown device

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБРОБКИ В СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ НА СХОЖІСТЬ НАСІННЯ

С. М. УСЕНКО, кандидат технічних наук

О. В. НАУМЕНКО, асистент

e-mail: virf750@mail.ru

Анотація. Наведено результати досліджень впливу електричного поля високої напруженості постійного струму на схожість насіння. Встановлено ефективність дії електричного поля високої напруженості на схожість насіння залежно від строку відлежування перед посівом.

Ключові слова: електричне поле високої напруженості, строк відлежування, схожість насіння

Передпосівна обробка насіннєвого матеріалу є одним із найважливіших етапів у процесі вирощування сільськогосподарської продукції. На сучасному етапі розвитку зернової галузі передпосівна обробка передбачає декілька етапів, основними з яких є: протруювання насіння та обробка біологічними стимуляторами росту. В результаті протруювання насіння знищується шкідлива мікрофлора, яка призводить до захворюваності рослин після висіву, але, водночас, насіння покривається плівкою, що погіршує посівні якості. Тому насіння потребує додаткового обробітку біологічними стимуляторами росту. Така технологія передбачає використання хімічних та біологічних препаратів, які мають здатність накопичуватися, як у ґрунті так і в продукції рослинництва, що, урешті-решт, негативно впливає на екологічну ситуацію в природі та організм людини.

Прагнення до отримання високих врожаїв без завдання шкоди довкіллю спонукає до пошуку альтернативних способів передпосівної обробки. Останнім часом дедалі більше уваги науковців та виробників привертають фізичні способи обробки [2, 3, 9]. На сьогодні розроблені та використовуються способи обробки із застосуванням високих температур, рентгенівського і гамма-випромінювання, полів НВЧ. Та незважаючи на екологічність і ряд інших переваг, велика енергоємність та нечітка відтворюваність результатів заважають широкому впровадженню цих технологій.

Одним із напрямів, що розвиваються останнім часом, є застосування електричного поля високої напруженості [4, 8]. Під час такої обробки на насіннєву масу діє сукупність факторів – електричне поле високої напруженості, постійний струм провідності, іонізаційні процеси в насіннєвій масі та озон, які забезпечують одночасну стимуляцію ростових процесів і знезараження поверхні зерна від шкідливої мікрофлори [1, 7].

Мета дослідження – дослідити ефективність впливу електричного поля високої напруженості постійного струму на енергію проростання насіння та встановити ефективний строк відлежування насіння перед посівом.

Матеріали і методика досліджень. На кафедрі електроприводу та електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України було розроблено установку для обробки насіннєвої маси в електричному полі високої напруженості [6]. Насіннєва маса, що оброблюється, засипається в камеру обробки де знаходиться між високовольними електродами. При підведенні до електродів високої напруги насіннєва маса піддається комплексній дії декількох факторів, основними з яких є: постійний струм та озон [5]. Постійний струм, що проходить через насінини, збуджує ростові процеси, а озон, який утворюється в повітряних включеннях насіннєвої маси, знешкоджує шкідливу мікрофлору, запобігаючи захворюваності рослин після висіву.

Для проведення досліджень використовувалися чотири види круп'яних культур по три сорти: гречка (Вікторія, Єлена, Оранта), сориз (Кварц, Одеський 302, Титан), сорго (Одеський 205, Фаворит, Медовий), просо (Денвікське, Вітрило, Золотисте).

Дослідження проводили за температури повітря 18⁰С та вологості 75%. Режими обробки наведені в таблиці.

Режимні параметри обробки насіння в електричному полі

Режимні параметри	Напруженість поля, кВ/см	Густина струму, А/м ²	Час експозиції, хв
Гречка сорт Вікторія	2,1	0,2	3
Гречка сорт Єлена	3,8	0,12	3
Гречка сорт Оранта	3,2	0,18	2,2
Сориз сорт Кварц	5,2	0,0042	5
Сориз сорт Одеський 302	5,1	0,01	3
Сориз сорт Титан	5	0,0092	5
Сорго сорт Одеський 205	6,2	0,032	5
Сорго сорт Фаворит	6,3	0,031	3
Сорго сорт Медовий	5	0,05	3
Просо сорт Денвікське	4,8	0,045	3
Просо сорт Вітрило	5,2	0,076	3
Просо сорт Золотисте	3,2	0,1	3

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень було встановлено, що обробка насіння в електричному полі високої напруженості сприяє поліпшенню посівних якостей, але найкращий ефект досягається, якщо насіння висівати не одразу після обробки, а через певний час відлежування. Оброблене зерно кожної культури розділили на три партії, які висівали відповідно на другий, на сьомий та на десятий

день після обробки. Результати досліджень впливу обробки насіння круп'яних культур в електричному полі високої напруженості показники схожості подано на рис.1–4.

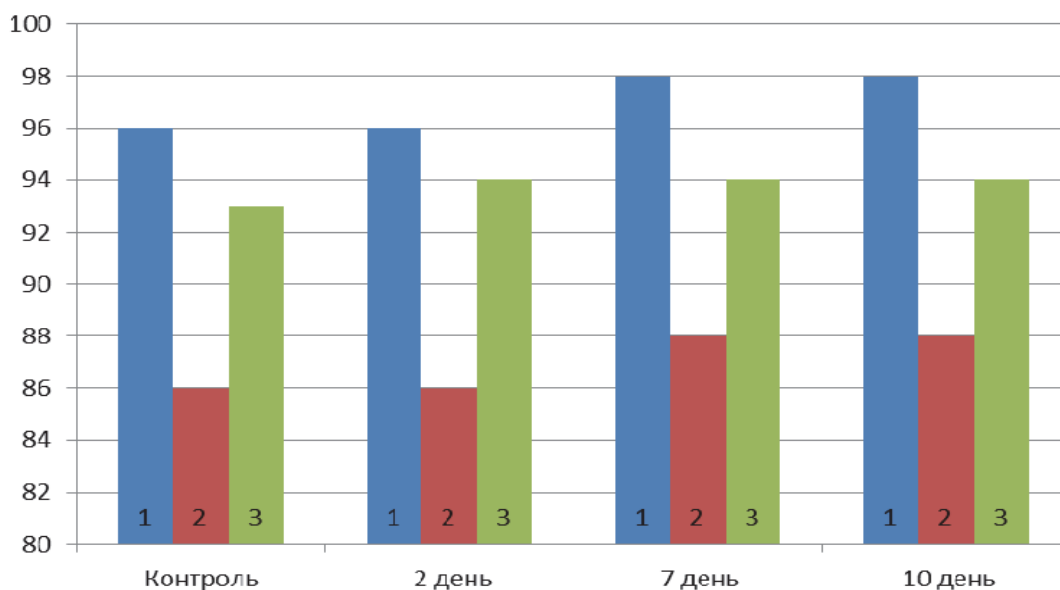


Рис. 1. Лабораторна схожість гречки, %:
1 – сорт «Вікторія»; 2 – сорт «Єлена»; 3 – сорт «Оранта»

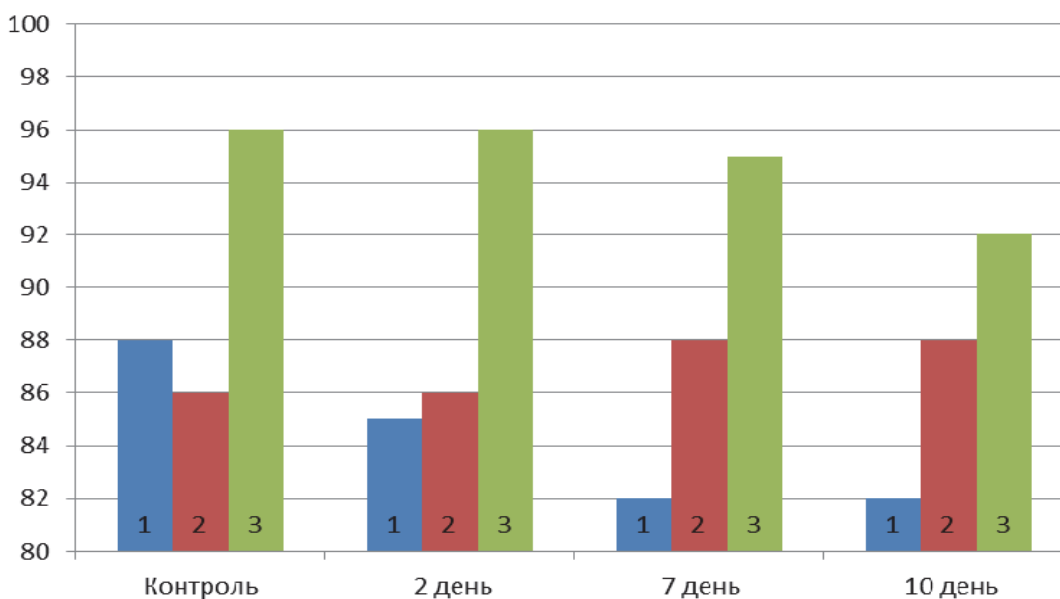


Рис. 2. Лабораторна схожість соризу, %:
1 – сорт «Кварц»; 2 – сорт «Одеський 302»; 3 – сорт «Титан»

Аналізуючи проведені дослідження, результати яких подано на рис. 1–8, було встановлено, що ефект стимуляції насіння після обробки в електричному полі високої напруженості постійного струму найкраще проявляється на сьомий – десятий день, порівняно з контрольним зразком (без обробки). Тобто, на десятий день найбільшою мірою включаються фізіологічні ростові процеси в насінині як результат дії обробки.

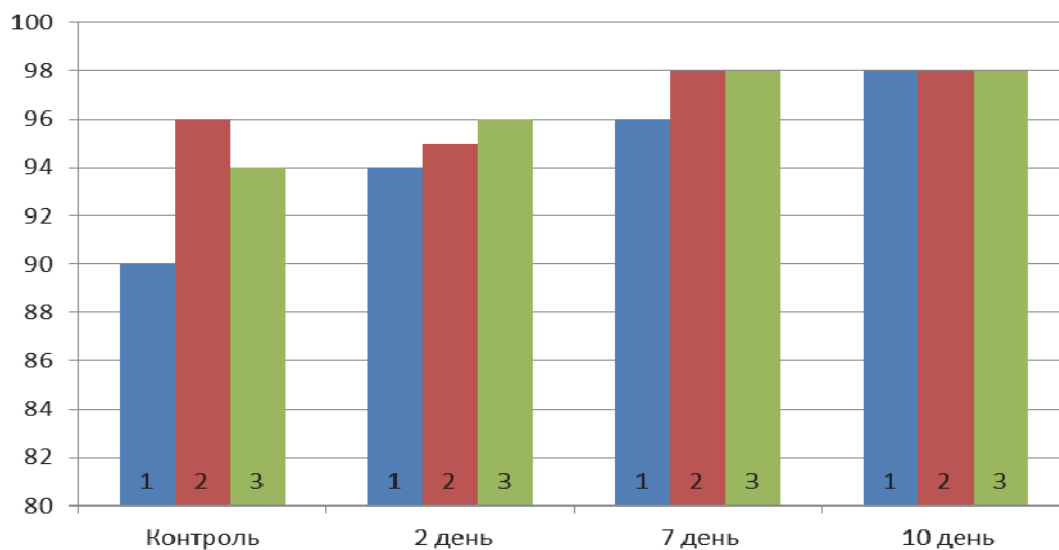


Рис. 3. Лабораторна схожість сорго, %:
1 – сорт «Одеський 205»; 2 – сорт «Фаворит»; 3 – сорт «Медовий»

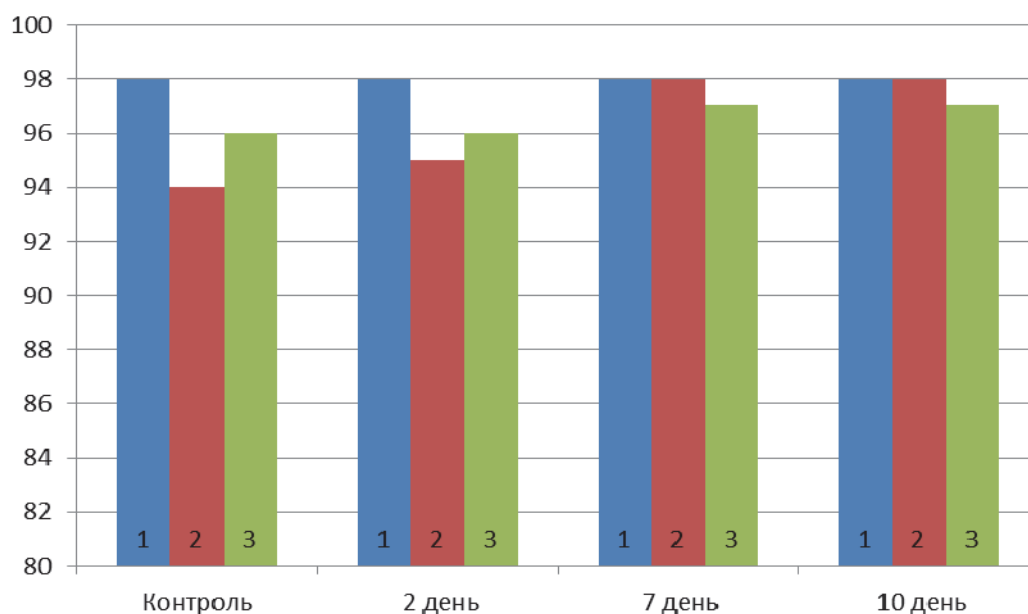


Рис. 4. Лабораторна схожість проса, %:
1 – сорт «Денвікське»; 2 – сорт «Вітрило»; 3 – сорт «Золотисте»

Так, дані досліджень свідчать, що проби насіння, висіяні на другий день після обробки, не показали суттєвої переваги за лабораторною схожістю, порівняно з контрольним варіантом, тоді як у зразках, закладених на сьомий та десятий день після обробки, ці показники значно покращилися по відношенню до контролю. Щодо культури соризу, то в сортів Кварц та Титан спостерігали негативну дію обробки в електричному полі високої напруженості на посівні якості насіння, що свідчить про різну сортову реакцію та необхідність додаткового вивчення та вдосконалення режимів обробки.

Найбільший приріст показників посівних якостей спостерігався в насінні зернового сорго сорту Одеський 205, де енергія проростання та лабораторна схожість збільшилися на 8% (з 90 до 98%), порівняно з контрольним варіантом (без обробки).

Висновки

Проведені дослідження дали змогу встановити, що в результаті обробки насіння в електричному полі високої напруженості покращуються його посівні якості, але для досягнення найкращого ефекту обробку насіння необхідно проводити за 7–10 днів до висіву. Відлежування насіння протягом 7–10 днів дає змогу найбільшою мірою активізувати ростові процеси в насінні, як результат дії обробки.

Список літератури

1. Александрова Н. Е. Действие озона на плесени хранения зерна / Н. Е. Александрова, О. И. Плясухина, А. В. Алексеева // Биохимия и качество зерна. – М. : ВНИИЗ, 1983. – Вып. 103. – С. 35–40.
2. Андрейчук В. К. Электрофизические методы предпосевной обработки семян различных сельскохозяйственных культур / В. К. Андрейчук, А. Е. Реднев, И. А. Потапенко // Применение электротехнических устройств в АПК: Тр. КГАУ. – Краснодар, 2000. Вып. 381(409). – С. 74–78.
3. Бадретдинов Б. Ф. Электротехнология и урожайность сельскохозяйственных культур / Бадретдинов Б. Ф., Тюр А. А., Каюмов Я. М. – Уфа : БГАУ, 2000. – С. 90–92. – (Электрификация сельского хозяйства. Вып. 2).
4. Берека О. М. Дія сильних електричних полів на насіння сільськогосподарських культур / О. М. Берека // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково-виробничий журнал. – К., 2007. – № 1 (20) – С. 23–29.
5. Берека О. М. Дослідження концентрації озону у зерновій масі під дією електричного поля високої напруги / О. М. Берека, С. М. Усенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Вип. 153. – С. 176–182.
6. Берека О. М. Установка для обробки насіння в електричному полі високої напруги / О. М. Берека, Л. С. Червінський, С. М. Усенко // Наука та інновація : зб. заверш. наук. та іннов. розробок НУБіП України. – 2010. – Вип. 1 (7). – С. 21.
7. Кирик М. М. Вплив озону на мікобіоту насіння озимої пшениці / М. М. Кирик, О. М. Берека, А. Б. Ковалишин, С. М. Усенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 140. – С. 121–127.
8. Наумов Е. М. Влияние послеуборочной обработки пшеницы в электростатическом поле на посевные качества семян / Наумов Е. М. – Челябинск, 1974. – С. 159–162. – (Электротехнология в сельском хозяйстве. Труды ЧИМЭСХ. Вып. 75).
9. Савельев В. А. Способы повышения качества посевного материала и методы его оценки [Использование физических факторов на примере зерновых культур] / В. А. Савельев. – Курган : Курганская гос. с.-х. акад. им. Т. С. Мальцева, 1995. – 170 с.

References

1. Aleksandrova, N. E., Plyasuhina, O. I., Alekseeva, A. V. (1983). Deystvie ozona na pleseni hraneniya zerna [The action of ozone on the grain storage mold]. Biochemistry and grain quality, 103, 35–40.
2. Andreychuk, V. K., Rednev, A. Ye., Potapenko, I. A. (2000). Elektrofizicheskiye metody predposevnoy obrabotki semyan razlichnyh selskohozyaystvennykh kultur [Electrophysical methods of pre-treatment of seeds of different crops]. The use of electrical devices in the AIC, 381 (409), 74–78.
3. Badretdinov, B. F., Tyur, A. A., Kayumov, Ya. M. (2000). Elektrotehnologiya i urozhaynost selskohozyaystvennykh kultur [Electro-technology and crop yields]. Elektrifikatsiya selskogo hozyaystva, 2, 90–92.
4. Bereka, O. M. (2007). Diya silnykh elektrichnykh poliv na nasinnya silskohospodarskykh kultur [The action of high electric fields on seed crops]. Electrification and Automation of Agriculture. Scientific Production Journal, 1 (20), 23–29.
5. Bereka, O. M., Usenko, S. M. (2010). Doslidzhennya kontsentratsii ozonu u zernoviy masi pid dieyu elektrychnoho polia vysokoi naprudy [Research ozone concentration in the grain mass under an electric field of high voltage] Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 153, 176–182.
6. Bereka, O. M., Chervinskiy, L. S., Usenko S. M. (2010). Ustanovka dlya obrobky nasinnya v elektrichnomu poli vysokoyi naprudy [Installation for seed treatment in an electric field of high voltage]. Science and innovation: Collection of complete scientific and innovative developments of NULES of Ukraine, 1 (7), 21.
7. Kyryk, M. M., Bereka, O. M., Kovalyshyn, A. B., Usenko, S. M. (2009). Vplyv ozonu na mikrobiotu nasinnya ozymoyi pshenytsi [The impact of ozone on microbiota of seed of winter wheat]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 140, 121–127.
8. Naumov, Ye. M. (1974). Vliyanie posleuborochnoy obrabotki pshenitsy v elektrostatcheskom pole na posevnyie kachestva semyan [Effect of post-harvest wheat in the electrostatic field on the quality of seeds sown]. Electrotechnology in agriculture. Papers of Chelyabinsk Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, 75, 159–162.
9. Savelyev, V. A. (1995). Sposoby povysheniya kachestva posevnogo materiala i metody yego otsenki (Ispolzovanie fizicheskikh faktorov na primere zernovyikh kultur) [Methods of improve the quality of the seed and its assessment methods (The use of physical factors on the example of cereals). Kurganskaya gos. s.-h. akad. im. T. S. Maltseva, 170.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН

**С. Н. Усенко,
А. В. Науменко**

Аннотация. *Представлены результаты исследований влияния электрического поля высокой напряженности постоянного тока на всхожесть семян. Установлена эффективность действия электрического поля высокой напряженности на всхожесть семян в зависимости от срока отлежки перед посевом.*

Ключевые слова: *электрическое поле высокой напряженности, срок отлежки, всхожесть семян*

STUDY OF INFLUENCE OF SEED TREATING BY HIGH ELECTRIC FIELD ON SEED GERMINATION

**S. Usenko ,
O. Naumenko**

Abstract. *The results of studies of the impact of seed treatment cereals in the electric field of high tension on germinations on seeds. The efficiency of the electric field of high intensity on seed germination by depend of bining time.*

Keywords: *the electric field of high intensity, bining time, seed germination*

УДК 662.613.12:62.112

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

В. А. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
А. Г. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
Полтавський політехнічний університет
О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Наведено результати дослідження термодинамічної ефективності процесу газифікації біомаси та оптимізації факторів, які впливають на роботу газогенератора.*

Ключові слова: *газифікація біомаси, генераторний газ, термодинамічна ефективність, диверсифікація природного газу*

Постійне підвищення ціни на традиційні види палива та дефіцит природного газу, який є основним енергоносієм для вироблення теплоти в комунальній енергетиці, гостро ставить питання про економію та диверсифікацію природного газу в Україні.

Важливим енергетичним ресурсом, за допомогою якого можна здійснити заміну значної кількості традиційних видів палива, що використовуються в системах комунального теплозабезпечення та в теплоенергетиці, є біомаса, у тому числі низькокалорійні відходи. Україна

Ключевые слова: *электрическое поле высокой напряженности, срок отлежки, всхожесть семян*

STUDY OF INFLUENCE OF SEED TREATING BY HIGH ELECTRIC FIELD ON SEED GERMINATION

**S. Usenko ,
O. Naumenko**

Abstract. *The results of studies of the impact of seed treatment cereals in the electric field of high tension on germinations on seeds. The efficiency of the electric field of high intensity on seed germination by depend of bining time.*

Keywords: *the electric field of high intensity, bining time, seed germination*

УДК 662.613.12:62.112

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

В. А. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
А. Г. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
Полтавський політехнічний університет
О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Наведено результати дослідження термодинамічної ефективності процесу газифікації біомаси та оптимізації факторів, які впливають на роботу газогенератора.*

Ключові слова: *газифікація біомаси, генераторний газ, термодинамічна ефективність, диверсифікація природного газу*

Постійне підвищення ціни на традиційні види палива та дефіцит природного газу, який є основним енергоносієм для вироблення теплоти в комунальній енергетиці, гостро ставить питання про економію та диверсифікацію природного газу в Україні.

Важливим енергетичним ресурсом, за допомогою якого можна здійснити заміну значної кількості традиційних видів палива, що використовуються в системах комунального теплозабезпечення та в теплоенергетиці, є біомаса, у тому числі низькокалорійні відходи. Україна

має значний потенціал сухої горючої біомаси, що оцінюється у 16 млн т. у. п. та може замінити близько 80% природного газу що спалюється для потреб комунального теплопостачання. Найпоширенішим видом біомаси на сьогодні є деревина. Але переважна частина доступної деревини вже використовується як паливо. Значний енергетичний потенціал, згідно з оцінкою експертів [1, 2], мають відходи сільськогосподарського виробництва та інші відходи.

Але при використанні традиційних технологій прямого спалювання такого палива виникають фактори, які призводять до зменшення ККД паливних установок, підвищення токсичності продуктів згорання та ускладнення процесу експлуатації установок, а саме:

- змінний склад і висока вологість палива;
- високий уміст хлору, сірки та висока зольність (за винятком деревини);
- низька температура плавлення золи біопалива.

Крім того, близько 70 % котлів в Україні працюють на природному газі [3], і перехід на пряме спалювання низькокалорійних твердих видів палива означає повну реконструкцію котельних та систем паливopідготовки і спалювання. Важливо також мати можливість дублювання палива, оскільки в Україні поки що відсутня інфраструктура для надійного швидкого переведення роботи котлів з біомаси на природний газ. Здійснити такий перехід у котельних із твердопаливними котлами проблематично. Більшість із недоліків прямого спалювання відсутні при переході на інший спосіб використання біомаси – її газифікації, отриманні генераторного газу та його використання як палива.

Мета досліджень – вибір оптимальних технічних способів використання біомаси як палива в котельних, аналіз роботи пристроїв для газифікації задля підвищення їх ефективності, визначення факторів впливу на утворення генераторного газу, термодинамічна оцінка роботи газогенераторів.

Матеріали і методика досліджень. Експериментальні дослідження процесу газифікації біомаси було проведено на газогенератор зі зрідженим киплячим шаром в лабораторії кафедри хімічних технологій Королівського технологічного інституту (КТН), м. Стокгольм, Швеція. Склад генераторного газу, отриманий при газифікації біомаси з використанням повітряного дуття з різних типів твердого палива, наведено в табл. 1.

Під час експериментальних досліджень змінювали склад твердого палива, вологість у зоні реакції шляхом введення в газогенератор водяної пари, температури що підтримується в реакторі за допомогою електронагрівальних елементів, типу дуття, коефіцієнт надлишку повітря у зоні реакції.

Генераторний газ після газогенератора очищували від пилу й рідкої фракції (смоли) та охолоджували перед хімічним аналізом і подальшим використанням у паливоспалювальному обладнанні.

1. Склад синтез-газу, одержаного з різних видів твердого палива

Вихідне паливо	Склад синтез-газу							Джерело	Теплота згорання Q_{H^p} , ккал/нм ³
	H ₂	CO ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	O ₂	N ₂		
Деревина суха	7,8	6	29,5	1,7	-	0,8	54,2	[4]	1240
Деревина волога, (W ^p до 20%)	16	9	20	2	0,2	1,5	41,3	[5]	1550
Солома житня	14,8	13,3	15,4	3,2	0,1	0,2	53	[6]	1121
Сухий гній	13,2	12,8	16,1	1,8	0,21	0,4	55,49	[6]	1017
Деревне листя	15,1	13,08	15,8	0,8	0	0,6	54,62	[6]	883

Результати досліджень. Процес газифікації та подальшого використання генераторного газу в котельних має ряд переваг порівняно з прямим спалюванням біомаси:

- можливість використання твердого палива з високою вологістю та низькою теплою згорання;
- зручне зберігання й транспортування генераторного газу;
- спрощення систем контролю та автоматизації процесу горіння й подачі палива;
- зменшення рівня утворення і концентрацій забруднюючих речовин у складі продуктів згорання – екологічні переваги;
- можливість більш точного підтримання співвідношення "паливо-повітря" в усьому діапазоні регулювання теплової потужності паливного обладнання; зменшення втрат теплоти з відхідними газами;
- можливість використання генераторного газу для отримання електричної енергії в когенераційних установках із тепловими двигунами;
- генераторний газ може бути використаний як сировина для вироблення чистих рідких видів палива;
- простота переходу роботи котлів із генераторного на природний газ без суттєвої реконструкції котельні, можливість роботи на суміші природного та генераторного газів.

Важливим є питання про оцінку ефективності роботи газогенератора. Зустрічаються різні способи оцінки результативності процесу газифікації:

- за складом і властивостями отриманого генераторного газу;
- за кількістю отриманого газу;
- за енергетичним потенціалом генераторного газу.

В основу запропонованої методики оцінки ефективності роботи газифікаційної установки було покладено тепловий і матеріальний баланс газогенератора.

Оцінку ефективності установки з газифікації пропонується здійснювати на основі поняття ефективності використання підведеної зовнішньої енергії. Запропонована величина враховує всі відмінності газифікаційного процесу від інших теплових процесів та особливості його реалізації.

Для формування рівняння визначення ефективності процесу було складено рівняння теплового балансу процесу у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{in}} = \sum_{i=1}^n Q_i^{\text{out}}, \quad (1)$$

де Q_i^{in} – енергетичний потік на вході до газифікаційної установки, Вт;

Q_i^{out} – енергетичний потік на виході з газифікаційної установки, Вт.

Якщо фізична теплота генераторного газу втрачається під час його очищення від пилу і смоли, а будь-яких відборів газу немає, то ефективність пропонується визначати згідно із залежністю:

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot Q_{\text{H sg}}^{\text{p}}}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + (Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де V_{sg} – загальний вихід генераторного газу з 1 кмоль біомаси, кмоль;

$Q_{\text{H bio}}^{\text{p}}, Q_{\text{H bio}}^{\text{p}}$ – нижча теплота згорання твердого палива (біомаси) та синтез-газу, відповідно, кДж/кмоль;

$Q_{\text{ex}}^{\text{bio}}, Q_{\text{ex}}^{\text{air}}, Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}$ – енергія, що витрачається на підігрівання твердого палива, дуттєвого повітря (суміші кисню та азоту), генерування водяної пари, відповідно, що припадає на 1 кмоль біомаси що газифікується, кДж/кмоль;

Q_{ex} – додаткова енергія, що надходить до газогенератора від зовнішніх джерел, кДж/кмоль.

Якщо фізична теплота генераторного газу використовується корисно, то ефективність слід визначати за залежністю (3):

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot (Q_{\text{H sg}}^{\text{p}} + Q_{\text{sg}}')}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + (Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}}} \cdot 100, \quad (3)$$

де Q_{sg}' – фізична теплота генераторного газу, кДж/кмоль.

Виразимо загальну енергію, що підводиться до газогенератора у вигляді:

$$(Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}} = \Sigma Q_{\text{ex}}^{\text{i}}. \quad (4)$$

Частина додаткової енергії, що необхідна для роботи газогенератора, може бути отримана безпосередньо з генераторного газу, що при ньому утворюється. При цьому потенціал палива, що відбирається для потреб газифікації, буде більший на величину ефективності використання цього газу. Тоді рівняння (3) набуде вигляду:

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot (Q_{\text{H sg}}^{\text{p}} + Q_{\text{sg}}') \cdot (1 - r)}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + \Sigma Q_{\text{ex}}^{\text{i}} \cdot (1 - r \cdot \eta_r)} \cdot 100, \quad (5)$$

де r – частка газу, що витрачається на власні потреби, част. од.;

η_r – ефективність використання енергії, на власні потреби, част. од.

Якщо в системі використовують рециркуляцію генераторного газу чи продуктів його згорання, то ефективність слід визначати за залежністю:

$$\eta = \frac{V_{sg} \cdot (Q_{Hsg}^p + Q_{sg}') \cdot (1 - q - f - r)}{Q_{Hbio}^p + \Sigma Q_{ex}^i \cdot (1 - r \cdot \eta_r)} \cdot 100, \quad (6)$$

де q – частка рециркуляції генераторного газу в системі, част. од.;

f – частка генераторного газу що спалюється для рециркуляції продуктів згорання, част. од.

Для випадку, коли процес газифікації підтримується за рахунок зовнішнього джерела енергії (η_{ext}), величина частки газу на власні потреби $r = 0$. Якщо ж для підтримання процесу використовують безпосередньо вироблений генераторний газ (η_{int}), то $r > 0$.

У випадку повної самозабезпеченості процесу газифікації має бути виконана така умова:

$$\Sigma Q_{ex}^i = B_{sg}^p \cdot Q_{Hsg}^p \cdot r \cdot \eta_r. \quad (7)$$

Для оцінки окремих факторів процесу газифікації на запропоновану величину термодинамічної ефективності роботи газогенератора було виконано експериментальні дослідження процесу газифікації деревини. Для отримання моделі використовувався метод планування експерименту.

Незалежними факторами – параметрами роботи газогенератора, було вибрано наступні:

X_1 – коефіцієнт надлишку повітря, у процесі газифікації (α_{bio});

X_2 – температура в реакційній зоні газогенератора, підтримувалася за рахунок компенсації втрат теплоти від газогенератора зовнішніми або внутрішніми джерелами енергії (t_{react} , °C);

X_3 – відносна вологість біомаси, яка надходить у газогенератор (W_{bio} , %).

Як параметр оптимізації вибрано термодинамічний коефіцієнт корисної дії газифікаційної установки (η).

Після вибору варіантів повного факторного експерименту типу 2^3 було побудовано матрицю планування експерименту 2^3 , вибрано основний рівень, інтервали варіювання, максимальне та мінімальне значення факторів у натуральних і кодованих значеннях у межах експериментальної області факторного простору. Характеристика факторів наведена в табл. 2.

2. Характеристика факторів експерименту 2^3

Характеристика факторів	Фактори		
	$X_1 (\alpha_{bio})$	$X_2 (t_{react}, ^\circ C)$	$X_3 (W_{bio}, \%)$
Основний рівень	0,275	900	27,5
Інтервал варіювання	0,225	100	22,5
Максимальний рівень фактора	0,5 (+1)	1000 (+1)	50 (+1)
Мінімальний рівень фактора	0,05 (-1)	800 (-1)	5 (-1)

Опрацювання отриманих результатів і визначення коефіцієнтів, які характеризують вплив окремих факторів, а також їх спільний вплив на параметр оптимізації, дають можливість отримати функцію відклику –

математичну модель, за якою можна оцінювати залежність основного термодинамічного показника ефективності роботи газогенераторів у межах прийнятої області факторного простору від вибраних параметрів роботи газогенератора. Перевірка адекватності отриманої лінійної функції відгуку за критерієм Фішера дала позитивний результат.

Під час аналізу виду залежності факторів впливу на параметр оптимізації було визначено, що найбільш точно такий взаємозв'язок відображує рівняння другого порядку. Тому така модель вибрана за основу.

Загальне рівняння, що враховує вплив усіх факторів впливу має вигляд:

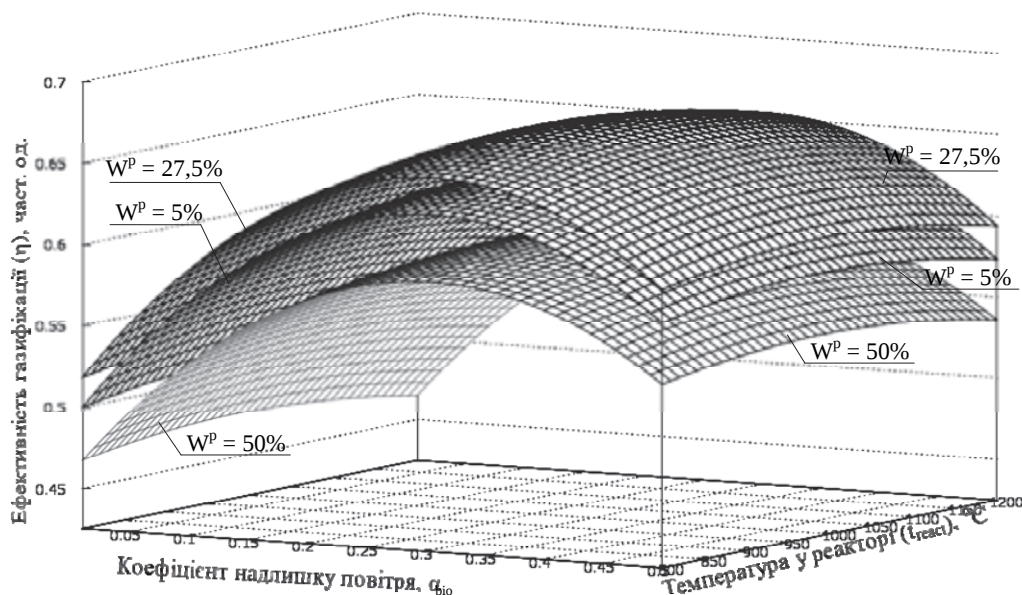
$$\eta = 0,5923 \cdot (-2,5822 \cdot \alpha_{\text{bio}}^2 + 1,5792 \cdot \alpha_{\text{bio}} + 0,833) \cdot (-0,000137 \cdot W^p{}^2 + 0,00605 \cdot W^p + 0,9801) \cdot (0,0000005 \cdot t_{\text{react}}^2 + 0,0010706 \cdot t_{\text{react}} + 0,4778).$$

За допомогою методу "крутого сходження" виконано аналіз отриманого рівняння та пошук оптимальних умов газифікації для досягнення максимальної ефективності процесу. Обмежуючі умови були прийняті наступними: $\alpha_{\text{bio}} = 0,01 \dots 0,5$; $W^p = 5 \dots 50$ % мас.; $t_{\text{react}} = 800 \dots 1000$ оС [4].

Результати аналізу свідчать, що оптимальними умовами газифікації є наступні: $\alpha_{\text{bio}} = 0,3$; $W^p = 22$ % мас.; $t_{\text{react}} = 990$ ° С. Відповідно до розробленої та використаної моделі, ефективність процесу газифікації біомаси за таких умов становитиме 71 %.

Необхідної температури можна досягти за рахунок підведення теплоти до реактора з використанням генераторного газу, що утворюється у процесі. Необхідної вологості можна досягти за рахунок додаткового зволоження чи попереднього висушування біомаси.

На рисунку подано залежність ефективності процесу газифікації від температури процесу та коефіцієнта надлишку повітря за різної вологості біомаси.



Графік зміни ефективності газифікації біомаси вологістю 5 %, 27,5 %, 50 % у діапазоні температур 800 °С...1200 °С

Висновки

У роботі запропоновано залежність для визначення коефіцієнта корисної дії установки з газифікації, що враховує додаткові надходження та втрати теплоти у процесі. Такий спосіб визначення ККД газогенератора враховує неадіабатні умови протікання процесу й значно розширює перелік параметрів, що можуть бути використані для підвищення ефективності отримання генераторного газу.

За допомогою методу планування експерименту виконано аналіз впливу основних параметрів газифікації на його ефективність.

На основі отриманих даних складено рівняння регресії для визначення ефективності процесу газифікації залежно від вологості біомаси, коефіцієнта надлишку повітря й температури процесу.

За допомогою методу "крутого сходження" визначено оптимальні умови протікання газифікаційного процесу в заданих межах розгляду задачі, що гарантує досягнення максимальної ефективності установки.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : схвалено Кабінетом Міністрів України 24.07.2013. – К., 2013. – 166 с.
2. Гелету́ха Г. Г. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зна, М. М. Жовмі́р, Ю. Б. Матве́єв // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2012. – Вип.153. – С. 36–41.
3. Про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж України : статистичний бюлетень. – К. : Державна служба статистики України, 2012. – 20 с.
4. Колієнко В. А. Підвищення ефективності газифікації біомаси і використання генераторного газу в теплових установках : дис. ... канд. техн. наук : 27.06.2015 / Колієнко Володимир Анатолійович. – Полтава, 2015. – 164 с.

References

1. Energy Strategy of Ukraine till 2030. Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
2. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Zhovmir, M. M., Matvieiev, Iu. B. (2010). Energetychnyi potentsial biomasy v Ukrayini [The energy potential of biomass in Ukraine]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 153, 36–41.
3. Pro osnovni pokaznyky roboty opalyvalnykh kotelen i teplovykh merezh Ukrainy : statystychnyi byuleten [On the main indicators of heating boilers and heating systems Ukraine: statistical bulletin] (2012). Kyiv, Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 20.
4. Kolienko, V. A. (2015). Pidvyshchennya efektyvnosti gazyfikatsiyi biomasy i vykorystannya generatornogo gazu v teplovykh ustanovkakh [Improving the efficiency of biomass gasification and the use of generator gas in thermal plants]. Poltava, 164.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ

**В. А. Колиенко,
А. Г. Колиенко
Е. В. Шелиманова,**

Аннотация. Представлены результаты исследований термодинамической эффективности процесса газификации биомассы и оптимизации факторов, которые влияют на работу газогенератора.

Ключевые слова: газификация биомассы, генераторный газ, термодинамическая эффективность, диверсификация природного газа

THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF BIOMASS GASIFICATION

V. Koliyenko,
A. Koliyenko
E. Shelimanova,

Abstract. The results of investigation of the thermodynamic effective operation of biomass gasification process and optimizeftion of the factors that affect the gas generator's performance are given.

Keywords: gasification of biomass, syngas, thermodynamic efficiency, diversification of natural gas

УДК 621.3.067

АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ РЕГУЛЯТОРА З ШІП ПІД ЧАС РОБОТИ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

I. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*
e-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Наведено результати аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача для асинхронного електропривода.

Ключові слова: вищі гармоніки, напруга, широтно-імпульсний перетворювач, спектральний склад, форма кривої напруги

Згідно з основами теорії кіл дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів, легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера-Фур'є. Відомо, що будь-яка періодична функція $f(\omega t)$, що задовольняє умови Діріхле, може бути описана тригонометричним рядом [1]:

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t),$$

де $\omega = 2\pi/T$ – основна частота, якщо період функції $T = 2\pi$, то $\omega = 1$;

n – номер вищої гармоніки;

a_0 , a_n , b_n – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.

Аннотация. Представлены результаты исследований термодинамической эффективности процесса газификации биомассы и оптимизации факторов, которые влияют на работу газогенератора.

Ключевые слова: газификация биомассы, генераторный газ, термодинамическая эффективность, диверсификация природного газа

THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF BIOMASS GASIFICATION

V. Koliyenko,
A. Koliyenko
E. Shelimanova,

Abstract. The results of investigation of the thermodynamic effective operation of biomass gasification process and optimizeftion of the factors that affect the gas generator's performance are given.

Keywords: gasification of biomass, syngas, thermodynamic efficiency, diversification of natural gas

УДК 621.3.067

АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ РЕГУЛЯТОРА З ШІП ПІД ЧАС РОБОТИ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

I. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*
e-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Наведено результати аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача для асинхронного електропривода.

Ключові слова: вищі гармоніки, напруга, широтно-імпульсний перетворювач, спектральний склад, форма кривої напруги

Згідно з основами теорії кіл дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів, легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера-Фур'є. Відомо, що будь-яка періодична функція $f(\omega t)$, що задовольняє умови Діріхле, може бути описана тригонометричним рядом [1]:

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t),$$

де $\omega = 2\pi/T$ – основна частота, якщо період функції $T = 2\pi$, то $\omega = 1$;

n – номер вищої гармоніки;

a_0 , a_n , b_n – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.

Коефіцієнти a_0 , a_n , b_n можна знайти за допомогою наступних інтегралів:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t);$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t);$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t).$$

Зазвичай періодичні функції часу в електротехніці, до яких належать криві напруги та струму перетворювачів, симетричні відносно осі абсцис та початку координат, оскільки вони задовольняють вимоги:

$$f(\omega t) = -f(\omega t + \pi);$$

$$f(\omega t) = -f(-\omega t).$$

Тоді функція розкладається в ряд, що не містить постійної складової, парних гармонік і косинусів [1]:

$$a_0 = 0;$$

$$a_n = 0.$$

Мета досліджень – поліпшення якості гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів регульованого асинхронного електропривода.

Матеріали і методика досліджень. Аналітичні дослідження спектрального складу вихідної напруги напівпровідникового перетворювача із широтно-імпульсним керуванням було здійснено використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму.

Результати досліджень. Вихідна напруга регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача під час роботи на активне навантаження має вигляд, наведений на рис. 1.

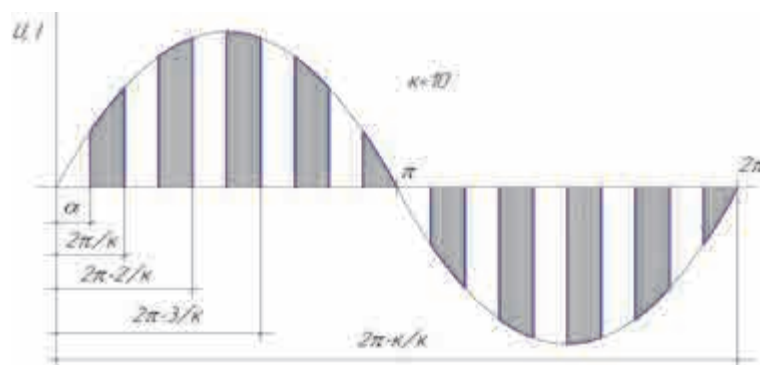


Рис. 1. Форма кривих напруги і струму перетворювача на базі ШІП під час роботи на активне навантаження [2]:

k – кратність частоти комутації транзисторів f_k до основної частоти струму джерела живлення f_1

Досліджувана функція має вигляд синусоїди $f(\omega t)$ з розривами, тобто на інтервалах:

$$\left. \begin{array}{l} c+\alpha; \\ 2\pi\frac{1}{k}+2\pi\frac{1}{k}+\alpha; \\ 2\pi\frac{2}{k}+2\pi\frac{2}{k}+\alpha; \\ 2\pi\frac{3}{k}+2\pi\frac{3}{k}+\alpha; \\ \dots\dots\dots \\ 2\pi\frac{c-1}{k}+2\pi\frac{c-1}{k}+\alpha. \end{array} \right\} f(\omega t) = 0; \quad \left. \begin{array}{l} \alpha+2\pi\frac{1}{k}; \\ 2\pi\frac{1}{k}+\alpha+2\pi\frac{2}{k}; \\ 2\pi\frac{2}{k}+\alpha+2\pi\frac{3}{k}; \\ 2\pi\frac{3}{k}+\alpha+2\pi\frac{4}{k}; \\ \dots\dots\dots \\ 2\pi\frac{c-1}{k}+\alpha+2\pi\frac{c}{k}. \end{array} \right\} f(\omega t) = U_m \sin(\omega t).$$

У загальному випадку можна записати:

$$2\pi\frac{c-1}{k}+2\pi\frac{c}{k}+\alpha, \quad f(\omega t) = 0;$$

$$2\pi\frac{c-1}{k}+\alpha+2\pi\frac{c}{k}, \quad f(\omega t) = U_m \sin(\omega t),$$

де $c = 1, 2, 3, \dots, k$.

Функція $f(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$ симетрична відносно осі абсцис та початку координат, звідси відсутні коефіцієнти постійної складової та косинусів, а також парні гармоніки.

Формула для визначення синусного коефіцієнта матиме вигляд:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \sum_{c=1}^c \int_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} U_m \sin(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t).$$

Вираз $\sin(\omega t) \sin(n\omega t)$ замінимо на рівнозначний

$$\frac{1}{2} [\cos(n-1)\omega t - \cos(n+1)\omega t]$$

і проведемо інтегрування:

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \int_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} \cos(n-1)\omega t d\omega t - \cos(n+1)\omega t d(\omega t) = \\ &= \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \left[\frac{1}{n-1} \sin(n-1)\omega t \Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} - \frac{1}{n+1} \sin(n+1)\omega t \Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} \right] = \\ &= \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sin\left[(n-1)\frac{2\pi c}{k}\right] - \sin\left[(n-1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha\right] \right] - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{n+1} \left[\sin\left[(n+1)\frac{2\pi c}{k}\right] - \sin\left[(n+1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha\right] \right] \right\}. \end{aligned}$$

У рівняння для визначення коефіцієнта b_n введено кут відкриття α та кратність комутації транзисторів k , що дає змогу проводити спектральний аналіз кривих при їх різних значеннях. Результати аналізу наведено на рис. 2.

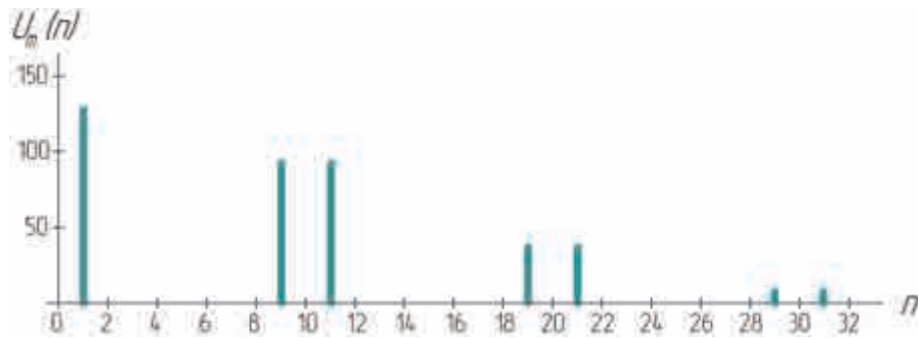


Рис. 2. Спектр вищих гармонік вихідної напруги перетворювача з ШІП:
 $\alpha = \pi/10$, $k = 10$, $f_k = 500$ Гц

З рис. 2 видно, що вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т. д.) проявляються біля частоти, кратної частоті комутації транзисторного ключа $f_k = kf_1 = 10 \cdot 50 = 500$ Гц, що відповідає спектру вихідної напруги автономного інвертора із широтно-імпульсним симетричним керуванням під час роботи на активне навантаження [3].

Висновки

На основі теоретичних досліджень визначено рівняння для аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора з ШІП, в якому враховано кут відкривання та частоту комутації транзисторних ключів.

За розрахунками, вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т. д.) з активним навантаженням проявляються біля частоти, кратної частоті комутації транзисторних ключів ($f_k = 500$ Гц).

Список літератури

1. Основы теории цепей : учеб. для вузов / Г. В. Зевека, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхово. – М. : Энергия, 1975. – 752 с.
2. Голодний І. М. До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – К., 2011. – Вип. 166, ч. 4. – С. 64–70.
3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК : учеб. пособие для студ. вузов / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

References

1. Zeveka, G. V. Ionkin, P. A., Netusil, A. V., Strachovo, S. V. (1975). Osnovy teoriiy kil [Fundamentals of circuit theory: Textbook for Universities]. Moskow: Energiya, 752.
2. Holodnyi, I. M., Sanchenko, O. V. (2011). Do pytannya reguluvannya shvydkosti malopotuzhnogo asynkhronnogo elektropyvoda. [Before issue of regulation of speed low-power asynchronous electric drive]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy, 166 (4), 64–70.
3. German-Galkin, S. G. (2002). Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK. [Power Electronics: Laboratory work on the PC: [textbook for students universities]. St. Petersburg: CROWN print, 304.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ШИП ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

И. М. Голодный,
А. В. Санченко

Аннотация. Приведены результаты спектрального состава выходного напряжения регулятора на базе широтно-импульсного преобразователя для асинхронного электропривода.

Ключевые слова: высшие гармоники, напряжение, широтно-импульсный преобразователь, спектральный состав, форма кривой напряжения

ANALYTICAL ANALYSIS OF OUTPUT VOLTAGE OF REGULATOR WITH SHIP AT WORK ON RESISTIVE LOAD

I. Golodnyi,
A. Sanchenko

Abstract. The results of the spectral composition of the output voltage regulator based on the PWM inverter for the induction motor.

Keywords: higher harmonics, voltage, PWM inverter, spectral composition, voltage waveform

УДК 620.97; 621.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАТОРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук
Тернопільський національний педагогічний університет
ім. В. Гнатюка
e-mail: zagoroman@ukr.net

Анотація. Описано розрахунок параметрів радіатора для охолодження когенераційної установки теплогенератора. Запропоновано застосовувати голчасті радіатори. Наведено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: когенераційна установка, радіатори охолодження, термоелектричні модулі, голчастий радіатор

Перспективним напрямом у галузі енергозабезпечення є впровадження когенераційних технологій. Когенераційні установки широко використовуються в малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ШИП ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

**И. М. Голодный,
А. В. Санченко**

Аннотация. Приведены результаты спектрального состава выходного напряжения регулятора на базе широтно-импульсного преобразователя для асинхронного электропривода.

Ключевые слова: *высшие гармоники, напряжение, широтно-импульсный преобразователь, спектральный состав, форма кривой напряжения*

ANALYTICAL ANALYSIS OF OUTPUT VOLTAGE OF REGULATOR WITH SHIP AT WORK ON RESISTIVE LOAD

**I. Golodnyi,
A. Sanchenko**

Abstract. The results of the spectral composition of the output voltage regulator based on the PWM inverter for the induction motor.

Keywords: *higher harmonics, voltage, PWM inverter, spectral composition, voltage waveform*

УДК 620.97; 621.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАТОРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук
**Тернопільський національний педагогічний університет
ім. В. Гнатюка**
e-mail: zagoroman@ukr.net

Анотація. Описано розрахунок параметрів радіатора для охолодження когенераційної установки теплогенератора. Запропоновано застосовувати голчасті радіатори. Наведено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: *когенераційна установка, радіатори охолодження, термоелектричні модулі, голчастий радіатор*

Перспективним напрямом у галузі енергозабезпечення є впровадження когенераційних технологій. Когенераційні установки широко використовуються в малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-

перше, тепло використовується безпосередньо в місці отримання, що коштує дешевше, ніж будівництво та експлуатація багатокілометрових теплотрас; по-друге, електроенергія використовується здебільшого в місці отримання без накладних витрат постачальників енергії, і її вартість для споживача може бути дещо меншою, ніж у енергії з мережі. Адже дуже часто через зношеність обладнання існуючих електромереж ускладнено підключення нових споживачів, а іноді й просто економічно недоцільно (у разі великого віддалення споживача від ЛЕП).

У результаті застосування автономних енергоджерел із комбінованим виробництвом електричної й теплової енергії (когенерація) забезпечується певний енергетичний резерв у централізованій системі.

Використання термоелектричних модулів у когенераційних установках на базі твердопаливних теплогенераторів дає змогу генерувати електроенергію з теплових викидів.

Тому доцільно виконати розрахунок та дослідження параметрів радіаторів охолодження для забезпечення максимально допустимої різниці температур на поверхнях ТЕГ.

Мета досліджень – визначення оптимальних параметрів радіаторів охолодження когенераційної установки біотеплогенератора.

Матеріали і методика досліджень. В основу процесу дослідження покладено математичні описи термоелектричного перетворення енергії [2]. Дослідження та розрахунок параметрів радіаторів охолодження для термоелектричних генераторів дає змогу оцінити ефективність використання їх на когенераційних установках з метою забезпечення оптимальних температурних режимів роботи ТЕГ.

Результати досліджень. Електрична потужність $P_{ТЕП}$, що виробляється генераторним модулем, визначається згідно із законом збереження енергії, за різницею теплових потоків його холодної Q_x та гарячої Q_z сторони.

$$P_{ТЕП} = Q_z - Q_x \quad (1)$$

Термоелектричний генератор на зовнішньому навантаженні R_n створює напругу U , що дорівнює термоелектрорушійній силі E_{mEPC} , з урахуванням спаду напруги на внутрішньому опорі генератора R [4]:

$$U = E_{mEPC} - I \cdot R \quad (2)$$

Сила струму I в колі прямо пропорційна різниці температур ΔT і визначається за виразом:

$$I = \frac{2N \cdot \alpha \cdot \Delta T}{R + R_n}, \quad (3)$$

де: N – число пар термоелектричних елементів у модулі;

α – коефіцієнт Зеебека (термоЕРС).

Потужність, що відводиться в зовнішнє коло, прямо пропорційна квадрату різниці температур:

$$P = I^2 \cdot R_n = \frac{(2N \cdot \alpha)^2 \cdot \Delta T^2}{(R + R_n)^2} R_n. \quad (4)$$

Отже, для забезпечення ефективної роботи термоелектричного генератора необхідно досягти максимально допустимої різниці температур між поверхнями модуля. Крім того, величина електричного опору навантаження має наближатися до величини внутрішнього опору генераторного модуля в умовах експлуатації.

Різниця температур на поверхнях модуля, встановленого в біотеплогенераторі, який працює на твердому паливі, залежить від цілого ряду факторів, що у свою чергу, залежать від взаємозв'язку теплоенергетичних характеристик біопалива й технічних параметрів теплогенератора [3].

Для розрахунку та моделювання радіаторів можна використати комерційний продукт Qfin, розробником якого є фірма «Qfinsoft». Цей продукт поставляється фірмою в трьох версіях: базова (basic) – для розрахунків радіаторів, охолоджуваних повітрям; стандартна (standard) – для розрахунків будь-яких типів радіаторів і теплообміну вузлів друкованих плат; розширена (advanced) – для проведення розрахунків та оптимізації будь-якого рівня, у тому числі на рівні приладу.

Існує також ряд інших серйозних комерційних продуктів, що дають змогу провести якісне теплове моделювання. До цих продуктів належить пакет SolidWorks, за допомогою якого можна виконати повний цикл розробки конструкції статичного перетворювача, і не тільки побудувати теплову модель, але й зробити інші конструкторські розрахунки, наприклад, оцінити характеристики міцності, віброміцності тощо [1].

Аналіз наукової літератури дав нам змогу встановити, що кращий тепловідвід від гарячої сторони термоелектричних елементів виконуватиме голчастий радіатор. Перевірку припущення проводили за допомогою спеціального програмного забезпечення [4], у якому як вхідні дані було задано розміри радіаторів, параметри конструкції, теплову потужність охолодження, площу охолодження (табл.1).

1. Вхідні параметри радіаторів

Параметри	Ребристий радіатор	Голчастий радіатор
Матеріал	алюміній	алюміній
Ширина	360 мм	360 мм
Довжина	400 мм	400 мм
Висота	97 мм	97 мм
Товщина основи	17 мм	17 мм
Товщина ребра	8 мм	8 мм
Кількість рядів	28	28
Кількість у ряді		25
Температура навколишнього середовища	10 °C	10 °C
Кількість теплоти, яку треба розсіяти	250 Вт	250 Вт
Ширина джерела тепла	50 мм	50 мм
Довжина джерела тепла	50 мм	50 мм
Верхній просвіт	100 мм	100 мм
Лівий просвіт	50 мм	50 мм
Правий просвіт	50 мм	50 мм

У результаті проведених розрахунків, ми визначили оптимальні розміри радіатора для зменшення затрат електроенергії на примусове охолодження (рис.1). Також розраховано параметри радіатора, що забезпечить ефективне охолодження термогенеруючих модулів без примусового охолодження.

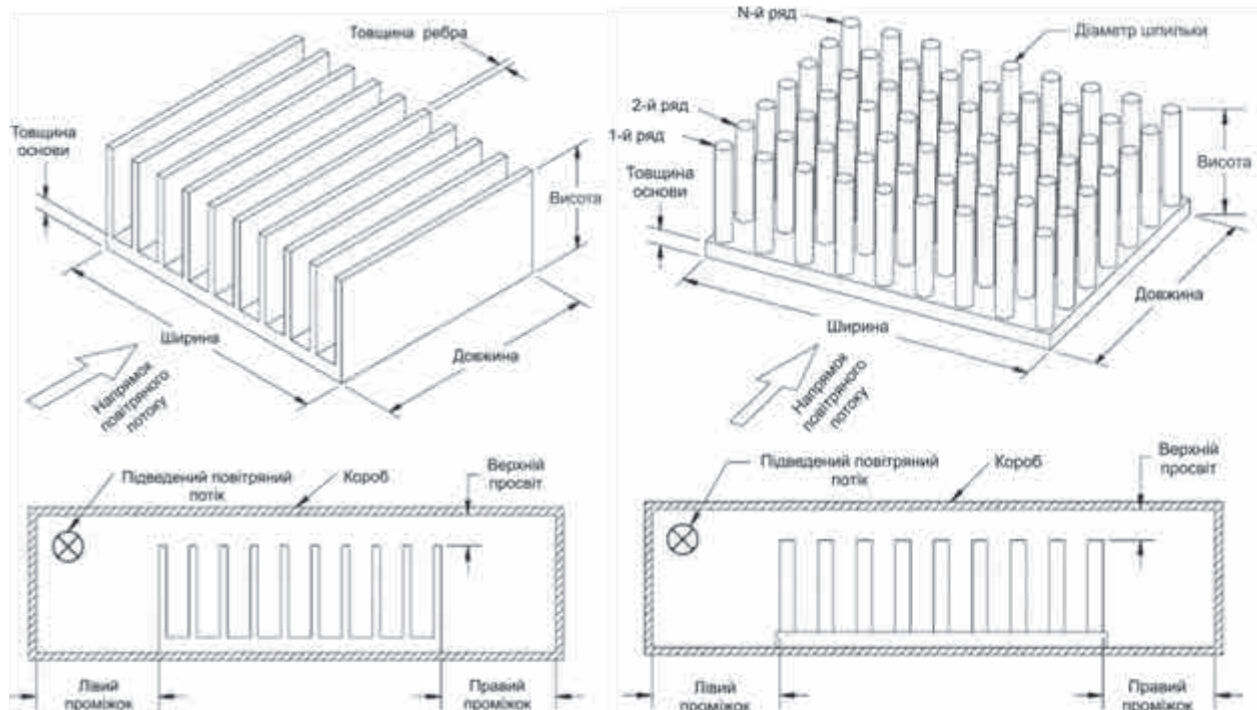


Рис. 1. Параметри радіаторів: а) ребристого, б) голчастого.

Отримані результати (табл. 2 і 3) свідчать, що ефективніше охолодження відбувається при використанні голчастого радіатора. Слід зауважити, що застосовувати голчастий радіатор із такими параметрами можна без використання примусового охолодження, а застосовуючи природну конвекцію повітря.

Апробація розрахованого радіатора реалізована на дослідній когенераційній установці, що працює на основі теплогенератора потужністю 20 кВт (рис. 2). На димовивідну трубу встановлено два термоелектричні перетворювачі. На їх холодну сторону змонтований голчастий радіатор. Конструкція труби розроблена так, щоб повітря шляхом природної конвекції охолоджувало радіатор.

У результаті дослідження отримано 18 Вт/год електричної потужності з двох послідовно з'єднаних ТЕГ, за температури на холодній стороні 50 °С а на гарячій – 160 °С.

2. Результати розрахунку радіаторів

Витрати повітря	Ребристий радіатор			Голчастий радіатор		
	Тепловий опір	Перепад тиску	База т-ри	Тепловий опір	Перепад тиску	База т-ри
0.5 m/s (~100 LFM)	0.66 °C/W	0.5 Pa (0.002 inH ₂ O)	175.5 °C	0.13 °C/W	0.16 Pa (0.001 inH ₂ O)	43.1 °C
1.0 m/s (~200 LFM)	0.28 °C/W	1.8 Pa (0.007 inH ₂ O)	79.4 °C	0.11 °C/W	0.65 Pa (0.003 inH ₂ O)	37.4 °C
1.5 m/s (~300 LFM)	0.19 °C/W	3.7 Pa (0.015 inH ₂ O)	58.7 °C	0.10 °C/W	1.45 Pa (0.006 inH ₂ O)	35.4 °C
2.0 m/s (~400 LFM)	0.16 °C/W	6.1 Pa (0.024 inH ₂ O)	50.9 °C	0.10 °C/W	2.56 Pa (0.010 inH ₂ O)	34.4 °C
2.5 m/s (~500 LFM)	0.15 °C/W	9.1 Pa (0.036 inH ₂ O)	47.0 °C	0.09 °C/W	4.00 Pa (0.016 inH ₂ O)	33.7 °C
3.0 m/s (~600 LFM)	0.14 °C/W	12.5 Pa (0.050 inH ₂ O)	44.7 °C	0.09 °C/W	5.75 Pa (0.023 inH ₂ O)	33.2 °C
3.5 m/s (~700 LFM)	0.13 °C/W	16.5 Pa (0.066 inH ₂ O)	43.2 °C	0.09 °C/W	7.82 Pa (0.031 inH ₂ O)	32.8 °C
4.0 m/s (~800 LFM)	0.13 °C/W	21.0 Pa (0.084 inH ₂ O)	42.2 °C	0.09 °C/W	10.20 Pa (0.041 inH ₂ O)	32.5 °C
4.5 m/s (~900 LFM)	0.13 °C/W	26.0 Pa (0.104 inH ₂ O)	41.4 °C	0.09 °C/W	12.90 Pa (0.052 inH ₂ O)	32.2 °C
5.0 m/s (~1,000 LFM)	0.12 °C/W	29.4 Pa (0.118 inH ₂ O)	40.4 °C	0.09 °C/W	15.92 Pa (0.064 inH ₂ O)	32.0 °C



Рис. 2. Дослідний зразок автономної когенераційної системи електроживлення на базі біотеплогенератора

Висновки

1. Запропоновано спосіб розрахунку радіаторів охолодження за допомогою програмного забезпечення. Виходячи з отриманих результатів встановлено, що ефективніше охолодження відбувається при використанні голчастого радіатора.

2. Створено дослідну когенераційну установку, що працює на основі теплогенератора потужністю 20 кВт. У результаті отримано 18 Вт/год електричної потужності з двох послідовно з'єднаних термоелектрогенераторів, за температури на холодній стороні 50 °С, а на гарячій – 160 °С.

Список літератури

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: професійні рішення / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.
2. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.
3. Федорейко В. С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / В. С. Федорейко, М. І. Рутило, І. Б. Луцик, І. Р. Загородній // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2014. – Дніпропетровськ : НГУ. – № 6. – С. 111–116.
4. Розрахунок параметрів радіаторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.myheatsinks.com>.

References

1. Semenov, B. Yu. (2011). Sylova elektronika: profesiyni rishennya [Power electronics: professional solutions]. M.: SOLON-PRESS, 416.
2. Shostakovskyy, P. (2010). Termoelektricheskiye istochniki al'ternativnogo elektropytaniya [Thermoelectric alternative sources of supply]. Komponenty y tekhnolohyy, 12, 131–138.
3. Fedoreyko, V. S., Rutylo, M. I., Lutsyk, I. B., Zahorodniy, R. I. (2014). Vykorystannya termoelektrychnykh moduliv u teploheneratorykh koheneratsiynykh systemakh [The use of thermoelectric modules in heating generators for cogeneration systems]. Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu. Dnipropetrovs'k : NHU, 6, 111–116.
4. Rozrakhunok parametriv radiatoriv [Calculation of the radiator]. Available at: <http://www.myheatsinks.com>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ БИОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Р. И. Загородний

Аннотация. Описан расчет параметров радиатора для охлаждения когенерационной установки теплогенератора. Предложено применять игольчатые радиаторы. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: когенерационная установка, радиаторы охлаждения, термоэлектрические модули, игольчатый радиатор

STUDY PARAMETERS COOLER COGENERATION UNITS OF BIOHEATGENERATOR

R. Zagorodniy

Abstract. *This article describes the calculation parameters of the radiator to cool the CHP heat source. Needle apply research results radiators. The results of experimental studies are given.*

Keywords: *CHP, cooler, thermoelectric modules, needle radiator*

УДК 621.3

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ВИХРОВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА РТГА-37

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук

П. Г. ОХРИМЕНКО, інженер

e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. *Розглянуто можливість використання теплоти кінетичної енергії кавітаційних бульбашок повітря в момент їх руйнування для нагрівання води. Наведено результати експериментальних випробувань, гідравлічну схему і принцип роботи вихрового теплогенератора.*

Ключові слова: *кавітація, вихровий теплогенератор, енергія руйнування, нагрівання води*

Пошуки економічних та екологічно чистих джерел тепла, які не потребують спалювання органічного палива, привели до ідей використання для отримання енергії явищ внутрішнього тертя і кавітації рідини [1]. У таких апаратах, які називаються вихровими теплогенераторами (ТГ), значна частина тепла вивільнюється при кавітаційному кипінні рідини з подальшим руйнуванням бульбашок повітря і пари.

У роботі [2] досліджувався вихровий кавітаційний теплогенератор Ю. С. Потапова, який відпрацював не один сезон. Автори вимірювали витрачену електричну енергію та вироблену ТГ теплоту. Результати дослідження свідчать, що коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) досліджуваного апарата (ТПМ-5,5-1) не перевищує одиниці для всіх досліджених режимів. Визначення КПЕ трьома незалежними методами показало практично повну ідентичність отриманих результатів.

STUDY PARAMETERS COOLER COGENERATION UNITS OF BIOHEATGENERATOR

R. Zagorodniy

Abstract. *This article describes the calculation parameters of the radiator to cool the CHP heat source. Needle apply research results radiators. The results of experimental studies are given.*

Keywords: *CHP, cooler, thermoelectric modules, needle radiator*

УДК 621.3

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ВИХРОВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА РТГА-37

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук

П. Г. ОХРИМЕНКО, інженер

e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. *Розглянуто можливість використання теплоти кінетичної енергії кавітаційних бульбашок повітря в момент їх руйнування для нагрівання води. Наведено результати експериментальних випробувань, гідравлічну схему і принцип роботи вихрового теплогенератора.*

Ключові слова: *кавітація, вихровий теплогенератор, енергія руйнування, нагрівання води*

Пошуки економічних та екологічно чистих джерел тепла, які не потребують спалювання органічного палива, привели до ідей використання для отримання енергії явищ внутрішнього тертя і кавітації рідини [1]. У таких апаратах, які називаються вихровими теплогенераторами (ТГ), значна частина тепла вивільнюється при кавітаційному кипінні рідини з подальшим руйнуванням бульбашок повітря і пари.

У роботі [2] досліджувався вихровий кавітаційний теплогенератор Ю. С. Потапова, який відпрацював не один сезон. Автори вимірювали витрачену електричну енергію та вироблену ТГ теплоту. Результати дослідження свідчать, що коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) досліджуваного апарата (ТПМ-5,5-1) не перевищує одиниці для всіх досліджених режимів. Визначення КПЕ трьома незалежними методами показало практично повну ідентичність отриманих результатів.

Мета досліджень – обґрунтування можливості використання теплоти кінетичної енергії кавітаційних бульбашок повітря для нагрівання води.

Матеріали і методика досліджень. Визначення коефіцієнта перетворення енергії було проведено на виготовленому ВАТ «Ремпромбобутприлад» (м. Харків) вихровому теплогенераторі РТГА-37 (див. рис. 1), який експлуатувався 1 сезон.



Рис. 1. Загальний вигляд теплогенератора РТГА-37

Установка (рис. 2) складається з: досліджуваного теплогенератора, радіаторів системи опалення (з площею поверхні $3,12 \text{ м}^2$), розширювального бака, мережного циркуляційного насоса, запірної арматури та систем: заміру температур; обліку об'ємних витрат теплоносія (води) та витраченої електроенергії.

Методика проведення експерименту та опрацювання його результатів. Експеримент проводили за такою методикою:

1. Замірювалися необхідні початкові параметри, циркуляційним насосом у напірному водопроводі встановлювався тиск $0,2 \text{ МПа}$.

2. Дочекавшись вирівнювання температур ($\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) на вході та виході з теплогенератора, вмикали електропривод останнього.

3. Включали секундомір і вимірювали: інтервал часу, температуру нагріву води, її об'ємну витрату та споживану електричну потужність.

4. За температури води $60 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ відключався теплогенератор, а циркуляційний насос продовжував працювати. Почався період «донагріву» теплоносія в системі.

5. При зниженні температури теплоносія до $50 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ – включався ТГ.

6. Далі процес повторювався до закінчення годинного циклу роботи установки.

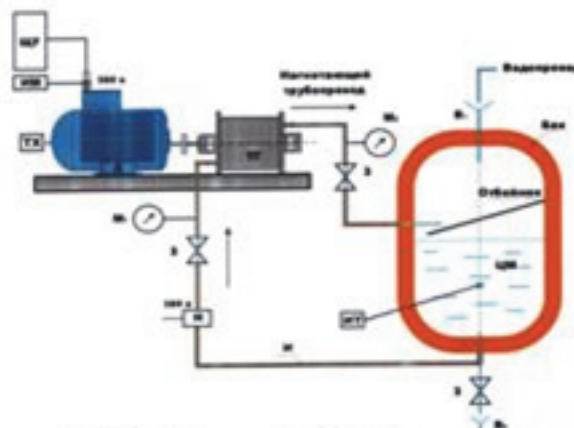


Рис. 2. Гідравлічна схема установки

Основні технічні характеристики експериментальної установки наведено в табл. 1.

1. Основні технічні характеристики вихрового теплогенератора РТГА-37

Найменування		Значення
Потужність електропривода	кВт	37,0
ККД електроприводу	%	92
Частота обертів робочого органу	об/хв.	2950
Робочий тиск у системі	кПа	200
Ємність системи	л	140
Діапазон регулювання температури теплоносія	°С	0...95
Об'ємна витрата теплоносія	л/хв.	35

Вимірювання температур теплоносія на вході та виході з теплогенератора, виконувалось за допомогою накладних датчиків температури типу Dallas 18B20 (клас точності 0,5), з виведенням сигналу на цифрове табло (на схемі не показано).

Величина тиску на вході теплогенератора та в системі вимірювалася повіреними манометрами. Облік об'ємних витрат теплоносія виконувався лічильником води, а спожитої електроенергії – визначався за показами трифазного лічильника активної енергії прямого включення. Крім того, для дублювання показань лічильника, замірялися лінійна напруга та сила струму за: показами амперметра (з класом точності 2,5) та вимірювальних кліщів – пофазно.

Коефіцієнт перетворення енергії визначався в процесі нагріву теплоносія в баку з циркуляцією води за кільцевою схемою системи опалення. Весь процес нагріву розбивався на часові інтервали від 1 до 3-х хвилин. Розрахунок КПЕ проводився в кінці кожного часового інтервалу, починаючи з першого, за весь час експерименту.

Результати лабораторних випробувань ТГ наведені в табл. 2 та на рис. 3.

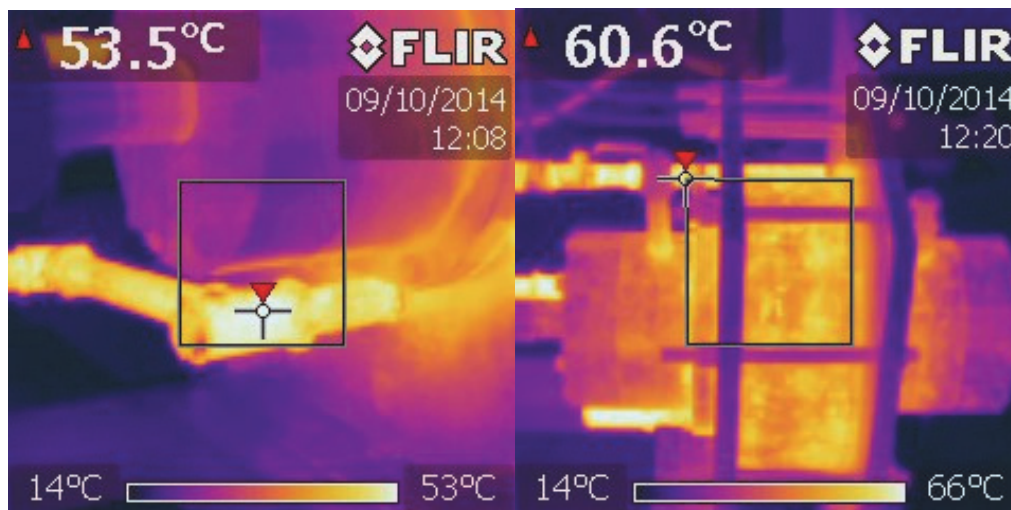


Рис. 3. Тепловізійна зйомка робочого органа теплогенератора

Результати досліджень. За час проведення експерименту (66 хв) було згенеровано 10,67 кВт-год., спожито електроенергії 14,65 кВт-год., тобто загальний КПЕ = 0,73. Але, в даному випадку, необхідно звернути увагу на той факт, що після проходження пускового та початкового періодів (після 28-ї хвилини), теплогенератором було спожито 2,4 кВт-год електроенергії, а згенеровано 2,67 кВт-год., тобто КПЕ становив 1,11. Це саме спостерігалось і під час наступного циклу роботи установки: спожито 2,5 кВт-год, а згенеровано 2,98 кВт-год, тобто КПЕ = 1,19.

Отже, якщо взяти до уваги той факт, що система опалення проходить пусковий та початковий етапи раз за весь час опалювального періоду, з подальшою роботою в режимі підігрівання теплоносія системи, то величиною КПЕ пускового періоду можна знехтувати, а в подальших розрахунках використовувати середнє зі значень 1,11 та 1,19 відповідно. Але, на перший погляд, зазначене суперечить закону збереження енергії, тому по-перше, це можна пояснити похибкою при вимірюванні (враховуючи клас точності приладів), по-друге, існують дві гіпотези, що пояснюють, звідки береться надлишкова тепла енергія при кавітації: холодний ядерний синтез і еманация речовини, висунуті проф. Федоткіним і опубліковані в його статті «О возможностях получения избыточной энергии при кавитации».

Тому, враховуючи отримані результати, а також результати роботи [2], можна стверджувати, що питання залишається відкритим та потребує додаткового аналізу і дослідження роботи вихрових теплогенераторів інших типів.

2. Результати лабораторних випробувань вихрового теплогенератора РТГА-37

№ з/п	Період	Час, хв.	Температура (на вході), °С	Температура (на виході), °С	Об'єм-на витрата, м³	Споживана потужність, кВт	Генерована теплова потужність, кВт, за:			КПЕ			
							робочий інтервал	Період	цикл	робочий інтервал	проміжний	Періодичний	Циклічний
1	Вкл.	0	14,6	14,9	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Вкл.	1	15,2	20,9	0,12		0,20			0,36	-		
3	Вкл.	2	21,3	24,8	0,16		0,16			0,30	-		
4	Вкл.	3	25,4	28,1	0,20		0,13			0,24	0,22		
5	Вкл.	5	31,0	34,0	0,27		0,24			0,23	0,18		
6	Вкл.	7	36,3	39,3	0,34	9,75	0,24	3,26		0,23	0,17	0,33	
7	Вкл.	9	41,5	44,0	0,41		0,20			0,19	0,18		
8	Вкл.	11	46,1	48,5	0,49		0,22		5,02	0,21	0,14		0,51
9	Вкл.	13	50,3	52,9	0,56		0,21			0,20	0,10		
10	Вкл.	15	54,2	56,8	0,63		0,21			0,20	0,24		
11	Вкл.	18	59,8	62,3	0,74		0,32			0,32	0,68		
12	Вкл.	21	57,8	57,0	0,87		0,12			0,12	0,13	1,75	
13	Вкл.	24	55,6	54,6	0,95	0,00	0,09	1,75		0,09	0,16		
14	Вкл.	27	53,1	52,4	1,04		0,07			0,07	0,18		
15	Вкл.	30	50,7	50,2	1,13	2,40	0,05	1,00		0,03	0,20	0,42	
16	Вкл.	32	52,5	55,6	1,21		0,29			0,27	0,28		
17	Вкл.	35	59,1	62,1	1,32		0,38		2,67	0,38	0,42		1,11
18	Вкл.	38	58,5	57,5	1,42	0,00	0,12	1,66		0,12	0,27	1,66	
19	Вкл.	41	55,2	54,6	1,52		0,07			0,07	0,17		
20	Вкл.	44	53,1	52,7	1,62		0,05			0,05	0,19		
21	Вкл.	47	51,1	50,6	1,72	2,50	0,06	1,11		0,04	0,15	0,45	
22	Вкл.	50	52,7	55,7	1,82		0,35			0,22	0,29		
23	Вкл.	53	59,0	62,2	1,94		0,45		2,98	0,45	0,35		1,19
24	Вкл.	56	59,2	58,4	2,04	0,00	0,09	1,87		0,09	0,35	1,87	
25	Вкл.	60	56,1	55,6	2,17		0,08			0,08	0,24		
26	Вкл.	62	53,0	52,6	2,25		0,04			0,04	0,28		
27	Вкл.	66	50,6	50,4	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-
Всього:					2,28	14,65	-	-	10,67	-	-	-	0,73

Висновки

Незаперечною перевагою розглянутого теплогенератора є те, що для його роботи не потрібно спалювання дефіцитного органічного палива, а електроенергія використовується тільки для роботи насосів. Теплогенератор має просту конструкцію, малі габарити і не забруднює навколишнє середовище. До недоліків теплогенератора слід віднести недостатню експериментальну вивченість таких апаратів та кавітаційний знос внутрішньої поверхні кавітатора. Однак, застосування кавітаційно-стійких матеріалів дає змогу усунути зазначений недолік.

Список літератури

1. Поляков, Л. О. Екологічно чисте джерело теплової енергії / Л. О. Поляков // Матеріали XIV міжнародного молодіжного форуму «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». – Х. : ХНУРЕ, 2010. – 435 с.
2. Халатов, А. А. Результаты испытаний вихревого теплогенератора ТПМ-5,5-1 / А. А. Халатов // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 8 (84).

References

1. Polyakov, L. O. (2010). Ekologichno chyste dzherelo teplovoyi enerhiyi [Environmentally friendly source of heat]. Khar'kov: KHNURÉ, 435.
2. Khalatov, A. A. (2007). Rezul'taty ispytaniy vikhrevogo teplogeneratora TPM-5,5-1 [Test results vortex heat TPM-5,5-1]. News of heat supply, 8 (84).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА РТГА-37

Е. А. Антипов,
П. Г. Охрименко

Аннотация. Рассмотрена возможность использования теплоты кинетической энергии кавитационных пузырьков воздуха в момент их разрушения для нагревания воды. Приведены результаты экспериментальных испытаний, гидравлическая схема и принцип работы вихревого теплогенератора.

Ключевые слова: кавитация, вихревой теплогенератор, энергия разрушения, нагрев воды

TEST RESULTS VORTEX HEAT RTGA-37

I. Antypov,
P. Ohrimenko

Abstract. The possibility of using the heat of the kinetic energy of cavitation bubbles at the time of fracture for heating water. The results of experimental tests, the hydraulic circuit and working principle of the heat source.

Keywords: cavitation, vortex heat generator, destruction of energy, heating the wate

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКУ РІДИНИ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук

А. В. ЧУПРИНА, студент магістратури

e-mail: wasil14@ukr.net

Анотація. Досліджено енергетичні характеристики потоку рідини з побудовою лінії питомої потенційної і повної питомої енергії потоку при напірному русі рідини в трубопроводі змінного поперечного перерізу.

Ключові слова: потік рідини, енергія потоку, п'єзометрична лінія, напірний рух рідини, питома енергія

При вивченні течії рідин у каналах чи трубопроводах важливою є не лише залежність швидкості потоку від площі живого перерізу, але й зв'язок між швидкістю та тиском у потоці. Зв'язок між цими величинами встановлюється за рівнянням Д. Бернуллі, основним рівнянням енергетичної оцінки потоку рухомої рідини. В усіх випадках руху обмежених твердими стінками рідин або газів у потоці, руху твердого тіла в рідині або газі та інших технічних задачах рівняння Бернуллі незмінно пояснює характер руху й дає змогу одержати основні статичні, кінематичні та динамічні параметри потоку або тіла, що рухається [1, 2].

Для двох перерізів потоку в'язкої реальної рідини при усталеному стаціонарному плавномітному русі рівняння Д. Бернуллі має вигляд:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_v \quad (1)$$

де z – відстань від центру тяжіння перерізу до площини порівняння;

p – тиск;

ρ – густина рідини;

g – прискорення вільного падіння;

α – коефіцієнт Коріоліса;

V – середня швидкість потоку в перерізі;

h_v – втрати питомої енергії.

Рівняння (1) застосовується для розв'язання практичних задач за умов:

а) рух рідини повинен бути усталеним;

б) потік повинен бути плавномітливим, безінерційним і безвихровим;

в) рух рідини здійснюється без енергообміну із зовнішнім середовищем.

Заслуговує на увагу розгляд геометричного (гідравлічного) й енергетичного (фізичного) змісту всіх складових рівняння, що дасть відповідь на енергетичні характеристики потоку рідини [3].

Мета досліджень – визначення енергетичних характеристик потоку рідини з використанням рівняння Бернуллі.

Матеріали і методика досліджень. Рух рідини в трубопроводі змінного перерізу. Графічне зображення членів рівняння Бернуллі.

Результати досліджень. Графічне зображення членів рівняння Бернуллі показано на рисунку.

Геометрична (гидравлічна) інтерпретація рівняння Бернуллі

Сума трьох складових рівняння, як і кожна складова окремо, має лінійну розмірність метр. Ця сума H стала й називається повною висотою або повним напором.

Перша складова z – висота положення центра тяжіння перерізу, що розглядається, до вибраної горизонтальної площини порівняння. Якщо трубопровід виготовлений із прозорого матеріалу, за цю площину зручно прийняти вільну поверхню води при частковому його заповненні. Друга складова $\frac{P}{\rho g}$ – п'єзометрична висота. Сума цих двох висот $\left(z + \frac{P}{\rho g} \right)$ –

п'єзометричний або статичний напір. Третя складова $-\frac{\alpha V^2}{2g}$ – швидкісний

напір, де α – коефіцієнт Коріоліса, який враховує нерівномірність розподілу швидкості по живому перерізу потоку. Він завжди більший за одиницю, але для спрощення з допустимою похибкою при вирішенні інженерних задач, може бути прийнятим рівним одиниці. При звуженні потоку збільшується швидкість руху v , як наслідок, швидкісний напір. Це призводить до зменшення п'єзометричної висоти (а отже, і гідродинамічного тиску) та зниження п'єзометричної лінії. Розширення потоку, навпаки – зменшує швидкість і швидкісний напір, тиск же і п'єзометрична висота збільшуються, а п'єзометрична лінія зростає. Це явище широко використовується в техніці. На ньому заснована робота інжекторів, ежекторів, гідроелеваторів та інших пристроїв.

Під час руху нев'язкої (ідеальної) рідини лінія повного гідродинамічного напору H буде горизонтальною. Лінія, що з'єднує рівні п'єзометричного напору, називається п'єзометричною лінією.

Під час руху в'язкої (реальної) рідини повний гідродинамічний напір, вздовж потоку завжди буде зменшуватись, оскільки частина напору втрачається на подолання опору сил в'язкості рідини і сил тертя об стінки, а лінія повного напору буде знижуватися.

П'єзометричний, швидкісний і повний напір можна виміряти за допомогою трубки Піто-Прандтля. П'єзометрична висота визначається за рівнем рідини в п'єзометрі, а швидкісний напір – різницею рівнів у трубці Піто та п'єзометричній трубці.

Під час руху в'язкої (реальної) рідини повний гідродинамічний напір, вздовж потоку завжди буде зменшуватись, оскільки частина напору втрачається на подолання опору сил в'язкості рідини і сил тертя об стінки, а лінія повного напору буде знижуватися.

П'єзометричний, швидкісний і повний напір можна виміряти за допомогою трубки Піто-Прандтля. П'єзометрична висота визначається за

Енергетичне тлумачення рівняння Бернуллі
З енергетичної точки зору, складові рівняння означають:
z – питома (що відноситься до одиниці маси) потенційна енергія по-
ложення ;
 $\frac{P}{\rho g}$ – питома потенційна енергія тиску;
 $\frac{\alpha V^2}{2g}$ – питома кінетична енергія;

$Z + \frac{P}{\rho g}$ – питома потенційна енергія рідини в перерізі потоку, що розглядається.

Сума всіх трьох складових $\left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)$ і є повна питома енергія рідини в даному перерізі.

З енергетичної точки зору, лінія Е – Е (рис.1) називається лінією повної питомої енергії, а лінія Р – Р лінією питомої потенційної енергії.

При досягненні достатньо великої швидкості, наприклад, за рахунок звуження живого перерізу потоку, тиск може знизитися настільки, що виявиться меншим за атмосферний, і в трубопроводі за наявності отвору, буде засмоктуватися навколишнє повітря.

Зменшення повної питомої енергії (повного напору), віднесене до довжини ділянки, на якій відбувається її зменшення, називається середнім гідравлічним ухилом, тобто

$$I_{I_B} = \frac{E_1 - E_2}{L_{B1-2}} = \frac{h_{V(1-2)}}{L_{1-2}} \quad (2)$$

де E_1 і E_2 – повна питома енергія потоку відповідно в перерізах 1 і 2;

$h_{V(1-2)}$ – втрати напору (енергії) між перерізами 1 і 2 ;

L_{1-2} – довжина ділянки між перерізами 1 і 2.

Для реальної рідини втрат напору при її русі неможливо уникнути, отже, гідравлічний ухил завжди буде зі знаком плюс.

Зменшення питомої потенційної енергії (п'єзометричного напору), віднесене до довжини ділянки, на якій відбувається це зменшення, називається середнім п'єзометричним ухилом:

$$I_P = \frac{\left(z + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z + \frac{P_2}{\rho g} \right)}{L_{1-2}}, \quad (3)$$

Оскільки п'єзометрична лінія може знижуватись (при збільшенні швидкості) або підвищуватись (при зменшенні швидкості потоку), то п'єзометричний ухил може бути, відповідно, додатним (рис.1, перерізи 1-1 і 2-2) або від'ємним (перерізи 3-3 і 4-4).

Якщо середня швидкість на ділянці, що розглядається, не змінюється, то напірна і п'єзометрична лінії будуть паралельні, а гідравлічний ухил дорівнюватиме п'єзометричному ($I_c = I_p$).

Висновки

Отримані енергетичні характеристики потоку рідини, а саме: п'єзометрична лінія (лінія питомої потенційної енергії) побудована за показами п'єзометрів, а також лінія повного напору (повної питомої енергії), яка підрахована за середньою та максимальною швидкостями і будуть лежати вище п'єзометричної лінії на величину відповідних швидкісних напорів. На ділянках, де живий переріз трубопроводу не змінюється, величина швидкісного напору постійна, п'єзометрична лінія буде

паралельною до лінії повного напору. При звуженні трубопроводу швидкість і швидкісний напір збільшуються, а при розширенні – зменшуються (потенційна енергія потоку переходить у кінетичну та навпаки). Лінія повного напору може тільки знижуватись, оскільки при русі реальної рідини завжди будуть втрати напору.

Список літератури

1. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Найманов А. Я. Водоснабжение / Найманов А. Я., Никиша С. Б. – Донецьк : Норд-прес, 2004. – 649 с.
3. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко. – К. : Кондор, 2009. – 288 с.
4. Тугай А. М. Водопостачання та водовідведення : підруч. / Тугай А. М., Орлов В. О., Орлова А. М. – К. : Знання, 2011. – 359 с.

References

1. Zapolskyi, A. K. (2005). Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody. [Water supply, sanitation and water quality]. Kyiv: Vyshcha shkola, 671.
2. Naymanov, A. Y., Nikisha, S. B. (2004). Vodosnabzheniye [Water supply]. Donetsk: Nord-pres, 649.
3. Kravchenko, V. S. (2009). Vodopostachannya ta kanalizatsiya [Water supply and sewerage]. Kyiv.: Kondor, 288.
4. Tuhai, A. M., Orlov, V. O., Orlova, A. M. (2011). Vodopostachannya ta vodovidvedennya: pidruchnyk [Water and wastewater]. Kyiv: Znannia, 359.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ЖИДКОСТИ

**В. Е. Василенков,
А. В. Чуприна**

Аннотация. *Исследованы энергетические характеристики потока жидкости с построением линии удельной потенциальной и полной удельной энергии потока при напорном движении жидкости в трубопроводе переменного поперечного сечения.*

Ключевые слова: *поток жидкости, энергия потока, пьезометрическая линия, напорное движение жидкости, удельная энергия*

STUDY OF ENERGY CHARACTERISTICS OF FLUID FLOW

**V. Vasilenkov,
A. Chuprina**

Abstract. *Investigations of energy from the fluid flow characteristics of the specific construction of the line and the total specific flow of energy when the pressure fluid flows in the conduit with a variable cross section.*

Keywords: *fluid flow, energy flow, piezometric line, pressurized fluid motion, specific energy*

ЗАСТОСУВАННЯ DT-МОДУЛЯ ГЛАДКОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНОМІРНОГО НАБЛИЖЕННЯ ФУНКЦІЙ

О. Ю. ДЮЖЕНКОВА, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розглянуто модулі гладкості Дітзіана-Тотіка (DT-модулі гладкості) для неперервних на відрізку $[-1;1]$ функцій. Досліджено зв'язок між DT-модулем гладкості r -ї похідної функції f та звичайним k -м модулем гладкості r -ї похідної періодичної функції $\tilde{f} = f(\cos t)$, зокрема, одержано оцінку знизу для DT-модуля гладкості для непарного r .

Ключові слова: рівномірне наближення функцій, многочлен Лагранжа, модулі гладкості, оцінка знизу

Для оцінки наближення функцій алгебраїчними многочленами у теорії апроксимації використовують модулі неперервності (гладкості) функцій або їх похідних. У випадку рівномірного наближення неперервних на відрізку $[-1;1]$ функцій можна розглядати k -й модуль неперервності для функції $f(\cos t)$ (див. [3]). З метою одержання конструктивної характеристики рівномірного наближення неперервних на відрізку $[-1;1]$ функцій зручно користуватися DT-модулями гладкості $\overline{\omega}_k(f, t)$, які ввели Дітзіан і Тотік (див. монографії Ditzian Z., Totik V. [5], Шевчука І. О. [4]).

Мета досліджень – встановлення зв'язку між DT-модулем гладкості r -ї похідної функції f та звичайним модулем гладкості k -го порядку r -ї похідної періодичної функції $\tilde{f}(t) = f(\cos t)$.

Матеріали і методика досліджень. У роботі використовуються методи рівномірного наближення функцій ([1], [4]), зокрема інтерполяція функцій многочленами Лагранжа.

Результати досліджень. Одержано оцінку знизу для DT-модуля гладкості $\overline{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ r -ї похідної функції f через модуль гладкості $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$ k -го порядку r -ї похідної періодичної функції $\tilde{f}$ для непарного r . У випадку $r = 0$, $k = 1$ встановлено більш точну оцінку:

Нехай $C_{[a,b]}$ – простір неперервних на $[a;b] \subset R$ функцій $f: [a;b] \rightarrow R$ із рівномірною нормою $\|f\|_{[a,b]} := \max_{x \in [a,b]} |f(x)|$. Позначимо через $C_{[a,b]}^r := \{f | f^{(r)} \in C_{[a,b]}\}$, $r \in N$, а через C^r – підмножину функцій

$f \in C_{[-1;1]}$, які мають неперервну r -ту похідну на інтервалі $(-1;1)$. Нехай $k \in N, h \in R$. Розглянемо основні означення, наведені в роботі [4].

Модулем неперервності (гладкості) k -го порядку функції $f \in C_{[a;b]}$ називається функція

$$\omega_k(\tau, f, [a;b]) := \sup_{h \in [0;\tau]} \left\| \Delta_h^k(f; x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0,$$

де $\Delta_h^k(f; t) := \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \binom{k}{i} f\left(t - \frac{kh}{2} + ih\right)$ – k -та симетрична різниця функції f у точці $t \in R$ із кроком h .

Позначивши $\varphi(x) := \sqrt{1-x^2}$, розглянемо модулі гладкості, введені 3. Дітзіаном і В. Тотіком [5].

DT -модулем гладкості k -го порядку функції $f \in C_{[-1;1]}$ називається функція

$$\bar{\omega}_k(\tau, f) = \sup_{h \in [0;\tau]} \sup_{x: [x-\frac{kh\varphi(x)}{2}; x+\frac{kh\varphi(x)}{2}] \subset [-1;1]} \left\| \Delta_{h\varphi(x)}^k(f; x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0.$$

DT -модулем гладкості k -го порядку з вагою

$$\varphi_r := \varphi_r(x, k, h) := \left(1 + x - \frac{kh\varphi(x)}{2}\right)^{\frac{r}{2}} \left(1 - x - \frac{kh\varphi(x)}{2}\right)^{\frac{r}{2}}, \quad r \in R,$$

неперервної на $(-1;1)$ функції f називають функцію

$$\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f) := \sup_{h \in [0;\tau]} \sup_{x: [x-\frac{kh\varphi(x)}{2}; x+\frac{kh\varphi(x)}{2}] \subset (-1;1)} \left\| \varphi_r \Delta_{h\varphi(x)}^k(f; x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0.$$

Зазначимо, що $\bar{\omega}_{k,0}(\tau, f) := \bar{\omega}_k(\tau, f)$.

Досліджуючи зв'язок між $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ і $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$, оцінимо DT -модуль гладкості $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ знизу.

Для кожної функції $f \in C_{[-1;1]}$ позначимо $\tilde{f} := \tilde{f}(t) = f(\cos t)$. Нехай $\|f\| := \|f\|_{[-1;1]}$, $m = k + r$. Зафіксуємо $t_* \in [0; \frac{\pi}{2}]$ і число $0 < h \leq \frac{1}{m}$. Якщо $\left[t_* - \frac{mh}{2}, t_* + \frac{mh}{2}\right] \subset (0; \pi)$, то покладемо $x_0 := \cos(t_* - \frac{mh}{2})$, в іншому випадку – $x_0 := 1$. Позначимо $x_m := \cos(t_* + \frac{mh}{2})$, знайдемо точку $x_* \in (x_m; x_0)$ і число $h_* > 0$ з умов $x_* - \frac{mh_*\varphi(x_*)}{2} = x_m$, $x_* + \frac{mh_*\varphi(x_*)}{2} = x_0$ та покладемо $d := h_*\varphi(x_*)$. Надалі вважатимемо, що $x \in (x_m; x_0)$.

Позначимо $P_j(x) = (x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{j-1})$, $\tilde{P}_j(t) = P_j(\cos t)$.

За допомогою простих перетворень дістанемо нерівності

$$\Delta_h^k(\tilde{P}_j^{(r)}, t_0) \leq c_1 h^k, \quad 1 \leq j \leq \frac{m}{2}, \quad (1)$$

$$\Delta_h^k(\tilde{P}_j^{(r)}, t_0) \leq c_2 h^k \left(\frac{d}{h} \right)^{2j-m}, \quad \frac{m}{2} \leq j \leq m-1 \quad (2)$$

Розглянемо многочлен Лагранжа $L := L(x, f; x_0, \dots, x_{m-1})$ степеня $\leq m-1$, який інтерполює функцію f в m рівновіддалених точках $x_j = x_0 + j \frac{x_m - x_0}{m}$, $j = \overline{0, m-1}$. Позначимо $\tilde{L}(t) := L(\cos t)$ і доведемо оцінки

$$|\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*)| \leq c_3 \left(\bar{\omega}_{k,r}(h, f^{(r)}) + h^k \|f\| \right), \quad m - \text{непарне}, \quad (3)$$

$$|\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*)| \leq c_4 \left(h^k \int_h^2 \frac{\bar{\omega}_{k,r}(u, f^{(r)})}{u^{k+1}} du + h^k \|f\| \right), \quad m - \text{парне}. \quad (4)$$

Зобразимо многочлен Лагранжа за формулою Ньютона (див., напр., [4])

$$L(x) = f(x_0) + \sum_{j=1}^{m-1} (x_0, x_1, \dots, x_j; f)(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{j-1})$$

і дістанемо рівність

$$\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*) = \sum_{j=1}^{m-1} (x_0, x_1, \dots, x_j; f) \Delta_h^k(\tilde{P}_j^{(r)}, t_*).$$

Скориставшись нерівностями (1) і (2), оцінимо $\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*)$. Маємо

$$|\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*)| \leq c_5 \left(\frac{\bar{\omega}_m(h, f)}{h^r} + h^k \|f\| \right), \quad m - \text{непарне}. \quad (5)$$

$$|\Delta_h^k(\tilde{L}^{(r)}, t_*)| \leq c_6 \left(h^k \int_h^2 \frac{\bar{\omega}_m(u, f)}{u^{m+1}} du + h^k \|f\| \right), \quad m - \text{парне}. \quad (6)$$

За властивістю DT -модуля маємо

$$\bar{\omega}_m(u, f) \leq c_7 \bar{\omega}_{k,r}(u, f^{(r)}).$$

З останньої рівності та нерівностей (5) і (6) випливають оцінки (3) і (4). Для подальших досліджень скористаємося лемою.

Лема. [4] Нехай $(p+1) \in N$, $p < k$, $[x_0; x_0 + (k-1)h] \subset [a; b]$, $G = [x_0 - h; x_0 + kh] \cap [a; b]$. Якщо $f \in C_{[a;b]}^p$, то має місце рівність

$$\|f^{(p)} - L^{(p)}\|_G \leq c_8 \bar{\omega}_{k-p}(h, f^{(p)}; [a, b]).$$

Розглянемо r – непарне, тоді за допомогою наведеної леми, можна довести оцінку

$$|\Delta_h^k(\tilde{f}^{(r)} - \tilde{L}^{(r)}, t_*)| \leq c_9 \bar{\omega}_{k,r}(h, f^{(r)}). \quad (7)$$

З нерівностей (3), (4) і (7) випливають оцінки

$$\left| \Delta_h^k(\tilde{f}^{(r)}, t_*) \right| \leq c_9 \left(\bar{\omega}_{k,r}(h, f^{(r)}) + h^k \|f\| \right), \quad k - \text{парне}, \quad r - \text{непарне};$$

$$\left| \Delta_h^k(\tilde{f}^{(r)}, t_*) \right| \leq c_{10} \left(h^k \int_h^2 \frac{\bar{\omega}_{k,r}(u, f^{(r)})}{u^{k+1}} du + h^k \|f\| \right), \quad k - \text{непарне}, \quad r - \text{непарне}.$$

Результатом проведених досліджень є наступна теорема.

Теорема. Для будь-яких $k \in N$, непарних r і довільної функції $f \in C^r$ мають місце оцінки

$$\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)}) \leq c_{11} \left(\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)}) + \tau^k \|f\| \right), \quad \tau \geq 0, \quad k - \text{парне},$$

$$\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)}) \leq c_{12} \left(\tau^k \int_\tau^2 \frac{\bar{\omega}_{k,r}(u, f^{(r)})}{u^{k+1}} du + \tau^k \|f\| \right), \quad 0 \leq \tau \leq 2, \quad k - \text{непарне}.$$

Зауважимо, що у випадку $r = 0, k = 1$ має місце більш точна оцінка:

$$\omega_1(\tau, \tilde{f}) \leq c \bar{\omega}_1(\tau, f), \quad \tau \geq 0.$$

Висновки

У роботі було досліджено зв'язок між DT -модулем гладкості $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ та звичайним k -м модулем гладкості $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$, у результаті чого, одержано оцінку знизу для $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ для випадку непарного r . Зокрема доведено, що модуль гладкості $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ еквівалентний звичайному модулю гладкості $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$ для функції $\tilde{f} = f(\cos t)$ у випадку, коли k – парне, r – непарне.

Список літератури

1. Дзядык В. К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами / В. К. Дзядык. – М. : Наука, 1977. – 512 с.
2. Дюженкова О. Ю. Замечание о модуле гладкости З. Дитзиана и В. Тотика / О. Ю. Дюженкова // Укр. мат. журнал. – 1995. – 47, № 12. – С. 1627–1638.
3. Фуксман Л. Структурная характеристика функций, у которых $E_n(f; -1; 1) \leq Mn^{-(k+\alpha)}$ / Л. Фуксман // Успехи мат. наук. – 1965. – 20. – № 4. – С. 187–190.
4. Шевчук И. А. Приближение многочленами и следы непрерывных на отрезке функций / И. А. Шевчук. – К. : Наук. думка, 1992. – 223 с.
5. Ditzian, Z. (1987). Moduli of smoothness/ Ditzian Z., Totik V. Springer-Verlag, New York/Berlin, 300.

References

1. Dzyadyk, V. K. (1977). Vvedeniye v teoriyu ravnomernogo priblyzheniya funktsyy polynomamy [Introduction to the theory of uniform approximation of functions by polynomials]. M.: Nauka, 512.
2. Dyuzhenkova, O. Yu. (1995). Zamechaniye o module gladkosti Z. Dytzyana y V. Totyka [Note on the smoothness module Z. Design and Totik]. Ukr. mat. Zhurnal, 47 (12), 1627–1638.

3. Fuksman, L. (1965). Strukturnaya kharakterystyka funktsyy, u kotorykh [Structural characteristic of functions for which $E_n(f; -1; 1) \leq Mn^{-(k+\alpha)}$]. Uspekhy mat. Nauk, 20 (4), 187–190.

4. Shevchuk, Y. A. (1992). Pryblyzheniye mnogochlenamy y sledy nepreryvnykh na otrezke funktsiyi [Approximation by polynomials and traces of continuous functions on the interval]. Kiyiv: Nauk. dumka, 223.

5. Ditzian, Z., Totik, V. (1987). Moduli of smoothness. Springer-Verlag, New York/Berlin, 300.

ПРИМЕНЕНИЕ DT-МОДУЛЯ ГЛАДКОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАВНОМЕРНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ

О. Ю. Дюженкова

Аннотация. Рассмотрены модули гладкости Дитзиана-Тотика (DT-модули гладкости) для непрерывных на отрезке $[-1; 1]$ функций. Исследована связь между DT-модулем гладкости r -й производной функции f и k -модулем гладкости r -й производной периодической функции $\tilde{f} = f(\cos t)$, в частности, получена оценка снизу для DT-модуля гладкости для нечетного r .

Ключевые слова: равномерное приближение функций, многочлен Лагранжа, модули гладкости, оценка снизу

APPLICATION OF DT-MODULE OF SMOOTHNESS FOR UNIFORM APPROXIMATION OF FUNCTIONS

O. Dyuzhenkova

Abstract. We consider the DT - module of smoothness, introduced by Ditzian and Totik, for continuous on the $[-1; 1]$ functions. We investigate the connection between the DT - module of smoothness of the r -s derivative of the function f and classical module of smoothness of the r -s derivative of the periodic function $\tilde{f} = f(\cos t)$. In particular, we get the lower estimate for the DT -module of smoothness for odd r .

Keywords: function approximation, Lagrange polynomial, modules of smoothness, the lower estimate