

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

1'2016

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідчення Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
постановою президії ВАК України
як наукове фахове видання
(протокол № 1-05/3 від 14.04.2010 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ,
член-кор. НАН України

Відповідальний секретар
К. О. ГОРБУНОВ,
канд. техн. наук, доц.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

В. П. Мешалкін, *д-р техн. наук, проф.*,
РХТУ Москва (Росія)
Д. Б. Ферст, *ВА, ген. директор*
F. Executive Co. (Великобританія)
Й. Клемеш, *PhD, DSc (Hon)*
ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина)
та ун-та Манчестера (Великобританія)
В. Плешу, *PhD, проф.*, ун-т POLITEHNICA
Бухарест (Румунія)
П. Стехлік, *PhD, проф.*, VUT Брно (Чехія)
О. Б. Аніпко, *д-р техн. наук, проф.*
Є. І. Сокіл, *член-кор. НАН України*
П. А. Качанов, *д-р техн. наук, проф.*
В. А. Малярєнко, *д-р техн. наук, проф.*
Д. Ф. Сімбірський, *д-р техн. наук, проф.*
В. П. Шапорєв, *д-р техн. наук, проф.*
Ю. Б. Данилов, *д-р техн. наук, проф.*
С. В. Яковлев, *д-р фіз.-мат. наук, проф.*
Ю. М. Мацевітій, *акад. НАН України*
В. Є. Ведь, *д-р техн. наук, проф.*
Л. М. Ульянов, *д-р техн. наук*
П. О. Капустенко, *акад. Академії будівництва України*
О. П. Арсєнєва, *д-р техн. наук, доц.*

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21
Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Контев Д. А.

Перспективы солнечной энергетики в Украине 3

Канюк Г. І., Козлова М. Л., Бабенко І. А., Сук І. В.

Теоретичні та методичні засади уніфікації
інформаційного змісту питань складу
та створення прецизійних енергозберігаючих
АСУ ТП 7

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Бобух А. О., Дзєвочко О. М., Подустов М. О.,

Слядєва А. С.

Алгоритм структурної ідентифікації об'єктів
виробництва кальцинованої соди 13

Гулей А. Б., Ключка Е. П.

Оценка влияния зольности угля на температуры
в топке котла ТПП-312А при переходе
к непроектным твердым топливам 19

Кобец Е. В., Загребельная Л. И.

Краткая нестационарная математическая
модель стабилизатора режима непрямого
действия 33

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Руднєва Л. Л., Бухало С. І., Лакіза О. В., Черваков О. В.</i> Рослинні воски як модифікатори властивостей полімерних композицій	37
<i>Алексахин А. А., Ена С. В., Гордиенко Е. П.</i> Расчет теплотерь подающими трубопроводами разветвленных тепловых сетей...	45
<i>Левчук І. В., Кіщенко В. А., Тимченко В. К., Куниця К. В.</i> Удосконалення методу контролювання домішок мінеральних олив у рослинних оліях.....	51
<i>Никольский В. Е., Лободенко А. В.</i> Разработка и исследование цельнометаллической камеры сгорания для аппаратов погружного горения.....	59
<i>Маляренко В. А., Орлова Н. О.</i> Интенсивность внешнего воздушного потока как определяющий фактор формирования граничных условий теплообмена на поверхностях зданий.....	66

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Оксенич Н. В., Долженко И. Ю., Царев И. В., Мельник С. А., Лебедев В. А., Волох М. Т.</i> Альтернативное применение систем вооружения легкой бронетанковой техники.....	74
<i>Щепцов А. В.</i> Основные направления развития торпедного оружия для достижения современных требований к его тактико-техническим характеристикам	81
<i>Бойко М. І., Таволжан А. А., Березка Т. О.</i> Дослідження органолептичних і фізико-хімічних показників та вмісту біологічно активних речовин у пивному напої із витяжки гарбуза звичайного та пелюстків календули	88
Сторінка редколегії.....	95

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 1. – 96 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

УДК 621.311.243

Коптев Д.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

В современном мире наблюдается постоянный рост внимания к проблемам окружающей среды связанным с сокращением лесов, опустыниванием земель, ростом парниковых газов в атмосфере. Большой интерес, в контексте экологической ситуации, представляют источники непрерывно возобновляемых в биосфере Земли видов энергии: солнечной, ветровой, океанической, гидроэнергии рек.

Солнечная энергетика – одно из направлений альтернативной энергетики, которое основывается на непосредственном преобразовании энергии солнечного излучения в другие виды энергии, например, электричество или тепло. Экологическая чистота и доступность энергии солнца обусловили её широкое применение. Энергия солнечного излучения, падающего на поверхность Земли только за одну неделю, превосходит энергию мировых запасов нефти, газа, угля и урана вместе взятых [1]. Большие перспективы развития отрасли – ежегодно количество солнечных электростанций во всем мире увеличивается на 20–25% и эта тенденция сохраняется. В Украине достаточно благоприятный климат – количество энергии Солнца, достигающей поверхности земли в пересчете на 1 кв. метр площади превышает аналогичный показатель для Германии, которая в отношении использования солнечной энергии является одним из наиболее прогрессивных государств в мире [2].

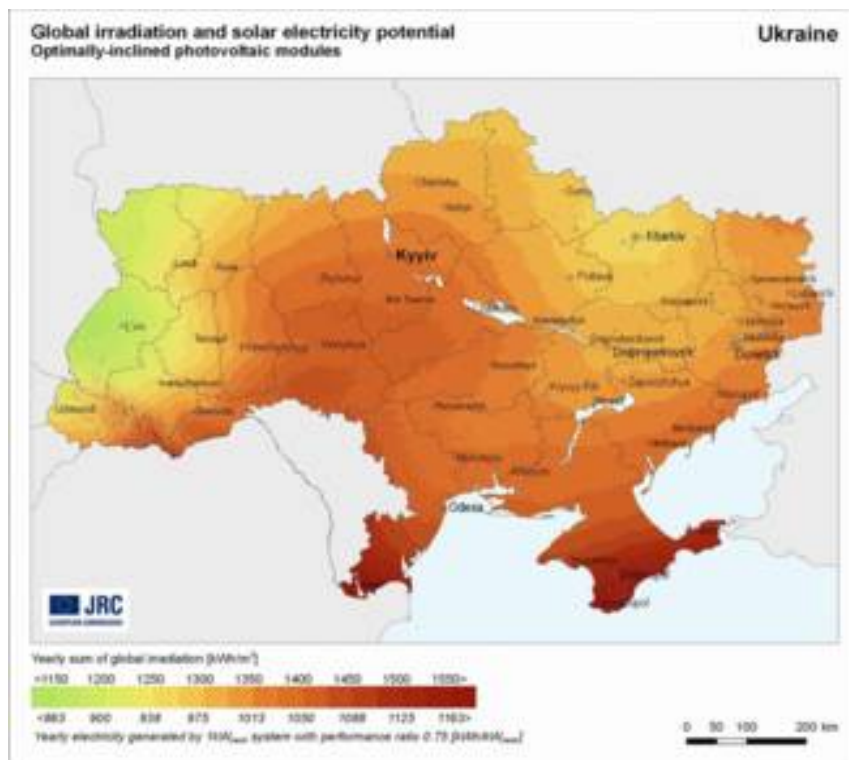


Рисунок 1 – <http://suntale.com.ua/about-solar-activity-ukraine>

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м², расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической едини-

цы от центра Солнца (на входе в атмосферу), колеблется от 1321 Вт/м^2 до 1412 Вт/м^2 в связи с различным расстоянием Земли от Солнца в разные времена года. Средняя величина, которая чаще всего используется при расчетах, – приблизительно 1370 Вт/м^2 . Эту величину еще называют солнечной постоянной. Из-за поглощения, при прохождении атмосферной массы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) – 1020 Вт/м^2 . Однако следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как минимум в два раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение в два раза меньше.

Как эффективно уловить солнечные лучи, и приблизиться к максимальному значению солнечной энергии – солнечной постоянной?

На практике слишком часто недооценивается воздействие солнечного излучения на тепловой баланс помещения. На большей части территории Украины пиковое значение солнечного излучения составляет около $900 \text{ Вт/м}^2 = 0.9 \text{ кВт*часов/(час *м}^2\text{)}$, через стандартное окно на южной стороне сооружения в солнечный день.

Идея создания гелиотермального коллектора (далее «ГК»), основана на принципе получения инфракрасного тепла от солнечного потока для обогрева помещений. Конструкция «ГК» состоит из следующих элементов:

- нагревательной панели,
- теплоизолированного футляра,
- воздуховодов,
- электровентилятора.

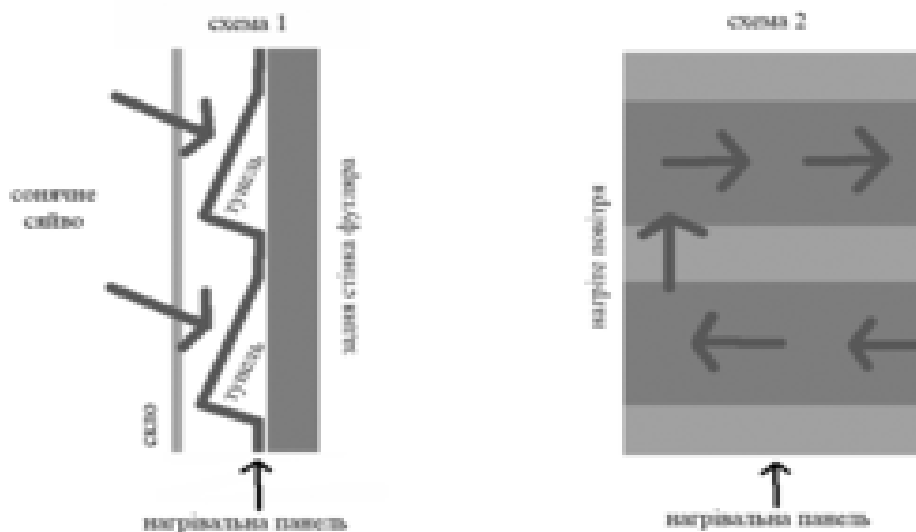


Рисунок 2

Нагревательная панель представляет собой лист из металла с высоким коэффициентом теплопроводности (медь, алюминий). Поверхности листа придаётся ребристая конфигурация с целью увеличения площади поглощения инфракрасного тепла и оптимизации угла восприятия солнечного сияния (схема 1). На панель наносится селективное покрытие, для повышения поглощательной способности относительно солнечного излучения и снижения отражающей способности поверхности. С внутренней стороны нагревательная панель соединяется с утепленной задней стенкой футляра,

таким образом, что они образуют систему тоннелей для перемещения нагреваемого воздуха (схема 2). Футляр состоит из задней стенки, торцевого профиля, утеплителя и прозрачного лицевого слоя (стекло, акрил). В качестве утеплителя используется пенополистирол. Воздуховод оборудован электровентилятором.

Принцип действия

«ГК» представляет собой фасадную систему, которая размещается на южном фасаде здания в вертикальном положении. Воздух из помещения через воздуховод нагнетается в систему тоннелей, проходя через которую, нагревается от контакта с внешней панелью, которая в свою очередь нагревается солнечным потоком. Пройдя через систему тоннелей коллектора, нагретый воздух возвращается в помещение через обратный воздуховод.

Нашей группой архитекторов и инженеров проведены испытания экспериментального образца «ГК», которые показали, что воздух в приборе нагревается от $t\ 20\ ^\circ\text{C}$ до $t\ 70\ ^\circ\text{C}$ по истечении пяти минут работы теплообменника, при t наружного воздуха равной $-10\ ^\circ\text{C}$. По предварительным расчетам «ГК» с площадью нагревательной панели равной одному квадратному метру способен производить до $0,63\ \text{кВт} / \text{час}$ тепловой энергии.

Использование гелиотермального коллектора в качестве компонента фасадной системы в строительстве сооружений жилого и общественного назначения позволит существенно снизить затраты на отопление, в течении всего периода эксплуатации.



Рисунок 3 – Экспериментальный образец «ГК» в лаборатории, январь 2016

Литература

1. Klemes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyanskyy L., Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation, CRC Press, Boca Raton, USA, 2015 – 354 p.

2. Капустенко П.А., Кузин А.К., Макаровский Е.Л., Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М., Черная Е.Б. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы. ООО Издательский дом «Вокруг цвета. 2004 – 312 с.

Bibliography (transliterated)

1. Klemes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation, CRC Press, Boca Raton, USA, 2015 – 354 p.

2. Kapustenko P.A., Kuzin A.K., Makarovskiy E.L., Tovazhnyansky L.L., Ulyev L.M., Chernaya E.B. Alternativnaya energetika i energosberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy. ООО Izdatelskiy dom «Vokrug tsveta. 2004 – 312 p.

УДК 621.311.243

Коптєв Д.О.

ПЕРСПЕКТИВИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

У статті розглядаються можливості розвитку сонячної енергетики. Описана ідея створення геліотермального колектора, яка заснована на принципі отримання інфрачервоного тепла від сонячного потоку для обігріву приміщень. Наведено дані про експериментальні дослідження геліотермального колектора.

Koptyev D.

PROSPECTS OF SOLAR ENERGY IN UKRAINE

The article discusses the possibility of the solar energy development. We describe the idea of a solar thermal air heat collector is based on the principle of receiving infrared heat from the solar flux for space heating. The data about experimental research solar thermal air heat collector.

УДК: 621.311.

Канюк Г.І., Козлова М.Л., Бабенко І.А., Сук І.В.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ УНІФІКАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗМІСТУ ПИТАНЬ СКЛАДУ ТА СТВОРЕННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ АСУ ТП

Вступ. У роботах [1–3] виконано загальну постановку актуальної науково-педагогічної задачі формування змісту, моделей і методів навчання дисципліні АСУ ТП майбутніх фахівців цієї галузі: визначено цілі, зміст, об'єкт, предмет і основну гіпотезу дослідження; побудовано системну ієрархічну структуру уточнених вихідних базових понять і визначень з АСУ ТП; розроблено універсальну функціональну схему побудови АСУ складними технічними об'єктами. Наступними важливим науковим завданням у цьому напрямку є розробка теоретичних та методичних засад уніфікації інформаційного змісту питань і складу та створення АСУ ТП, на основі яких можуть бути виконані їх системний аналіз, уніфікація, розроблено відповідне нормативне забезпечення – технічні вимоги, технічні умови забезпечення необхідних показників якості, галузеві стандарти і нормативні методики. Вирішення цього завдання є основною метою даної статті.

Виклад основного матеріалу. Метою вивчення дисципліни АСУ ТП є формування у майбутніх інженерів і інженерів-педагогів енергетичного профілю фундаментальної системи теоретичних знань і практичних вмінь у галузі створення налагодження, випробувань, експлуатації і ремонту АСУ ТП в енергетичних об'єктах і технологічних системах. Ці знання і вміння формуються у процесі вивчення теоретичних і практичних аспектів дисципліни АСУ ТП на лекційних, практичних та лабораторних заняттях, а також під час самостійної роботи над курсом. При цьому ставляться жорсткі вимоги до формування змісту, моделей і методики навчання, оскільки в обмеженому об'ємі навчальних годин необхідно висвітлити і закріпити різноманітні і досить складні питання, що складають теоретичну основу дисципліни. Виходячи з цього, представляється доцільним формування інформаційного змісту АСУ ТП на основі компетентнісного підходу [1], виділивши при цьому три основні групи компетенцій, які необхідні при створенні прецизійних енерго- і ресурсозберігаючих АСУ ТП. До них відносяться:

- загально-наукові компетенції;
- загально-інженерні компетенції;
- професійні (технологічні) компетенції.

Загально-наукові компетенції формуються на основі спеціальних розділів вищої математики, необхідних для динамічного аналізу, структурно-параметричного синтезу і оптимізації систем автоматичного керування і регулювання, що входять до загальної структури АСУ ТП (до таких розділів відносяться перетворення Лапласа, дискретне Z – перетворення, комфортне відображення, методи оптимізації, апроксимації функцій і чисельного аналізу), прикладної теорії коливань, елементів інформатики, програмування та обчислюваної техніки.

Завданнями загально-інженерних компетенцій є формування системних знань з фізичних процесів і технічних пристроїв, що складають елементну базу виконавчих механізмів САР і САУ, а також з основ технічної кібернетики, яка визначає загальні принципи побудови і функціонування систем автоматичного керування і регулювання.

Професійні компетенції, базуючись на двох попередніх, є необхідними для формування завершальної стадії створення і забезпечення якості прецизійних енерго- і ресурсозберігаючих АСУ ТП.

Загальну структуру і взаємозв'язок означених компетенцій наведено на рис. 1.

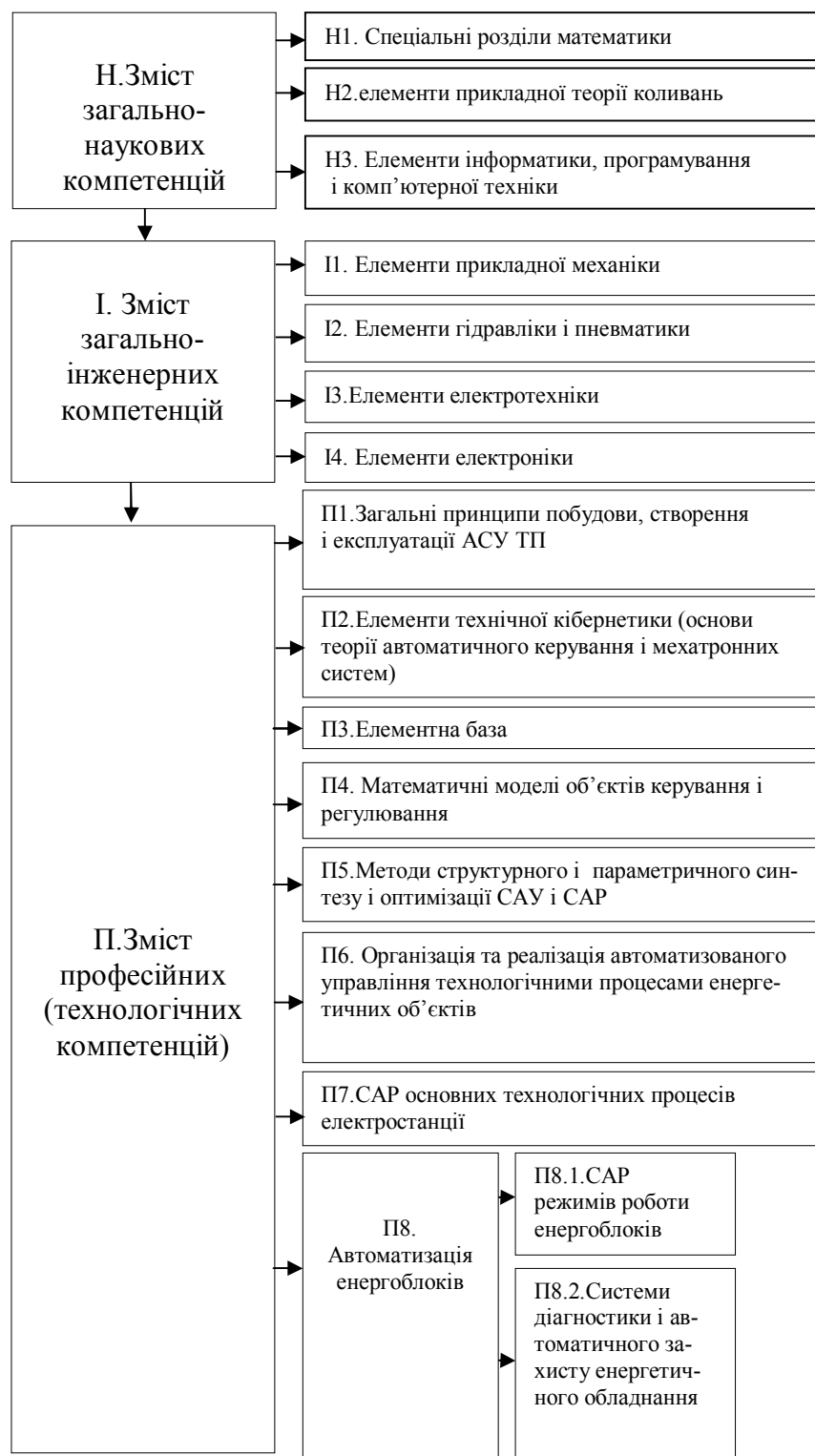


Рисунок 1 – Структурна модель компетентнісної уніфікації інформаційного змісту АСУ ТП

Ця структура може бути представлена у вигляді взаємопов'язаних множин (рис. 2). При цьому перша базова множина, що відповідає загально-науковій компетенції, є вкладеною у множину загально-інженерної компетенції, і разом з останньою – у мно-

жину професійної компетенції: $H \subset I \subset \Pi$.

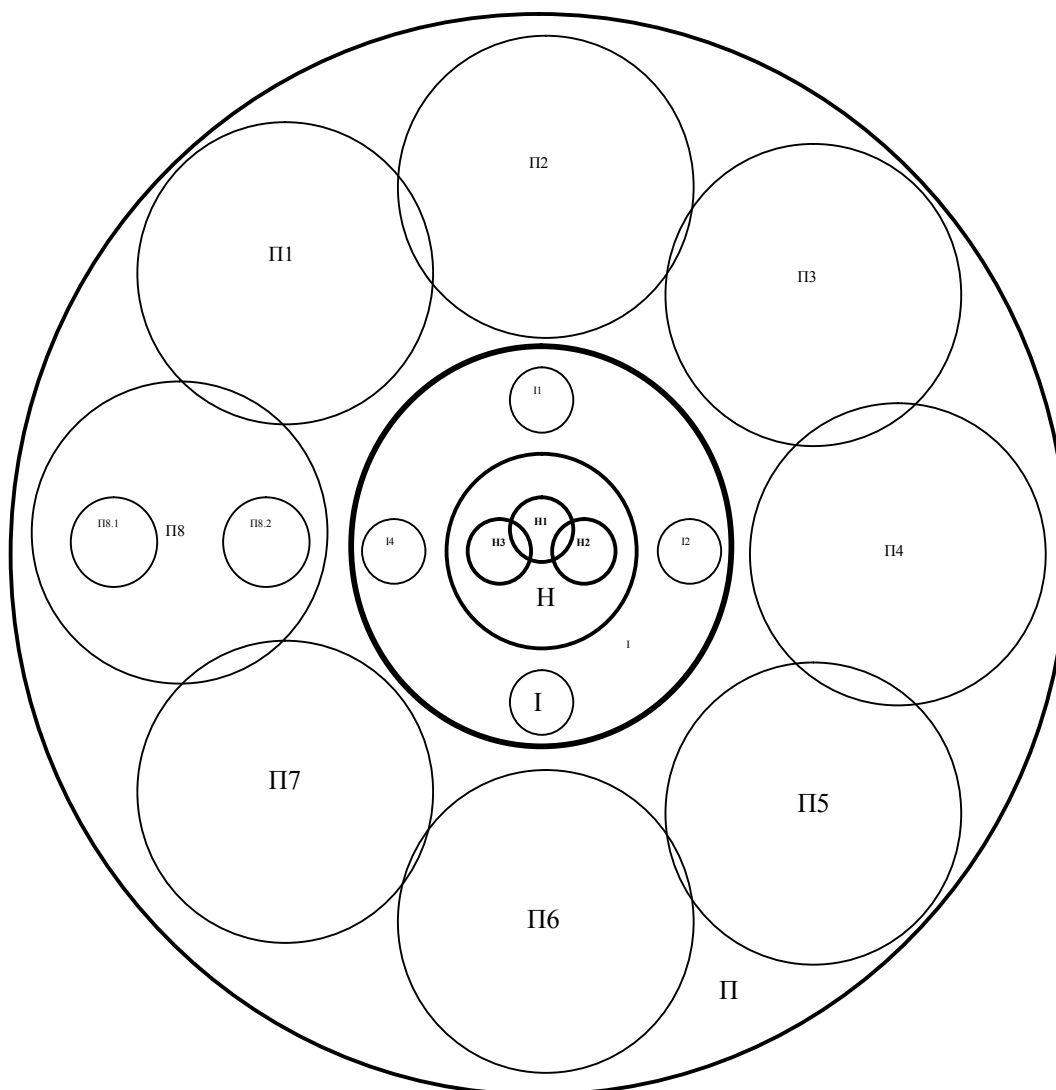


Рисунок 2 – Множинне представлення компетентнісної уніфікації інформаційного змісту АСУ ТП

Окремі елементи змісту всіх компетенцій є вкладеними множинами у множини відповідних базових компетенцій, і деяких з них можуть бути пересічними між собою:

$$\begin{aligned} &\{H1, H2, H3; \\ &\{I1, I2, I3, I4; \\ &\{\Pi1 \cap \Pi2 \cap \Pi3 \cap \Pi4 \cap \Pi5 \cap \Pi6 \cap \Pi7 \cap \Pi8\} \subset \Pi. \end{aligned}$$

При цьому зміст професійних компетенцій може бути сформований у трьох основних модулях шляхом об'єднання множин $\Pi2$ - $\Pi5$ і $\Pi6$ - $\Pi8$ (див. рис. 2):

$$\begin{cases} M1: \Pi1; \\ M2: \Pi2 \cup \Pi3 \cup \Pi4 \cup \Pi5; \\ M3: \Pi6 \cup \Pi7 \cup \Pi8. \end{cases}$$

Перший модуль «Загальні принципи побудови, створення і експлуатації АСУ ТП» включає наступні блоки:

- призначення і функції АСУ ТП;
- критерії якості керування і технологічні обмеження;
- застосування ЕОМ в АСУ ТП;
- взаємодія людини-оператора з технічними засобами АСУ ТП;
- склад і стадії створення АСУ ТП.

Другий модуль «Основи технічної кібернетики і теорії автоматичного керування» є найбільш складним і об'ємним. Він включає в себе: основні поняття, визначення і класифікації, елементну базу, математичні моделі, методи аналізу, синтезу і оптимізації САУ і САР.

Третій модуль присвячений безпосередньо організації і реалізації АСУ ТП енергетичних об'єктів і містить наступні компоненти:

- універсальна система технічних вимог до прецизійних енергозберігаючих САУ і САР;
- уніфіковані принципи практичної реалізації ПЕ САУ і САР;
- універсальна структура технологічного процесу створення ПЕ АСУ ТП;

Детальну структуру першого, другого і третього модулів наведено на рис. 3–5.

Модуль №1

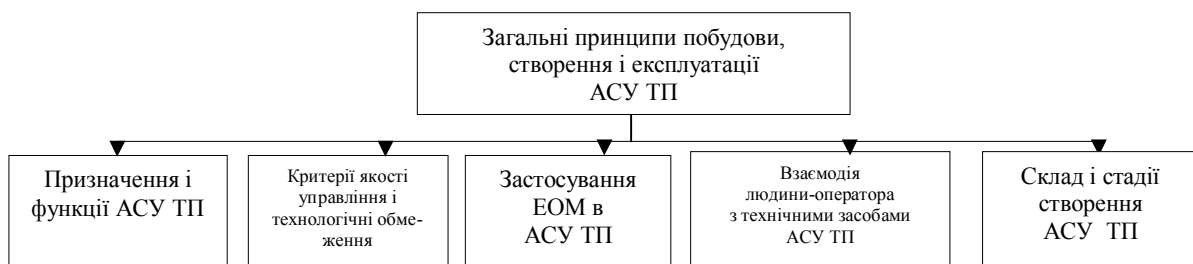


Рисунок 3 – Структура першого уніфікованого інформаційного модуля АСУ ТП

Висновки

1. На основі компетентнісного підходу розроблено раціональну уніфіковану структуру інформаційного змісту з питань складу і створення прецизійних енергозберігаючих АСУ ТП. Розроблену структуру представлено у вигляді структурної і множинної моделей, які є наочними і можуть легко сприйматися розробниками і користувачами АСУ ТП.

2. Розроблена уніфікована структура інформаційного змісту АСУ ТП включає три змістових модулі, які забезпечують послідовне поступове представлення всіх основних аспектів створення, функціонування і використання АСУ ТП в технологічних об'єктах і системах з відповідними структурними декомпозиціями і може бути основою для їх розробки, модернізації і уніфікації.

3. Наступними науковими завданнями у цьому напрямку є розробка інноваційних типових уніфікованих технічних вимог до прецизійних енергозберігаючих АСУ ТП, принципів і функціональних схем, математичних моделей, методів структурно-параметричного синтезу і оптимізації, а також розробка і дослідження конкретних систем, що стане основою для створення відповідного нормативного забезпечення.

Модуль № 2

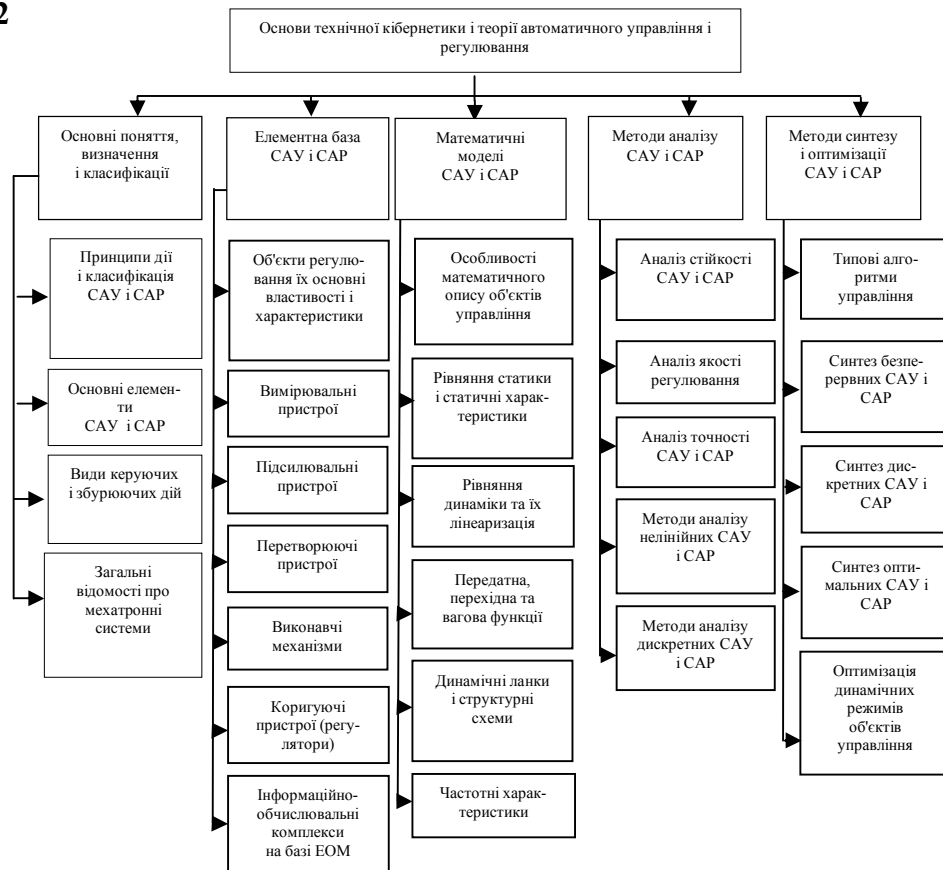


Рисунок 4 – Структура другого уніфікованого інформаційного модуля АСУ ТП

Модуль № 3

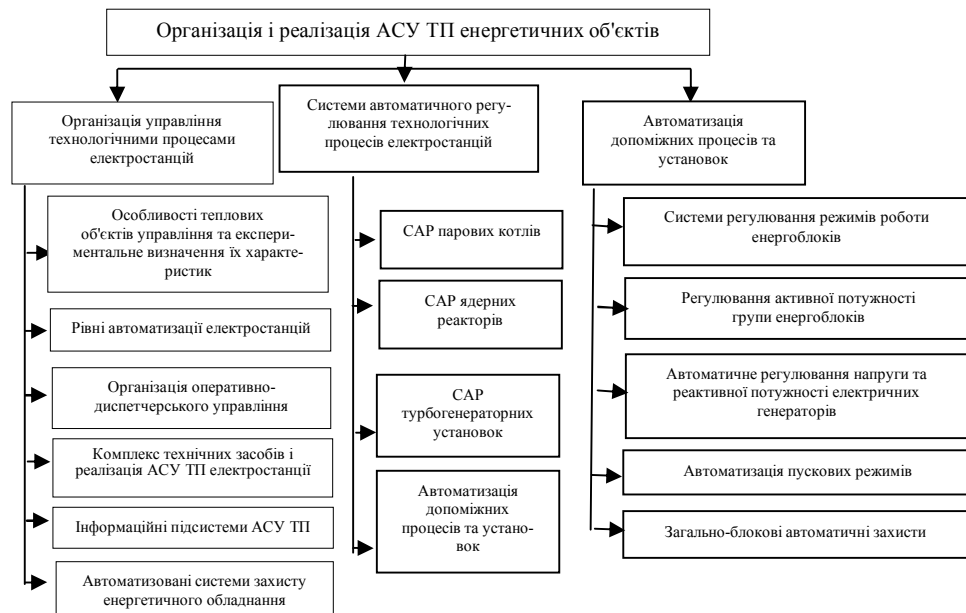


Рисунок 5 – Структура третього уніфікованого інформаційного модуля АСУ ТП

Література

1. Канюк Г.И., Козлова М.Л. Интегрированный подход к постановке курса АСУ ТП для будущих инженеров, инженеров-теплоэнергетиков, инженеров-педагогов / Збі-

рник тез та доповідей : XIVII наукова-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників УІПА. – Харків: –2014. –С.16–17.

2. Канюк Г.И., Козлова М.Л. О системном интегрированном обучении дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)»/ Збірник тез та доповідей :XIVII наукова-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників УІПА. –Харків: – 2014.– С.17–18.

3. Канюк Г.И., Загребельная Л.И., Козлова М.Л. К вопросу о формировании содержания и методики обучения дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» (АСУ ТП) будущих инженеров-энергетиков и инженеров-педагогов / Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. – Бердянськ: –2015. –Вип. №2. – С. 91–99.

Bibliography (transliterated)

1. Kanyuk G.I., Kozlova M.L. Integrirovannyiy podhod k postanovke kursa ASU TP dlya buduschih inzhenerov, inzhenerov-teploenergetikov, inzhenerov-pedagogov. Zbirnik tez ta dopovidey : XIVII naukova-praktichna konferentsiya naukovo-pedagogichnih pratsivnikov, naukovtsiv, aspirantiv ta spivrobitnikov UIPA. – Harkiv: –2014. –P.16–17.

2. Kanyuk G.I., Kozlova M.L. O sistemnom integrirovannom obuchenii distsipline «Avtomatizirovannyye sistemyi upravleniya tehnologicheskimi protsessami (ASU TP)». Zbirnik tez ta dopovidey :XIVII naukova-praktichna konferentsiya naukovo-pedagogichnih pratsivnikov, naukovtsiv, aspirantiv ta spivrobitnikov UIPA. – Harkiv: –2014. – P. 17–18.

3. Kanyuk G.I., Zagrebelnaya L.I., Kozlova M.L. K voprosu o formirovanii so-dержaniya i metodiki obucheniya distsipline «Avtomatizirovannyye sistemyi upravleniya tehnologicheskimi protsessami» (ASU TP) buduschih inzhenerov-energetikov i inzhenerov-pedagogov. Naukovi zapiski Berdyanskogo derzhavnogo pedagogichnogo universitetu. – Berdyansk: –2015. –Vip. #2. – P. 91–99.

УДК: 621.311.

Канюк Г.И., Козлова М.Л., Бабенко И.А., Сук И.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УНИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОПРОСАМ СОСТАВА И СОЗДАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В статье разработаны теоретические и методические основы унификации информационного содержания вопросов состава и создание прецизионных энергосберегающих систем управления, на основе которых могут быть выполнены их системный анализ, унификация и разработано соответствующее нормативное обеспечение – технические требования, технические условия обеспечения требуемых показателей качества, отраслевые стандарты и нормативные методики.

Kanyuk G.I., Kozlova M.L., Babenko I.A., Suk I.V.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS UNIFICATION OF THE INFORMATION ON THE COMPOSITION AND CAPACITY MANAGEMENT SYSTEMS ENERGY SAVING PRETSENZIONNYE

The article developed the theoretical and methodological foundations of the unification of content issues of composition and creation of high-precision energy-saving control systems, on which can be made of the system analysis, unification and to develop appropriate regulatory support – the technical requirements, specifications to ensure the required quality metrics, industry standards and regulations technique.

УДК: 661.333(075)–048.34:005.337

Бобух А.О., Дзевочко О.М., Подустов М.О., Сляднева А.С.

АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ

Вступ

Виробництво кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС) складається з основних та допоміжних об'єктів із складними технологічними процесами та апаратами хімічної технології з декількома замкненими циклами по аміаку та вуглекислому газу [1–2]. Наявність замкнених циклів значно ускладнює управління об'єктами ВКС, оскільки виникаючі «непередбачені» порушення технологічного процесу на одному об'єкті дуже швидко розповсюджується на другі, що викликає небажані відхилення цих процесів від норм технологічного регламенту.

Сучасний розвиток науково-технічного прогресу дозволяє розглядати основні принципи підвищення енергозбереження ВКС з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління цим виробництвом.

Мета роботи

Розробити алгоритм структурної ідентифікації на базі методу покрокової регресії, який був би економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, сприяв підвищенню енергозбереження з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління ВКС.

Основна частина

Процес визначення математичної моделі реального хіміко-технологічного об'єкта включає як його експериментальне дослідження, так і розробку алгоритмів, які передбачають визначення структури моделі (структурна ідентифікація), оцінку параметрів математичної моделі визначеної структури (параметрична ідентифікація) та оцінку адекватності цієї моделі реальному об'єкту [3–5].

Значні труднощі отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів ВКС завдають неконтрольовані зміни значень параметрів технологічних процесів, які викликані старінням обладнання, нестабільністю характеристик сировини тощо. При ідентифікації об'єктів ВКС статистичними лінійними за параметрами математичними моделями описується широкий клас об'єктів як статичних, так і динамічних, лінійних або нелінійних за незалежними параметрами. Практично більше використовуються нелінійні математичні моделі не вище другого порядку.

Підвищення точності ідентифікації об'єкта шляхом його опису математичними моделями статистики з не лінійністю навіть до другого порядку приводить до багато розмірної задачі параметричної ідентифікації, а з урахуванням інерційності об'єктів отримують ще більше багато розмірні задачі.

Для виходу із цієї складної ситуації треба розробити алгоритми, які б забезпечували зменшення розмірності математичної моделі шляхом виключення із її структури незалежних параметрів (наприклад, парних добутків параметрів), які не забезпечують значного підвищення точності цієї моделі.

Алгоритм ідентифікації, що пропонується, має підвищену швидкодію та точність ідентифікації, а також може бути застосований для широкого класу не тільки статичних, але також динамічних систем.

Розглянуті особливості ідентифікації об'єктів ВКС сприяють визначенню завдання структурної ідентифікації.

Введемо деякі допущення:

1. задаємо клас операторів $A_k \in A$, якими можливо описати співвідношення поміж вхідними (незалежними) та вихідними (залежними) параметрами об'єктів, для яких виконується ідентифікація, тобто вигляд математичної моделі визначається рівнянням:

$$y = A_k(x), \quad (1)$$

де y – вихід (залежний параметр) об'єкту; $x = (x_1, \dots, x_k)^T$ – k – мірний вектор входів (незалежних) параметрів об'єкту; T – символ транспонування; A_k – оператор об'єкту, який треба визначити.

Практично в залежності від призначення математичної моделі (управління, прогнозування, оптимізації тощо) клас операторів задається евристично;

2. усі оператори A_k можливо апроксимувати на базі співвідношення:

$$A_k(x) = k^T \varphi(x), \quad (2)$$

де $k = (k_1, \dots, k_m)^T$ – m – мірний вектор k ; $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x))^T$; $\varphi(x)$ – m – мірний вектор, елементами якого є деякі функціональні перетворення від вхідних (незалежних) параметрів. Шляхом відповідного вибору елементів m – мірного вектору k , які дорівнюють нулю або деякій величині, яка не дорівнює нулю, можливо апроксимувати з достатнім ступенем точності будь-який з операторів $A_k \in A$ (для скорочення запису в подальшому $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x))^T$ будемо позначати φ). Розглянуте допущення вводимо для лінійної параметризації завдання ідентифікації, воно є поширеним способом апроксимації;

3. існує оператор $A_k^{\text{опт}} \in A$, який краще других операторів $A_k \in A$ описує об'єкт, який ідентифікують, та складається із елементів $\varphi^{\text{опт}} \supset \varphi$;

4. виходячи із того, що оператори A_k апроксимуються лінійною комбінацією елементів вектора (множини) φ , якість апроксимації справжнього оператора краще за все оцінювати коефіцієнтом множинної кореляції $R_{y/\varphi}^{\text{опт}}$;

5. якість оцінки параметрів математичної моделі краще за все визначати при

допомогі випуклого функціонала від різниці виходів цієї моделі та об'єкта.

За зазначених допущеннях формальна постановка завдання структурної ідентифікації визначається наступним чином:

із заданого класу операторів A необхідно вибрати оператор $A_k^{\text{опт}} \in A$ та оцінити його параметри, який складається із елементів $\varphi^{\text{опт}} \supset \varphi$, при цьому повинні виконуватися умови критерію:

$$R_{y/\varphi}^{\text{онм}} = \max R_{y/\varphi}; \quad \forall \varphi^j \subset \varphi; \quad j \leq r \leq m, \quad (3)$$

де j – кількість елементів в множині φ^j ; r – максимально допустиме значення j ; m – розмірність вектору φ ,

а потім визначити оцінку вектора k на основі оптимізації вибраного випуклого показника якості (різниця виходів цієї математичної моделі та об'єкту).

Наведена постановка завдання структурної ідентифікації стала початковою для розробки алгоритму, який здатний реагувати як на параметричну, а також на структурну не стаціонарність математичних моделей ВКС. Під структурною не стаціонарністю моделі будемо розуміти таку параметричну не стаціонарність, при якій деякі значимі параметри моделі можуть стати не значимими та/або навпаки.

Одним із таких алгоритмів може стати алгоритм структурної ідентифікації, який подібний алгоритму покрокової регресії [4–6], але реалізований шляхом рекурентного розрахунку коефіцієнтів часткової кореляції, що підвищує швидкість його розрахунку.

Для розробленого алгоритму прийняте співвідношення:

$$\frac{S_e^2}{S_y^2} = 1 - R_{y/\varphi^j} = \prod_{i=1}^r (1 - \rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}}), \quad \varphi_i \in \varphi \setminus \varphi^{i-1}, \quad (4)$$

де R_{y/φ^j} – коефіцієнт множинної кореляції; S_e^2 – оцінка дисперсії залишкової помилки математичної моделі; S_y^2 – оцінка дисперсії виходу об'єкта; $\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}}$ – коефіцієнти часткової кореляції;

$$\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}} = \frac{\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}} - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}} \cdot \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}}}{[(1 - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}})(1 - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}})]^{1/2}}, \quad (5)$$

$i-1$ – число елементів множини φ^{i-1} .

В формулах (4) та (5) припускається, що елементи множини φ підпорядковані та включені в множини φ^{i-1} послідовно $1, 2, \dots, i-1$ тим саме, обумовлено виконання умови $\varphi_i \in \varphi \setminus \varphi^{i-1}$.

На кожному кроці алгоритму (4) перевіряються умови зупинки вибору структури за рахунок зменшення кількості моделей, що розглядаються, тому:

на першому кроці визначаються усі моделі з одним незалежним параметром. Із цих моделей вибирається та модель, у якій значення критерію (3) максимальне;

на другому кроці до незалежного параметра в модель, яка вибрана на першому кроці, доповнюються один по одному усі незалежні параметри, що залишилися в множині φ^m (те ж саме виконується до $(i-1)$ -го кроку);

на i -тому кроці до незалежних параметрів, які вибрані в моделі на $(i-1)$ -му кроці, доповнюються по одному усі незалежні параметри, які залишилися в множині φ^{m-i+1} .

Після цього визначаються математичні моделі з i -ми незалежними параметрами, а із них вибирається математична модель, яка приведе до максимального значення критерію (3).

Процедура продовжується поки не буде виконаний критерій зупинки процесу вибору математичної моделі, але не більше r кроків, оскільки кількість незалежних параметрів в моделі повинно бути не більше r .

Кількість (k) математичних моделей за методом покрокової регресії, які треба переглянути, визначається за рівнянням [4–6]:

$$k = \sum_{i=1}^r (m - i + 1) + 1. \quad (6)$$

Для зупинки вибору математичної моделі за методом покрокової регресії мають місце дві різновидності критерію цього вибору, перша з них зв'язана із статистикою:

$$E_j = \frac{R_{y/\varphi^j}^2 - R_{y/\varphi^{j-1}}^2}{t - j - 1} \cdot \frac{1}{1 - R_{y/\varphi^{j-1}}^2}, \quad (7)$$

яка має розподілення Фішера [5] $F(1, t - j - 1)$. Гіпотеза про значимість приросту коефіцієнта множинної кореляції (тобто гіпотеза про необхідність продовження вибору моделі) сприймається, якщо

$$E_j > F(1, t - j - 1, \alpha), \quad (8)$$

де α – заданий рівень значимості.

Друга різновидність критерію вибору математичної моделі дозволяє припинити вибір моделі, якщо в множині $\varphi \setminus \varphi^i$ не залишилось елементів φ_k , для яких коефіцієнт кореляції з елементами φ^i менший заданого значення $R_{\max}$ (який дорівнює 0,95–0,99).

Дослідження підтвердили [3], що розроблений алгоритм структурної ідентифікації (разом з двома різновидностями критерію вибору моделі) є економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, оскільки не потребує для вибору структури побудови адекватних математичних моделей.

Застосування цього алгоритму найбільше раціональне для отримання псевдо оп-

тимальної структури моделі та послідовного уточнення її параметрів.

Реалізація розробленого алгоритму може бути виконана на базі сучасних мікропроцесорних контролерів [7] при розробці комп'ютерно-інтегрованих об'єктів для енергозбереження ВКС.

Висновок

В результаті досліджень розроблений алгоритм структурної ідентифікації на базі методу покрокової регресії, який є економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, сприяє значному підвищенню енергозбереження з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління виробництвом кальцинованої соди за аміачним способом.

Література

1. Шокин И.Н. Технология соды [Текст] / И.Н. Шокин, С.А. Крашенинников. – М.: Химия. 1975. – 287 с.
2. Зайцев И.Д. Производство соды [Текст] / И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач, Н.Д. Стоев. – М.: Химия. 1984. – 312 с.
3. Бобух А.А. Автоматизированная система управления технологическими процессами содового производства: Обзорная информация / А.А. Бобух, В.М. Момот, Л.А. Байбакова. – М.: НИИТЭХИМ. 1981. – 36 с.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления [Текст] / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
5. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации [Текст] / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1995. – 336 с.
6. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
7. Жук В.И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе: опыт построения [Текст] / В.И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010.- № 01 (82). – С. 41–43.

Bibliography (transliterated)

1. Shokin I.N. Tehnologiya sodyi [Tekst]. I.N. Shokin, S.A. Krashennnikov. – Moscow: Himiya, 1975. – 287 p.
2. Zaytsev I.D. Proizvodstvo sodyi [Tekst]. I.D. Zaytsev, G.A. Tkach, N.D. Stoev. – Moscow: Himiya. 1984. – 264 p.
3. Bobuh A.A. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya tehnologicheskimi protsessami sodovogo proizvodstva: Obzornaya informatsiya. A.A. Bobuh, V.M. Momot, L. A. Baybakova. – M.: NIITEHIM. 1981. – 36 p.
4. Jeikhoff P (1975). Bases of authentication of control system [Osnovy identifikatsii sistem upravleniya], Mir, Moscow, 680 p.
5. Cyppkin Ja.Z. (1995). Informative theory of authentication [Informacionnaja teoriya

identifikacii], Nauka, Moscow, 336 p.

6. Tjugin I.Ju., Terehov V.A. (2008). Adaptation in the nonlinear dynamic systems: monograph [Adaptacija v nelinejnyh dinamicheskikh sistemah: monografija], LKI, SPb, 384 p.

7. Zhuk V.I. (2010). Microprocessor-based comptrollers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroenija], Jenergetika i TJeK, № 01 (82), pp. 41–43.

УДК: 661.333(075)–048.34:005.337

Бобух А.А., Дзевочко А.М., Подустов М.А., Сляднева А.С.

АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

В результате исследований разработан алгоритм структурной идентификации на базе метода пошаговой регрессии, который является экономичным с точки зрения необходимого для его реализации числа операций, способствует значительному повышению энергосбережения с улучшением качества управления за счет получения адекватного математического описания технологических объектов при разработке и внедрении компьютерно-интегрированного управления производством кальцинированной соды по аммиачному способу.

Bobukh A.A., Dzevochko A.M., Podustov M.A., Slyadneva A.S.

ALGORITHM OF SODA ASH PRODUCTION OBJECTS STRUCTURAL IDENTIFICATION

The algorithm of structural identification on the basis of a step-by-step regression method, which is economic from the viewpoint of operations number, necessary for its implementation, and which promotes substantial increase of energy saving with improvement of management quality due to obtaining the adequate mathematical description of technological objects at development and deployment of the soda ash computer integrated production management on an ammoniac way, is developed as a result of researches.

УДК 621.181

Гулей А.Б., Ключка Е.П.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗОЛЬНОСТИ УГЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОПКЕ КОТЛА ТПП-312А ПРИ ПЕРЕХОДЕ К НЕПРОЕКТНЫМ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВАМ

Введение. В Украине твердое топливо является сегодня основным для тепловых электрических станций (ТЭС), причем запасов угля в стране хватит на 300–400 лет. Но, что характерно и для многих угледобывающих стран, качество добываемых углей непрерывно снижается, в основном за счет увеличения содержания балласта и серы. Это связано как с ухудшением горно-геологических условий добычи ископаемых топлив, так и с экономическими обстоятельствами [1,2]. Использование таких топлив в совокупности с износом оборудования на отечественных ТЭС в течение последних 50 лет, привели к снижению их КПД, в среднем, с 36...38 % до 25...28 % [1,2].

Поэтому актуальным для ТЭС Украины становится широкое использование низкосортных (непроектных) углей, к которым обычно относят угли с теплотой сгорания не более 14 МДж/кг, зольностью выше 40...50 % и влажностью выше 35...40 %. Украинские низкосортные угли характеризуются также средним и высоким содержанием серы и высоким выходом летучих веществ [1, 3].

Но переход на низкосортные угли потребует предварительных экспертных оценок о возможности и условиях использования угля с заданными характеристиками в конкретном котле. Этап получения таких оценок облегчит и оптимизирует поиск вариантов взаимозаменяемых углей, уменьшит затраты на экспериментальную проверку предложенных решений. Таким образом, для обеспечения эффективной работы ТЭС при изменении топливных режимов, необходимо создание методологической базы, позволяющей на начальных этапах прогнозировать все положительные и отрицательные последствия смены топлива [4].

Влияние балласта твердого топлива на адаптацию технологий факельного сжигания для перехода на низкосортные угли. Переход на низкосортные угли требует комплексного приспособления существующих технологий в силу того, что пылеугольные топki с факельным сжиганием эффективны, прежде всего, при использовании проектного топлива. В результате увеличения доли балласта топлива, соответственно уменьшаются теплота сгорания Q_n^p топлива, а также объемы воздуха и продуктов сгорания в расчете на величину B_{1p} расхода топлива. Но, необходимость обеспечения неизменной паропроизводительности, в нашем случае потребует пропорционального увеличения расхода топлива до величины B_{2p} . Следовательно, суммарное количество влаги и золы, вносимое в топку готовой пылью, также увеличится пропорционально B_{2p} . При этом суммарное изменение расхода балластного компонента топлива включает как долю компонента, определяемую изменением содержания его в рабочей массе топлива, так и долю, определяемую изменением суммарного расхода топлива ΔB_{1p} :

$$B_{2p}(A_2^p + W_2^p) = B_{1p}(A_1^p + W_1^p) + \Delta B_{1p}[(A_1^p + \Delta A^p) + (W_1^p + \Delta W^p)].$$

Анализ раздельного влияния компонентов топлива предполагает фиксацию расхода одного из них при заданном изменении другого. В нашем случае это означает: $\Delta W^p = 0$. При всей условности сделанных допущений, на практике можно обеспечить заданную величину W^p за счет применения разомкнутой схемы пылеприготовления с использованием шнековых сушилок как отдельно, так и в сочетании с шахтными сушилками [2]. Но даже в случае $W^p = \text{const}$, при изменении A^p и соответствующего B_p , расход влаги в топке котла изменяется на величину $W^p \Delta B_p \neq 0$, что приводит к дополнительному тепловому эффекту, который для нас является погрешностью модели. Но такая модель отвечает условиям реальной работы котла при изменении A^p . Тем более, что относительное изменение влажности $W^p \Delta B_p$ по отношению к соответствующему изменению зольности $\Delta B_{1p}(A_1^p + \Delta A^p)$, в нашем случае не превосходит 3 %.

Влияние зольности твердого топлива на характеристики технологических процессов в топках пылеугольных паровых котлов. Увеличение зольности топлива негативно влияет на параметры технологических процессов в котельной установке и, в конечном итоге, – на базовый для работы котла процесс горения топлива в топке. Примеры такого влияния на характеристики топочных процессов рассмотрены при анализе нижеследующих публикаций.

В работе [5] приведены экспериментальные данные, полученные на котле ТП-100 при сжигании смеси АШ и шлама. На их основании рассмотрена зависимость $\eta_{бр}$ котла от A^p топлива и показано, что за счет роста потерь теплоты Q_2 и Q_4 величина $\eta_{бр}$ снижается суммарно на 5...7 %. В свою очередь, в работе [6] отмечено, что при сжигании газовых и длиннопламенных углей вклад Q_4 в общее снижение $\eta_{бр}$ существенно ниже. Так, для донецких углей ГСШ в диапазонах изменения $Q_H^p = 21,8...15,9$ МДж/кг и $A^p = 22...40$ %, значение Q_4 возрастает от 0,32 до 0,77 %, что ниже сопутствующего роста величины Q_2 . Суммарное уменьшение $\eta_{бр}$ котла ТПП-312 ($D_0 = 244$ кг/с), сжигающего ГСШ в указанном диапазоне изменения Q_H^p , составляет 1,9 % или 0,15 % на каждый МДж/кг.

Изменение зольности топлива существенно сказывается на температуре дымовых газов в топке. В частности, из экспериментальных результатов работы [5] следует, что при сжигании угля марки АШ увеличение A^p топлива приводит к снижению температуры газов в зоне шлаковой летки, а также сопровождается ростом температуры Θ_T'' в районе газового окна на выходе из топки. Так, снижение величины

Q_H^p на

4 МДж/кг (за счет роста A^p), приводит к росту Θ_T'' на 150 °С. При изменении A^p топлива от 32 до 42 % при номинальной нагрузке котла Θ_T'' возрастает на 60 °С.

В свою очередь, согласно [7] для бурых углей расчетным путем (при постоянной горючей массе топлива) установлено, что повышение A^c на каждые 10 % приводит к

снижению адиабатической температуры Θ дымовых газов на 40...100°C (в зависимости от влажности топлива). Температура факела при этом снижается на 30...90 °C. В свою очередь, уменьшение W^p на 10 % повышает Θ на 100...160 °C, а температуру в ядре факела на 85...130 °C (в зависимости от зольности).

В работе [8] результаты расчётного анализа, выполненного для котла ПК-10, показали, что характер изменения Θ_T'' при увеличении величины A^p топлива от 17 до 46% существенно изменяется, проходя через экстремум. При росте A^p от 17 до 26 % величина Θ_T'' падает от 1248 до 1230 °C, а при дальнейшем росте A^p величина Θ_T'' достигает 1302 °C. Там же предложено объяснение полученной зависимости температуры Θ_T'' : снижение Θ_T'' с ростом A^p до определённого предела происходит за счёт увеличения степени черноты факела, а рост Θ_T'' при дальнейшем увеличении A^p происходит за счёт преобладающего влияния рассеивания лучистой энергии на частицах золы при возрастании ее концентрации в топке.

Выполненный расчет базируется на трехмерной модели зонального расчета теплообмена в топках пылеугольных котлов [9]. В [8] также отмечается, что похожие в качественном отношении результаты получаются и при расчётах Θ_T'' по 3-й редакции нормативного метода Теплового расчета котлов [10]. По-видимому, такое сходство объясняется близостью базовых физических моделей радиационного теплообмена в топках котлов, принятых в [9] и [10]. В пользу такого вывода говорят и данные [8] о том, что при подобных расчетах согласно более ранней редакции нормативного метода [11], где эффект рассеивания лучистой энергии не учитывался, результаты для малозольных и высокозольных углей существенно отличались от результатов, полученных согласно [9] и [10].

Из приведенных данных следует, что при росте A^p топлива происходит уменьшение температуры ядра факела, а с ней и температуры газов в ошипованной части топки. При этом температуры Θ_T'' газов на выходе из топки с увеличением зольности растут, хотя для определенных условий (при сравнительно низких значениях A^p), возможно и уменьшение Θ_T'' .

Постановка задачи исследования. Изменение зольности топлива может существенно влиять на температуры дымовых газов в зонах, где шлакование поверхностей тепловых экранов приводит к потере работоспособности котла. Предполагается, что летучая зола (жидкий шлак) имеет температуру дымовых газов в соответствующих зонах топки.

При этом следует учитывать, что режимы сжигания влияют на процессы шлакования как из-за изменения температур в топке, так и из-за изменения шлакующих свойств золы, и суммарное влияние может быть неоднозначным [12]. Но для первичного прогноза режима сжигания, когда свойства реального шлака и некоторых других технологических параметров не могут быть априори точно оценены, в качестве объекта исследования мы будем рассматривать температурные режимы топки.

Характеристики проектного топлива. Проектное топливо – донецкий уголь марки Г, класс «промпродукт» (аналог –№7 в [12]). Рабочая масса топлива: $W^p = 11\%$;

$A^p = 35 \%$; $C^p = 42,64 \%$; $H^p = 2,95 \%$; $N^p = 0,87 \%$; $S_{k+орг}^p = 2,69 \%$; $O^p = 4,85 \%$.
Выход летучих на горючую массу – $\gamma^p = 42 \%$.

Топливо относится к сильно шлакующим. Первичные отложения имеют плотный характер. Температура начала деформации $t_A = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$; температура потери формы шлака $t_B = 1340 \text{ }^\circ\text{C}$; жидкоплавкого состояния $t_C = 1380 \text{ }^\circ\text{C}$, температура нормального жидкого шлакоудаления $t_{н. ж.} = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$.

Критерии выбора допустимых температур газов перед поверхностями нагрева в топке

Условием нормальной работы топки является надежное вытекание жидкого шлака через летку. Для этого необходимо обеспечить температуру шлака в зоне шлаковой летки, равной или большей, чем температура нормального жидкого шлакоудаления для используемого топлива. В нашем случае $t_{н. ж.} = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ [10,11], т. е. минимальный уровень температур газов на уровне пода топки: $\Theta_T^{под} \geq 1500 \text{ }^\circ\text{C}$.

В свою очередь, увеличение зольности топлива сопровождается ростом температуры Θ_T'' газов на выходе из топки, что при превышении ее допустимой величины приведет к шлакованию поверхностей теплообмена. Верхний предел этой температуры соответствует температуре начала деформации шлака t_A . Поэтому необходимо обеспечить условие: $\Theta_T'' \leq t_A$, где Θ_T'' соответствует средней температуре газов в сечении газотока на выходе из топки. Это условие справедливо при температурной разверке по ширине газотока, равной $\Delta\Theta'' = \Theta_{\max}'' - \Theta'' \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для угля, который мы рассматриваем в качестве проектного, величина допустимой температуры Θ_T'' равна $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ [10,11].

Выбор и обоснование метода расчета характеристик тепломассообмена в топках пылеугольных котлов. Для решения поставленной в работе задачи необходимы оценки температурных полей дымовых газов в объеме топки. Их получение сводится к решению многофакторной стационарной, нелинейной, неоднородной и трехмерной задачи тепломассообмена в топке котла. Это решение базируется на нормативном методе ЦКТИ [10], который, в принципе, дает возможность получать оценки характеристик теплообмена в топке. Но идеализированная одномерная схема топочного процесса и ряд предположений, которые лежат в ее основе, зачастую недостаточно соответствуют реальным условиям работы топочных устройств. Так, в работе [13] отмечается, что нормативный метод базируется на применении теории подобия к процессам теплообмена, и суммарный теплообмен определяется в зависимости от безразмерных критериев Больцмана (Bo) и критерия Бугера (Bu) в [10]. Фактически, это чисто эмпирический метод, с многочисленными не всегда физически оправданными поправками от конструктивных, режимных и прочих факторов, а также от свойств топлива. Кроме того, соотношение критериев Bo и Bu индивидуально для каждого котла и обобщающая его зависимость дает грубое приближение.

Также в [13] делается вывод, что при подготовке эксперимента по сжиганию непроектного угля необходима компьютерная модель горения в топке на физически обоснованных принципах. И таким требованиям отвечает модель зонального метода

расчета теплообмена, предложенная в [9, 14]. Автор указывает на то, что тестирование этой модели по результатам исследований достаточно большого количества котлов в ВТИ, УралВТИ, а также по данным испытаний зарубежных котлов [14] показало хорошее соответствие. Метод [9, 14] соединяет в себе возможности, как зональных методов, так и подходов нормативного метода. Принципиальным преимуществом метода является трехмерное описание геометрии топки котла и представление коэффициентов теплообмена нелинейными и неоднородными зависимостями. Также в расчетной модели [14] учитывается рассеяние лучей золовыми частицами, что существенно повышает ее адекватность исследуемым процессам.

При пространственном описании топки согласно [9, 14], ее объем целесообразно разделить на зоны, в пределах которых предполагается идентичность и однородность процессов тепломассообмена, полей температур, скоростей и других переменных состояния рабочей среды и элементов конструкции. Такое разделение оптимально выполнять плоскими параллельными гранями. При этом объемные зоны образуются в виде параллелепипедов, а поверхностные — прямоугольников. В результате действительные непрерывные поля температуры и физических характеристик тел заменяются конечным числом ступенчато-прерывных однородных участков. В каждой объемной зоне задаются тепловыделение и массовые перетечки через все плоскости соприкосновения с соседними объемными зонами, а также радиационные характеристики среды. В каждой поверхностной зоне задаются температуры стенок, температура внутренней среды, тепловые сопротивления и степень черноты внешнего загрязнения стенок.

Подобная схема для котла ТПП-312А показана на рис. 1, где каждая объемная зона разбита на несколько кубов одинакового размера. При этом размеры зон кратны величине ребра такого куба, которая вычисляется автоматически.

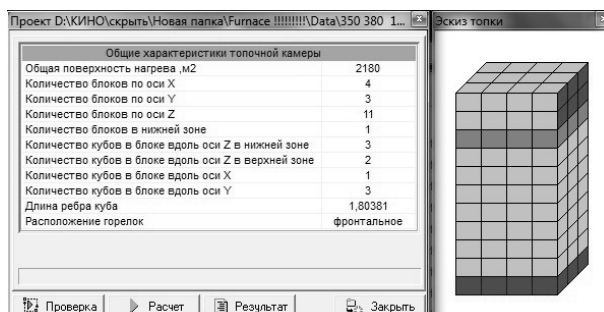


Рисунок 1 – Схема аппроксимации объема топки котла ТПП-312А

Интегральные уравнения теплообмена излучением в топке заменяются при этом конечной системой нелинейных балансовых алгебраических уравнений. Из решения этой системы определяется пространственное поле температур дымовых газов, которое соответствует температурам кубов.

Эти подходы существенно повышают физическую адекватность модели теплообмена в топке, а также дает возможность ее более детального исследования.

Конструктивные и режимные характеристики котла ТПП-312А, необходимые для теплового расчета. Для решения задачи исследования необходимы данные о конструктивных и режимных характеристиках топки котла [15]. Паровой котел прямоточный, сверхкритического давления рабочего тела, с промежуточным

перегревом пара. Он вырабатывает перегретый пар с давлением 25 МПа и температурой 545 °С. Расход перегретого пара 263,9 кг/с (950 т/ч), расход вторичного пара 216,7 кг/с.

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топочная камера – открытая, однокамерная, прямоугольного сечения. В верхней части камеры вводятся дымовые газы рециркуляции. Топка оборудована восьмью горелками, встречно расположенными в один ярус на фронтальной и задней стенках. На выходе из топочной камеры расположен ширмовый пароперегреватель. Подовые экраны и НРЧ до отметки 14,0 м покрыты зажигательным поясом. Шлакоудаление жидкое через две летки в поду топки.

Моделирование зависимости расхода угля от его зольности. Для номинального режима работы по [10] получены следующие характеристики работы котла на проектном топливе: расход топлива $B_p = 45,35$ кг/с; $\eta_{бр} = 90,02$ %; потери $q_4 = 0,5$ %; располагаемая теплота в топке $Q_p^p = 17876$ кДж/кг; полезно использованная теплота в топке $Q_1^p = 742,0$ МВт; влажность $W^p = 11$ % постоянна.

При моделировании зольность изменяют от $A^p = 35$ % до $A^p = 55$ % с шагом 5 %. Величины Q_1^p и $Q_{доп}^B$ принимают соответственно номинальному режиму работы.

Оценку $\eta_{бр}$ рассчитываем согласно [5], где уменьшение $\eta_{бр}$ котла составляет 0,15 % на 1 МДж/кг снижения теплоты сгорания. Здесь уже учтено изменение q_4 в зависимости от величины A^p . Результаты расчетов B_p приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость расчетных величин Q_H^p , $\eta_{бр}$ и B_p от величины A^p топлива

$A^p, \%$	35	40	45	50	55
$Q_H^p, \text{кДж/кг}$	17454	15799	14144	12490	10835
$\eta_{бр}, \%$	90,2	89,95	89,7	89,45	89,19
$B_p, \text{кг/с}$	45,35	50,66	56,2	63,69	73,53

Расчет температурного поля топки котла с помощью вычислительной программы «FURNACE (KGTU)». Представление исходных данных. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать возможности свободно распространяемого программного обеспечения (СРПО), которое включает программы, ориентированные на моделирование и исследование теплоэнергетических систем [16], в том числе и на стадии проектных решений. К СРПО относится и вычислительная программа «Furnace (KGTU)», разработанная под руководством д.т.н. Е.А. Бойко (Красноярский государственный технический университет) [17]. Программа предназначена для использования при наладке и эксплуатации топок паровых котлов и позволяет проводить вычислительные эксперименты. В ней реализован зональный метод расчета теплообмена [14]. Программа имеется в свободном доступе в Internet [17].

Необходимые для теплового расчета котла конструктивные характеристики топки и значения основных физических величин приведены в таблице 2.

Размер ребра куба получен равным 1,804 м. Расчетная лучевоспринимающая площадь поверхности топки 2179,2 м² (заданная конструктивная – 2180 м²).

Для горелок распределение подаваемого в топку воздуха и движение газов приняты двумерными по глубине и высоте топки. Также задается распределение воздуха и аксиальных массовых скоростей газов в каждом горизонтальном слое.

Полученная при расчете система нелинейных балансовых уравнений решается методом Ньютона-Рафсона и требует трех-шести итераций.

Таблица 2 – Конструктивные характеристики топки и значения некоторых физических величин, принятых для теплового расчета

1	Геометрические размеры топки (исходные): высота × ширина × глубина, м	41,5×16,2 × 7,2	8	Поглощательная способность стен топки	0,75
2	Количество блоков и кубов аппроксимации объема топки X × Y × Z	144; 828	9	Распределение выгорания топлива по высоте топки, Z - номер слоя	Z=1, $\Phi = 0,97$; Z=2, $\Phi = 0,02$ Z=3, $\Phi = 0,01$
3	Количество ярусов и высота расположения горелок, м	1; 3,36	10	Размеры газового окна (высота и ширина), м	9×17
4	Размер ребра куба (аппроксимация), м	1,80	11	Температура пароводяной смеси в экранных трубах, °С	405
5	Фракционный состав золы, мкм	16,6	12	Степень загрязнения поверхностей нагрева	3,5; 6
6	Распределение вводимого в топку воздуха	0,2; 0,4; 0,4	13	Температура газов рециркуляции (верхней и нижней) и их доли, °С	395; 0,20; 0
7	Температура горячего воздуха $t_{гв}$, °С	350	14	Температура уходящих газов Θ_{yx} , °С	150

Результаты исследования влияния зольности угля на температуры факела в топке парового котла ТП-312А. В таблице 3 и на рис. 2 приведены зависимости температур t_z^Φ факела от A^P топлива для блоков, где происходит выгорание топлива.

Таблица 3 – Изменение температур t_z^Φ блоков факела в зависимости от A^P

Зольность топлива, A^P , %		35	40	45	50	55
	t_1^Φ , блок (Z=1, Y=2, X=2)	1756	1745	1728	1682	1665
	t_2^Φ , блок (Z=2, Y=2, X=2)	1737	1728	1715	1672	1658

температура факела, °C	t_3^{Φ} , блок (Z=3,Y=2,X=2)	1698	1694	1686	1650	1641
------------------------	-----------------------------------	------	------	------	------	------

Как следует из таблицы 3, температуры факела t_1^{Φ} , t_2^{Φ} и t_3^{Φ} по мере роста A^P топлива от 35 до 55 % уменьшаются в среднем на 4,7 °C, 4,5 °C и 2,2 °C на 1 % увеличения A^P , соответственно.

Среднее значение температуры факела уменьшается на 3,8 °C на 1 % увеличения A^P . При изменении A^P от 45 до 50 % скорость падения t_z^{Φ} в 1,9 раза превосходит среднюю скорость падения t_z^{Φ} на других интервалах изменения A^P .

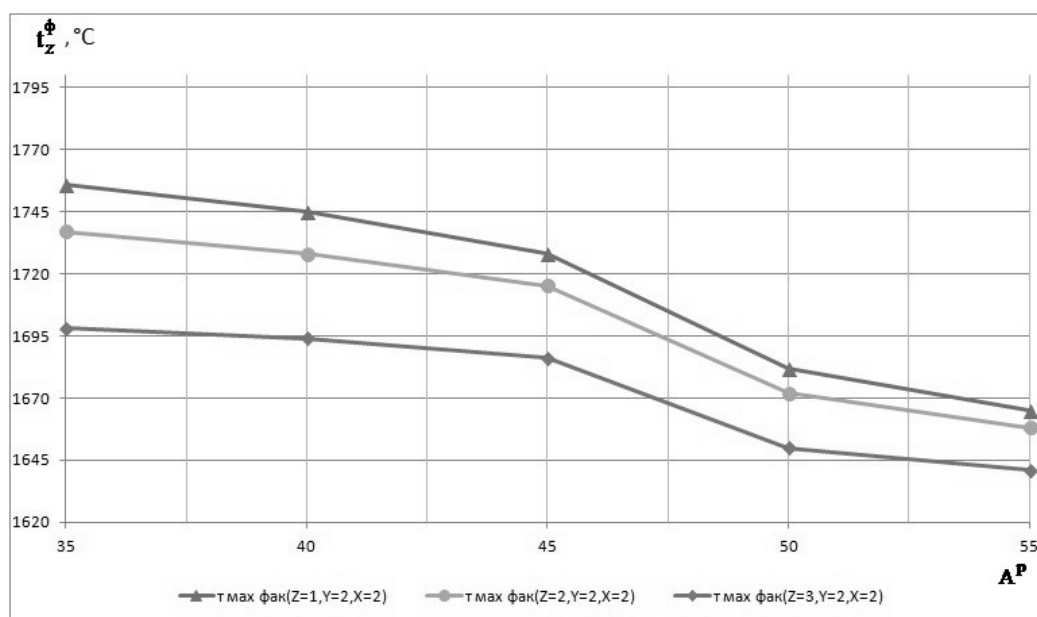


Рисунок 2 – Изменение температур t_z^{Φ} блоков факела в зависимости от A^P

Влияние зольности топлива на температуры дымовых газов в области пода.
В таблице 4 и на рис. 3 приведена зависимость температуры дымовых газов $t_{Z=1}^{\text{под}}$ на уровне пода топки от A^P топлива. Блоки выбраны из условия наименьших величин соответствующих им температур дымовых газов. Из зависимостей следует, что температуры $t_{Z=1}^{\text{под}}$ падают на всем интервале роста A^P , причем скорость падения при изменении A^P от 45 до 50 % в 1,9 раза превосходит среднюю скорость падения $t_{Z=1}^{\text{под}}$.

Таблица 4 – Изменение температур $t_{\min}^{\text{под}}$ дымовых газов на уровне пода топки в зависимости от A^P

Зольность топлива, A^P , %		35	40	45	50	55
Температура газов, °C	блок (Z=1,Y=1,X=1), $t_1^{\text{под}}$	1740	1726	1708	1670	1655
	блок (Z=1,Y=1,X=2), $t_2^{\text{под}}$	1718	1707	1692	1650	1638

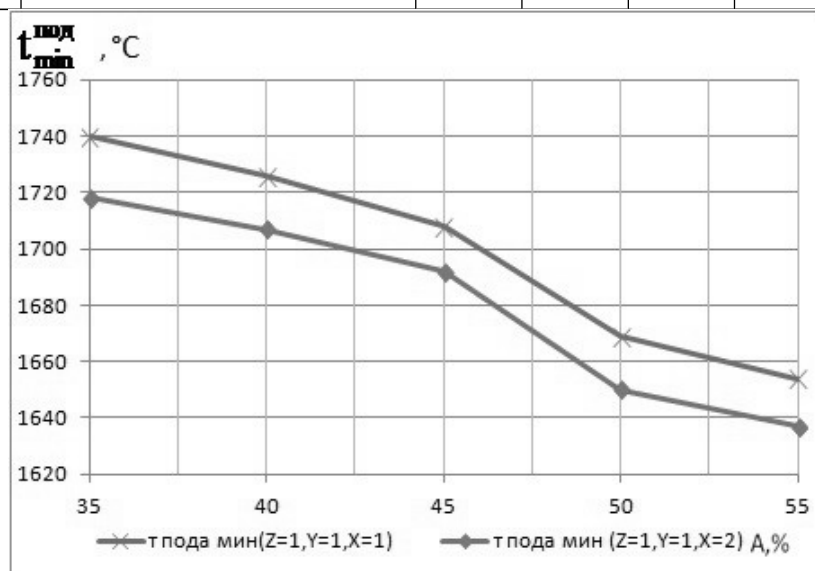


Рисунок 3 – Изменение температур дымовых газов $t_{\min}^{\text{под}}$ на уровне пода топки в зависимости от A^P

Как следует из таблицы 4, средняя величина падения температуры $t_1^{\text{под}}$ для всего интервала изменения A^P равна $4,3^{\circ}\text{C}$, а для температуры $t_2^{\text{под}}$ равна $4,0^{\circ}\text{C}$ на 1 % увеличения зольности, соответственно.

Влияние зольности топлива на температуры дымовых газов на выходе из топки. В таблице 5, а также на рис. 4 приведены результаты оценивания температуры газов Θ_T' на выходе из топки в зависимости от величины A^P .

Из данных таблицы 5 следует, что $\Theta_{\text{Тср.}}''$ газов на выходе из топки растет в среднем на $6,2^{\circ}\text{C}$ на 1 % увеличения A^P . В свою очередь, Θ_T'' max газов на выходе из

топки растет в среднем на $4,7^{\circ}\text{C}$, а $\Theta''_{\text{T min}}$ газов растет в среднем на $7,0^{\circ}\text{C}$ на 1 % увеличения A^{P} , соответственно.

Таблица 5 – Изменения температур газов Θ''_{T} на выходе из топки в зависимости от зольности топлива

Зольность топлива, A^{P} , %		35	40	45	50	55
Температура дымовых газов в окне, $^{\circ}\text{C}$	куб($Z=11, Y=2, X=4$), $\Theta''_{\text{T max}}$	1159	1174	1195	1214	1253
	куб($Z=12, Y=1, X=4$), $\Theta''_{\text{T min}}$	1048	1065	1089	1136	1188
	$\Theta''_{\text{T ср.}}$	1096	1113	1135	1168	1214

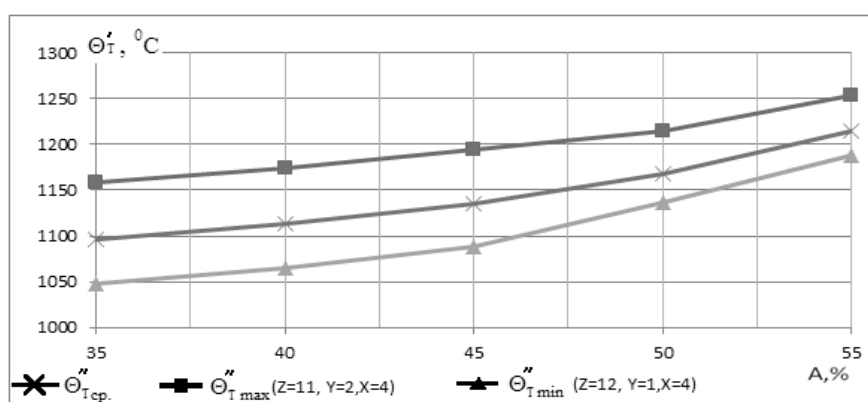


Рисунок 4 – Зависимость температуры Θ''_{T} газов на выходе из топки от A^{P}

Распределение температур газов Θ''_{T} величины температурной разверки и максимальные градиенты температуры в плоскости газового окна в зависимости от A^{P} топлива приведены в таблице 6.

Таблица. 6 Распределение температур газов Θ''_{T} , температурная разверка $\Delta\Theta''_{\text{T}}$ и максимальный градиент $\Delta\Theta''_{\text{T max}}$ в плоскости газового окна в зависимости от A^{P}

Зольність A^p , %	Координати куба	Температури газового окна, °C					
		На выходе из топки Θ''_T , °C			Средняя, $\Theta''_{T_{\text{ср.}}}$	Разверка, $\Delta\Theta''_T$	Градиент $\Delta\Theta''_{T_{\text{max.}}}$
		$Y=1$	$Y=2$	$Y=3$			
35	Z=11	1048	1097	1057	1096	71	111
	Z=10	1109	1159	1113			
45	Z=11	1089	1138	1097	1135	60	106
	Z=10	1144	1195	1148			
55	Z=11	1188	1230	1195	1214	37	65
	Z=10	1209	1253	1212			

Из этих данных следует, что при максимальной зольности температурная разверка в плоскости газового окна составляет 37°C , а максимальный градиент температуры 65°C . Для проектного топлива температурная разверка составляет 71°C , а максимальный градиент температуры 111°C .

Выводы. Из полученных результатов следует:

1. В условиях недостатка проектных энергетических углей на ТЭС, переход к использованию низкосортных углей для украинской энергетики является актуальной задачей. Но такой переход осложняется сравнительно низкими тепловыми свойствами углей и возникающими технологическими трудностями, что требует адекватного изменения топливных режимов на ТЭС. Для этого необходим априорный анализ, позволяющий на начальных этапах прогнозировать основные последствия смены топлива.

2. В данной работе на примере котла типа ТПП-312А исследованы последствия перехода к работе на ухудшенных вариантах проектного угля (с повышенной зольностью). В результате численного моделирования процесса сжигания угля заданной марки, но с разными величинами зольности, получены оценки объемного поля температур дымовых газов в топке котла, на основании анализа которого можно сделать следующие выводы:

1) Полученный характер распределения и уровень температур дымовых газов в объеме топки близки к известным из литературных данных и материалов ТЭС характеристикам котла ТПП-312А.

2) С ростом зольности топлива температура факела горящего топлива падает на всем интервале уменьшения A^p , причем скорость падения переменна. При этом уровень температур газов в зоне пода топки, обеспечивающий надежное вытекание жидкого шлака через летку, сохраняется для всего интервала изменения A^p топлива. Так, минимальная температура в зоне пода топки (при $A^p = 55\%$) на 140°C выше температуры нормального жидкого шлакоудаления $t_{\text{н.ж.}}$ для используемого топлива.

3) С ростом зольности топлива максимальная величина температурной разверки газов на выходе из топки уменьшается в пределах от 72 до 37°C . Это, наряду с известными свойствами первичного слоя золы топлива, дает основание для выбора в

качестве критерия отсутствия шлакования на выходе из топки допустимой температуры $\Theta_{\text{Т ср.}}''$ дымовых газов.

4) С ростом зольности топлива температура газов $\Theta_{\text{Т}}''$ на выходе из топки растет, причем скорость роста переменна. Величина $\Theta_{\text{Т}}''$ удовлетворяет условиям отсутствия шлакования поверхности ширмового пароперегревателя только для значений зольности топлива до $A^{\text{P}} = 40\%$. Дальнейшее увеличение A^{P} приведет к шлакованию поверхностей теплообмена на выходе из топки.

Таким образом, выполненное исследование показало, что для номинального режима работы котла ТПП-312А его надежная работа возможна только для зольности заданного топлива в интервале $A^{\text{P}} \approx 35...40\%$.

Литература

1. Кравченко А. Глобальные проблемы украинской теплоэнергетики / А. Кравченко // Международный электротехнический журнал Электрик. – 2013. – №9. С. 38–41.
2. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания. / Б.С. Белосельский, В.И. Барышев – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.
3. Ильченко К.Д., Ревенко М.Б. Теплофизические свойства углей Украины / К.Д. Ильченко, М.Б. Ревенко – Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов. – Днепропетровск: издательство НМЕТАУ 2009. – С. 110–117.
4. Томилов В.Г. Исследование влияния качества топлива на эффективность котельных агрегатов в условиях задачи изменения топливного баланса ТЭС / В.Г. Томилов, Е.Н. Яганов // Состояние и перспективы развития электротехнологии. Том II Теплоэнергетика: материалы Международн. научн.-техн. конф. – Иваново, 2013. – С. 94–97.
5. Капельсон Л.М. Влияние качества АШ на работу котла с полуоткрытой топкой / Л.М. Капельсон, В.Ф. Бусурин и др. // Электрические станции. – 1978. – №5. – С. 20–23.
6. Ларионов В.Ф. Влияние качества твердого топлива на экономичность работы котлов блоков 200 и 300 МВт / В.Ф. Ларионов, В.И. Кошман, А.Е. Суворов // Энергетика и электрификация. – 1986. – №4. – С. 2–3.
7. Пылеприготовительные системы буроугольных котлов в СССР и за рубежом [Текст]: обзор / НИИ Эинформэнергомаш; отв. ред. В. Н. Бутина. – М.: НИИ Эинформэнергомаш, 1978. – 39 с.
8. Алехнович А.Н. Влияние минеральной части на показатели и характеристики энергетических углей / А.Н. Алехнович // Энергетик. – 2008. – № 3. – С. 8–13
9. Абрютин А.А. Развитие метода и программы трехмерного зонального расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов / А.А. Абрютин, Э.С. Карасина, Б.Н. Лившиц и др. // Теплоэнергетика. – 1998. – №6. – С. 20–24.

10. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и дополн. / НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 256 с.
11. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). [Под ред. Н. В. Кузнецова]. 1973. М.: Энергия, 1973. – 296 с.
12. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов [под ред. Э.Х. Вербовецкого и Н.Г. Жмерика]. СПб: ВТИ-ЦКТИ, 1996. – 270 с.
13. Алехнович А.Н. Состояние и проблемы расчёта теплообмена в пылеугольных топках / А. Н. Алехнович. // Электрические станции. – 2015. – № 3. – С. 32–36.
14. Карасина Э.С. Опыт применения программы трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов энергоблоков мощностью 350 и 575 МВт/ Э.С. Карасина, Б.Н. Лившиц, Б.Р. Чудновский, А.Е. Таланкер. – Теплоэнергетика, 2010, №10.
15. Волошенко А.В. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподачи. Учебное пособие / А.В. Волошенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.
16. Демиденко Л.Л. Возможность использования свободно-распространяемого программного обеспечения при подготовке студентов-теплоэнергетиков / Л.Л. Демиденко, Р.В. Хасанова, А.В. Мурзадеров и др. // Современные информационные технологии. 2013. № 17 (17). С. 239–243.
17. Бойко Е.А. Программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]/ Е.А. Бойко // Режим доступа к журн.:// <http://enek.ru>.

Bibliography (transliterated)

1. Kravchenko A. Globalnyie problemyi ukrainskoy teploenergetiki. A. Kravchenko. Mezhdunarodnyiy elektrotehnicheskii zhurnal Elektrik. – 2013. – #9. P. 38–41.
2. Beloselskiy B.S., Baryishev V.I. Nizkosortnyie energeticheskie topliva: osobennosti podgotovki i szhiganiya. B.S. Beloselskiy, V.I. Baryishev – M.: Energoatomizdat, 1989. – 136 p.
3. Ilchenko K.D., Revenko M.B. Teplofizicheskie svoystva ugley Ukrainyi. K.D. Ilchenko, M.B. Revenko – Metallurgicheskaya teplotekhnika. Sbornik nauchnykh trudov. – Dnepropetrovsk: izdatelstvo NMETAU 2009. – P. 110–117.
4. Tomilov V.G. Issledovanie vliyaniya kachestva topliva na effektivnost kotelnykh agregatov v usloviyakh zadachi izmeneniya toplivnogo balansa TES. V.G. Tomilov, E.N. Yaganov. Sostoyanie i perspektivy razvitiya elektrotehnologii. Tom II Teploenergetika: materialy Mezhdunarodn. nauchn.-tehn. konf. – Ivanovo, 2013. – P. 94–97.
5. Kapelson L.M. Vliyanie kachestva ASh na rabotu kotla s poluotkryitoy topkoy. L. M. Kapelson, V.F. Busurin i dr. Elektricheskie stantsii. – 1978. – #5. – P. 20–23.
6. Larionov V.F. Vliyanie kachestva tverdogo topliva na ekonomichnost raboty kotlov blokov 200 i 300 MVt. V.F. Larionov, V.I. Koshman, A.E. Suvorov. Energetika i elektrifikatsiya. – 1986. – #4. – P. 2–3.

7. Pyileprigotovitelnyie sistemyi burougolnyih kotlov v SSSR i za rubezhom [Tekst]: obzor. NII Einformenergomash; otv. red. V.N. Butina. – M.: NII Einform-energomash, 1978. – 39 p.
8. Alehnovich A.N. Vliyanie mineralnoy chasti na pokazateli i harakteristiki energeticheskikh ugley. A.N. Alehnovich. Energetik. – 2008. – # 3. – P. 8–13
9. Abryutin A.A. Razvitie metoda i programmyi trehmernogo zonalnogo rascheta teploobmena v topochnyih kamerah pyileugolnyih kotlov. A.A. Abryutin, E.S. Karasina, B.N. Livshits i dr. Teploenergetika. – 1998. – #6. – P. 20–24.
10. Teplovoy raschet kotlov (normativnyiyy metod). Izd. 3-e, pererab. i dopoln. NPO TsKTI, SPb, 1998. – 256 p.
11. Teplovoy raschet kotelnyih agregatov (normativnyiyy metod). [Pod red. N.V. Kuznetsova]. 1973. M.: Energiya, 1973. – 296 p.
12. Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu topochnyih ustroystv energeticheskikh kotlov [pod red. E.H. Verbovetskogo i N.G. Zhmerika]. SPb: VTI-TsKTI, 1996. – 270 p.
13. Alehnovich A.N. Sostoyanie i problemyi raschYota teploobmena v pyileugolnyih topkakh. A.N. Alehnovich. Elektricheskie stantsii. – 2015. – # 3. – S. 32–36.
14. Karasina E.S. Opyit primeneniya programmyi trehmernogo zonalnogo metoda rascheta teploobmena v topochnyih kamerah pyileugolnyih kotlov energoblokov moschnostyu 350 i 575 MVt. E.S. Karasina, B.N. Livshits, B.R. Chudnovskiy, A.E. Talanker. – Teploenergetika, 2010, #10.
15. Voloshenko A.V. Printsipialnyie shemyi parovyih kotlov i toplivopodach. Uchebnoe posobie. A.V. Voloshenko, V.V. Medvedev, I.P. Ozerova: Tomskiy politehnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2011. – 100 p.
16. Demidenko L.L. Vozmozhnost ispolzovaniya svobodno-raspostranyaemogo programmnoho obespecheniya pri podgotovke studentov-teploenergetikov. L.L. Demidenko, R.V. Hasanova, A.V. Murzaderov i dr. Sovremennyye informatsionnyie tehnologii. 2013. # 17 (17). P. 239–243.
17. Boyko E.A. Programma trehmernogo zonalnogo metoda rascheta teploobmena v topochnyih kamerah parovyih kotlov. Rukovodstvo polzovatelya. [Elektronnyiyy resurs]. E.A. Boyko. Rezhim dostupa k zhurn.:// <http://enek.ru>.

УДК 621.181

Гулей О.Б., Ключка Є.П.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗОЛЬНОСТІ ВУГІЛЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРИ В ТОПЦІ КОТЛА ТПП-312А ПРИ ПЕРЕХОДІ ДО НЕПРОЕКТНИМ ТВЕРДИХ ПАЛИВ

Запропоновано рішення задачі оцінки наслідків переведення парового котла ТЕС на спалювання непроектного низькосортного палива. Показана можливість вирішення цієї задачі шляхом математичного моделювання на ПК процесу горіння в топці за допомогою нелінійної, неоднорідної та стаціонарній тривимірній моделі тепломасопереносу. Процес досліджений на прикладі спалювання в топці котла типу ТПП-312А проектного вугілля з постійною робочою вологістю і при незмінному корисному тепловиділенню в топці за умови, що робоча зольність вугілля зростає.

Отримані оцінки температурних полів димових газів в топці, на підставі яких зроблено висновки про можливість шлакування поверхонь теплообміну на виході газів з топки, в зоні шлаковидалення (під топки) і по висоті палаючого факела палива.

Hulei Oleksandr, Kliuchka Yevgen

IMPACT EVALUATION OF COAL ASH-CONTENT ON TEMPERATURES IN BOILER FURNACE TPP-312A USING NONPROJECT SOLID FUELS

A solution of the problem of estimating the transition effects of the burning low-quality fuels in the steam boiler of the thermal power station is proposed. The possibility of solving this problem with PC mathematical modeling of the burning process in the furnace using a non-linear, non-uniform and three-dimensional stationary model of heat and mass transfer is shown. The process was studied taking for example the burning of the project coal with constant working humidity and unchanging useful heat release in the boiler type TPP-312A under the condition that the working ash content in the furnace is increasing. Evaluations of the thermal fields of combustion gases in the furnace are obtained, the conclusions about the possibility of the heat transfer surfaces slagging at the furnace outlet, in slag removing zone (below the furnace) and on the height of the active burner are made basing on these data.

КРАТКАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАБИЛИЗАТОРА РЕЖИМА НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Одним из важнейших элементов контура стабилизации режима работы двигательной установки с дожиганием генераторного газа является гидравлический стабилизатор режима непрямого действия, состоящий из командной и исполнительной частей. Особенностью конструкции командной части стабилизатора является применение оригинального преобразователя давления в расход, выполненного в виде кавитационной трубки Вентури.

В настоящей работе предлагается математическая формализация нестационарных процессов в элементах рассматриваемого регулирующего устройства, проведенная на нелинейном и линеаризованном уровнях решения задачи. Получены сводные уравнения динамики командной и исполнительной частей стабилизатора режима, на базе которых возможно проведение параметрического анализа его структурной устойчивости.

В целях наиболее достоверного описания нестационарной математической модели первичного преобразователя давления в расход проведен ряд экспериментальных исследований по визуализации качественных картин течения на специально изготовленных, прозрачных плоской и объемной моделях его проточной части (рис. 1).

При выводе системы уравнений, описывающей динамические свойства стабилизатора, использованы уравнения количества движения и неразрывности для среды, текущей в его элементах.

Сложность и многообразие физических процессов, происходящих в первичном преобразователе, привели к необходимости принять ряд следующих основных допущений при описании его математической модели:

- жидкость достаточно дегазирована, чтобы давление в присоединенной камере и пузырьковых образованиях считать приблизительно равным давлению ее насыщенных паров;
- время установления термодинамического равновесия между фазами существенно меньше периода колебания параметров, определяющих течение в кавитационных зонах, что справедливо для низкочастотных режимов возмущений (менее 50 Гц);
- унос паровой фазы из зон кавитационных образований почти отсутствует;
- движение пузырьков в объеме $V_{см}$ происходит без скольжения;
- стенки проточной части абсолютно жесткие, жидкость в низкочастотном диапазоне возмущений несжимаема, а ее вязкостные свойства почти не проявляются;
- влияние со стороны скоростного напора на энергосодержание жидкости во входных и выходных полостях первичного преобразователя очень мало.

После ряда последовательных математических преобразований и упрощений получим сводные уравнения динамики:

каскада входных преобразователей

$$D_0(p) \delta \bar{h} = K_{K_1} K_c \left\{ \left[\frac{1}{K_1} (1 - \tau_p^* p) - \tau_p^{**} \tau_{п.п} K_{сл_2} K_{п_2} \frac{p^2}{D_n(p)} \right] \delta \bar{p}_2 + \right. \\ \left. + \tau_p^{**} K_{сл_2} \left[K_{п.п} + \tau_{п.п} K_{п_1} \frac{p}{D_n(p)} \right] p \delta \Delta \bar{p}_ж \right\}; \quad (1)$$

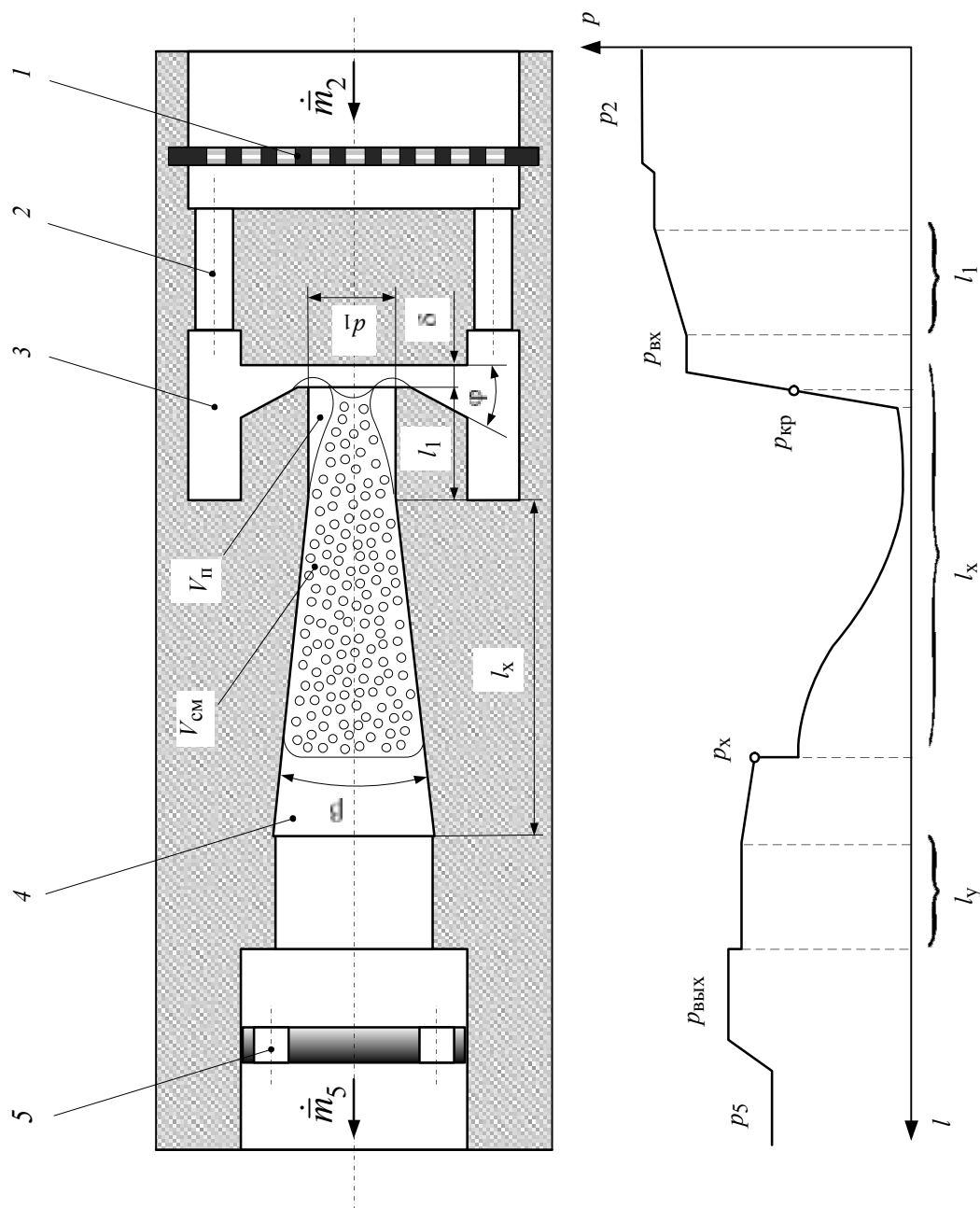


Рисунок 1 – Схема течения в преобразователе давления в расход: 1 – сетчатый фильтр; 2 – входные каналы секторного типа; 3 – входная кольцевая полость; 4 – диффузор; 5 – дроссельное сопротивление на выходе

коммутационной части

$$\left\{ 1 + K_{\kappa_2} \left[K_{\text{п.п}} + \tau_{\text{п.п}} K_{\text{п}_1} \frac{p}{D_n(p)} \right] (1 + \tau_{\kappa} p) \right\} \delta \Delta \bar{p}_{\text{ж}} =$$

$$= \left[1 + \tau_{\text{п.п}} K_{\kappa_2} K_{\text{п}_2} \frac{(1 + \tau_{\kappa} p) p}{D_n(p)} \right] + K_{\kappa_1} D_{\text{кл}}^*(p) \delta \bar{h}; \quad (2)$$

исполнительной части

$$D_n(p) \delta \dot{\bar{m}}_{\text{гп}} = -K_{\text{р.о}_1} K_{\text{п}_1} \delta \Delta \bar{p}_{\text{ж}} - \left[K_{\text{р.о}_1} K_{\text{п}_2} - K_{\text{р.о}_2} D_n(p) \delta \Delta \bar{p}_{\text{р.о}} \right]. \quad (3)$$

где $\bar{p}_{\text{ж}}$ – плотность рабочей жидкости; p – давление; $\tau_{\text{п}}^*$ – постоянная времени воздействия по производной от $\delta \bar{p}_2$ на входе; $\tau_{\text{п}}^{**}$ – постоянная времени воздействия по производной от $\delta \bar{p}_5$ на выходе; K_{κ_1} , K_{κ_2} , $K_{\text{с}}$, K_1 , $K_{\text{сл}_2}$, $K_{\text{п}_1}$, $K_{\text{п}_2}$, $K_{\text{п.п}}$, $K_{\text{р.о}_1}$, $K_{\text{р.о}_2}$ – коэффициенты усиления по соответствующим зонам преобразователя; $D_n(p)$ – собственный оператор плунжера; $D_{\text{кл}}^*(p)$ – собственный оператор клапана; τ_{κ} – постоянная времени воздействия клапана; $\dot{\bar{m}}_{\text{гп}}$ – базисное значение расхода жидкости.

Искомое уравнение динамики стабилизатора режима непрямого действия имеет вид:

$$D_n(p) \delta \dot{\bar{m}}_{\text{гп}} = \left[K_{\text{р.о}_1} K_{\text{п}_1} W_{\kappa}(p) + K_{\text{р.о}_1} K_{\text{п}_2} - K_{\text{р.о}_2} D_n(p) \right] \delta p_2, \quad (4)$$

где $W_{\kappa}(p)$ – передаточная функция командной части, получаемая из совместного решения уравнений (1) и (2); $D_n(p) = \frac{1}{\gamma_{\text{п}}^2} p^2 + 2 \frac{\xi_{\text{п}}}{\gamma_{\text{п}}} p + 1$, где $\gamma_{\text{п}}$ – коэффициент парогазонасыщения пузырьковой зоны; $\xi_{\text{п}}$ – коэффициент гидравлических потерь.

Используя зависимость (4) можно сделать вывод, что отклонение расхода рабочей жидкости, перепускаемой через регулирующий орган стабилизатора, многократно связано с изменением давления в полости на выходе.

Анализ динамических свойств стабилизатора показал, что устойчивость стационарных положений исполнительного плунжера, каждое из которых задается перепадом давлений на жиклере, существенно зависит от эффективности ветвящегося сигнала отрицательной обратной связи скорости его перемещения. При наличии сведений по динамике объекта регулирования приведенные результаты позволят оценить устойчивость системы, двигательной установки стабилизатора в целом и произвести поиск оптимальных решений.

Литература

1. Гуськов В.П. Нестационарная математическая модель первичного преобразователя в расход / В.П. Гуськов, Е.В. Кобец // Высокотемпературные газовые потоки, их получение и диагностика: сборник научных трудов. – Харьков. ХАИ, 1991. – С. 24–31.

2. Борисенко А.И. Газовая динамика двигателей / А.И. Борисенко. – М. : Наука, 2002. – 793 с.
3. Венгерский Э.В. Гидродинамика двухфазных потоков в системах питания энергетических установок // Э.В. Венгерский, В.А. Морозов, Г.Л. Усов. – М. : Наука, 1982. – 128 с.
4. Steam Bubble Cavitation / Mahulkar A.V., Bapat P.S., Pandit A.B., Lewis F.M. // AIChE Jurnal. – 2008. – Vol. 54. – №7. – P. 1711–1724.

Bibliography (transliterated)

1. Guskov V.P. Nestatsionarnaya matematicheskaya model pervichnogo preobrazovatelya v rashod. V.P. Guskov, E.V. Kobets. Vyisokotemperaturnye gazovye potoki, ih poluchenie i diagnostika: sbornik nauchnykh trudov. – Harkov. HAI, 1991. – P. 24–31.
2. Borisenko A.I. Gazovaya dinamika dvigateley. A.I. Borisenko. – M. : Nauka, 2002. – 793 p.
3. Vengerskiy E.V. Hidrodinamika dvuhfaznykh potokov v sistemah pitaniya energeticheskikh ustanovok. E.V. Vengerskiy, V.A. Morozov, G.L. Usov. – M. : Nauka, 1982. – 128 p.
4. Steam Bubble Cavitation. Mahulkar A.V., Bapat P.S., Pandit A.B., Lewis F.M. AIChE Jurnal. – 2008. – Vol. 54. – #7. – P. 1711–1724.

УДК 629.7.036

Кобець О.В., Загребельна Л.І.

**КОРОТКА НЕСТАЦІОНАРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТАБІЛІЗАТОРА
РЕЖИМУ НЕПРЯМОЇ ДІЇ**

Розглядається нестационарна математична модель регулювального кавітаційного обладнання, що працює в рідинних ракетних двигунах.

Kobets E.V., Zagrebelnaja L.I.

**SHORT NON-STATIONARY MATHEMATICAL MODEL FOR THE STABILIZER
OF INDIRECT ACTION MODE**

The Non Stationary mathematical model of the governing cavitation device working in liquid rocket drives is considered.

УДК 663.854.78

Руднєва Л.Л., Бухкало С.І., Лакіза О.В., Черваков О.В.

РОСЛИННІ ВОСКИ ЯК МОДИФІКАТОРИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Перш за все треба відзначити, що різноманітні види восків різного походження знаходять широке застосування для потреб медичної, стоматологічної, косметичної, електротехнічної, паперової промисловості, а також у виробництві ряду продуктів військово-технічного та космічного призначення, продукції шинної, гумовотехнічної та лакофарбової промисловостей [1–3]. З метою розширення застосування восків для багатотоннажних галузей різновидів промисловості, їх хімічно модифікують за різними технологіями, які залежать, наприклад, від технології виділення і очищення восків. Привертає увагу дослідження властивостей воску рослинного походження у якості добавки до шинних композицій еластомерів, що попереджає атмосферне старіння у процесі експлуатації шин [4].

З точки зору розширення ринку сировини для визначених галузей треба враховувати наступне: 1. У сучасному виробництві олій і жирів відбуваються суттєві структурні зміни, спрямовані на інтенсифікацію виробництва і максимальне використання відходів олієжирової галузі АПК України; 2. В процесі переробки олійної сировини, особливо соняшника, на стадіях шеретування насіння і під час рафінації олії на стадії виморожування восків утворюються відходи, що не знаходять подальшого застосування; 3. На сьогодні світова потреба у восках різної природи перевищує 1 млн. т за рік, а також вона безперервно зростає. 4. Сировинні ресурси натуральних восків тваринного походження, таких як бджолиний та вовняний, незначні. 5. Економічними умовами України сильно обмежена можливість імпорту восків рослинного походження таких як пальмовий, карнаубський, японський віск, віск цукрової тростини та інші. В той же час досягнення вітчизняної селекції соняшника, зорієнтовані на високу олійність, показали зростання частки ліпідів в лушпинні (плодовій оболонці) в 10–15 разів у порівнянні з насінням старих сортів, змінилися також і структурно-механічні властивості оболонок насіння, що викликало певні технологічні ускладнення під час переробки соняшника і одержання прозорої соняшникової олії у відповідності до вимог стандарту. Вказані причини зумовили впровадження додаткової операції виморожування, в процесі якої із олії висаджується, а потім відділяється твердий осад воскової природи. Виморожений осад – це ще одне перспективне джерело отримання соняшникового воску, вміст якого в осаді складає до 28 %.

Загальні положення процесу екстракції. Процес екстракції в технології вилучення воску з лушпиння соняшника можна представити як окремий випадок процесів масообміну, в яких має місце перехід маси речовини з одного середовища (лушпиння) у інше (розчинник-екстрагент). Екстракція з рослинної сировини – складний процес, що поєднує кілька більш простих процесів, які відносяться за своєю суттю теж до масообмінних: дифузія, діаліз, розчинення, десорбція, осмос і механічне вимивання. Ці процеси протікають одночасно, взаємно впливають один на одного і складають процес екстракції, але основним процесом, що забезпечує витяг речовин із сировини, є дифузія, яка заснована на вирівнюванні концентрації речовини в сировині і розчиннику, а рушійною силою дифузії є різниця концентрацій. Розрізняють молекулярну і конвективну дифузії,

вільну і внутрішню. Молекулярна дифузія обумовлена хаотичним рухом молекул і відмінною особливістю її є те, що перенесення речовини здійснюється у вигляді молекул, а середовища нерухомі щодо один одного. Швидкість молекулярної дифузії прямо пропорційна поверхні контакту середовищ, різниці концентрацій, температурі і обернено пропорційна товщині дифузного шару, в'язкості екстрагента і радіусу часток. При конвективній дифузії перенесення речовини здійснюється не окремими молекулами, а об'ємами його розчину. Відбувається конвективна дифузія в результаті переміщення екстрагента відносно сировини, а швидкість її значно вище молекулярної.

У процесі екстракції рослинної сировини середовища, що віддають і сприймають розділені клітинної перегородкою, яка для свіжої сировини має пристінний шар протоплазми та робить оболонку напівпроникною, тобто вона проникна для екстрагента і непроникна для речовин, які містяться в клітині. Поглинання живою клітиною екстрагента являє собою процес осмосу і екстрагування речовин із клітини при цьому не спостерігається. Клітка висушеної сировини внаслідок загибелі протоплазми втрачає характер напівпроникною і набуває властивостей пористої перегородки, а характер дифузії через неї – процес діалізу, який в даному випадку можна вважати також процесом внутрішньої дифузії, так як вона відбувається всередині часток сировини. Складовою частиною процесу екстракції є десорбція, яка відбувається в клітинах при проникненні екстрагента. Екстрактивні речовини в клітинах знаходяться в адсорбованому стані, тобто вони міцно пов'язані силами адсорбції з внутрішньоклітинним вмістом, а екстрагент долає ці сили і речовини десорбуються.

Експериментальна частина. Технологічні стадії процесу екстракції мають наступні складові: 1. Екстрагент проникає в подрібнену сировину і по міжклітинних каналах досягає поверхні клітини, а далі через просту клітинну оболонку надходить всередину клітини; 2. Розчинення екстрактивних речовин в екстрагенті всередині клітини після процесу десорбції; 3. За рахунок різниці концентрацій починається діаліз – перехід речовин із клітини через клітинну перегородку; 4. У результаті діалізу на поверхні рослинної сировини утворюється нерухомий дифузійний шар, в якому має місце молекулярна дифузія. Товщина шару різна і залежить від швидкості руху екстрагента відносно сировини, при цьому дифузійний шар чинить опір процесу екстракції речовин внаслідок уповільнення виходу речовин із сировини; 5. Екстрактні речовини, подолавши дифузійний шар, розподіляються по всьому об'єму екстрагента за законами вільної конвективної дифузії. З метою спрощення відомої технології вилучення ліпідної частини та отримання воскоподібних речовин з лушпиння соняшникового насіння запропоновано перколяційний метод, який базується на властивості воску розчинятися в органічному розчиннику та утворювати кристали при низьких плюсових температурах. Для проведення експериментів за даним методом використовували усереднений зразок лушпиння соняшника. Склад одержаної воскоподібної речовини аналізували за основними фізико-хімічними показниками (табл. 1).

В процесі експлуатації і зберігання шин піддаються діям атмосфери (озон, світло, волога, тепло), вплив яких проявляється у розтріскуванні поверхневих шарів і погіршення фізико-механічних властивостей гум. Основною причиною атмосферного старіння є озон, який активно взаємодіє з ненасиченими каучуками [1, 2]. Раніше спостерігалось розтріскування боковин шин при зберіганні на відкритих майданчиках [3]. Поява атмосферного розтріскування на боковинах шин в експлуатації відбувається пізніше або не спостерігається протягом всього пробігу шин зовсім. Боковина сільськогосподарських шин при зберіганні техніки знаходиться тривалий час в статично деформова-

ному стані, а, отже, найбільш схильна до дії озону. Реакція озону з гумою протікає на поверхні. Озонне старіння гум можна уповільнити шляхом захисту поверхневого шару. На цьому і засноване застосування восків, які мігрують на поверхню гумового виробу (вантажних, сільськогосподарських або легкових шин) після вулканізації і утворюють суцільну мікрокристалічну плівку.

Таблиця 1 – Характеристики воскоподібної речовини соняшникового лушпиння

Показник	за літературними даними	досліджуваної речовини
Кислотне число, мг КОН/г	2–17	–
Йодне число, % I ₂	110–124	110
Ефірне число, мг КОН	98–108	100
Температура плавлення, °С	65–73	73
Температура кристалізації, °С	70–74	73
Густина, г/см ³	0,920–0,960	0,930
Показник заломлення, n_D^{80}	1,4410–1,4500	1,4415

Гумові суміші виготовляли в дві стадії (табл. 2, № 1–12 – перша стадія; № 13, 14 – друга стадія) на лабораторному змішувачі за стандартною методикою. Як еталон обрали серійну гумову суміш для виготовлення боковин легкових шин. В дослідну гумову суміш замість серійно застосовуваного воску ВЗК-20 (1мас.ч. на 100мас.ч. каучуку) вводили досліджуваний воскоподібний продукт в кількості 1мас.ч. на 100мас.ч. каучуку (табл. 2).

Таблиця 2 – Рецептуми гумових сумішей для виготовлення боковин легкових шин

№ п/п	Склад суміші	Вміст компонентів, мас. ч.	
		Серійна	Дослідна
1	Каучук СКИ-3	50,0	50,0
2	Каучук СКД	50,0	50,0
3	Цинкові білила	5,0	5,0
4	Ацетонаніл Н	2,0	2,0
5	Діафен ФП	2,0	2,0
6	Олеїнова кислота	3,0	3,0
7	Фталевий ангідрид	0,5	0,5
8	Масло ПН-6ш	10,0	10,0
9	Воск ВЗК-20	1,0	-
10	Воск дослідний	-	1,0
11	Каніфоль	3,0	3,0
12	Технічний вуглець N550	55,0	55,0
13	Сірка мелена	0,9	0,9
14	Сульфенамід Ц	1,2	1,2

Захисна дія воску обумовлена тим, що він має більш або менш щільну кристалічну структуру, яка є інертною або мало проникною по відношенню до озону, тим самим

сильно знижує дифузію озону до поверхні гуми [4]. Особливо активні воски в статично деформованих гумах [5], що має місце при зберіганні шин. В умовах динамічних навантажень, яких боковина зазнає в експлуатації, ефект захисту у восків виражений слабо або повністю відсутній [6–8]. З метою визначення напрямів практичного застосування воскоподібних речовин було проведено їх випробування в еластомерних композиціях для виготовлення легкових шин, так як воски (продукти нафтопереробки) є ефективними антиозонантами [9, 10]. Вулканізаційні характеристики (технологічні властивості) серійної та дослідної гумових сумішей визначали на реометрі МДР-3000 в режимі 153°Сх40' за стандартною методикою. Результати випробувань представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вулканізаційні характеристики гумових сумішей

№ п/п	Найменування показника	Гумова суміш	
		Серійна	Дослідна
1	Максимальний крутильний момент $M_{\max}$, дН·м	14,89	13,45
2	Мінімальний крутильний момент $M_{\min}$, дН·м	3,08	2,63
3	Час до початку вулканізації, хв.	5'50"	6'37"
4	Час оптимальної вулканізації, хв.	22'35"	20'38"

Як свідчать дані, представлені в таблиці, такі важливі показники технологічних властивостей сумішей, як час до початку вулканізації та час оптимальної вулканізації серійної і дослідної сумішей знаходяться практично на одному рівні. Максимальний та мінімальний крутильні моменти, які характеризують кінетику вулканізації, також для серійної та дослідної гуми практично не відрізняються. Отже можна сказати, що досліджувана воскоподібна речовина не погіршує кінетику вулканізації дослідної гумової суміші порівнюючи з серійною. Заміна воску ВЗК-20 на воскоподібний продукт в рецептурі еластомерних композицій зберігає комплекс технологічних властивостей дослідної гумової суміші практично на однаковому рівні з серійною. Крім технологічних властивостей гумових сумішей, важливим є визначення основних фізико-механічних показників серійної та дослідної гум, які в подальшому будуть визначати експлуатаційну витривалість легкових шин (таблиця 4).

Результати випробувань, наведені в таблиці 3, свідчать, що за основним фізико-механічними властивостями дослідна гума для виготовлення боковин легкових шин не поступається серійній. Результати дослідження впливу дослідного воску на стійкість до озонного старіння гуми боковин легкових шин представлено на рис. 1. Дані, представлені на рис. 1, вказують, що заміна серійного воску ВЗК-20 на дослідний воск в рецептурі гум боковин легкових шин дозволяє зберегти стійкість до озонного старіння практично на одному рівні з промисловими антиозонантами. Отже, введення дослідного воску до складу серійної гуми не викликає негативного впливу на основні технологічні властивості невулканізованих і технічні характеристики вулканізованих гум для боковин легкових шин і дозволяє прогнозувати можливість його практичного впровадження.

Як відомо, лакофарбова промисловість використовує у виробництві лаків та емалей агенти для надання їм певних поверхневих властивостей. Обов'язковою умовою одержання якісних пігментованих лакофарбових матеріалів (ЛФМ) є ефективне диспергування і рівномірний розподіл частинок твердої фази у дисперсійному середовищі

[11, 12]. На стадії диспергування у системі підвищують енергію, внаслідок чого утворюються дрібні частинки. Після цього система намагається повернутися до первинних низькоенергетичних умов (ефект агрегації). Тому важливим етапом при виробництві лакофарбових матеріалів є рівномірний розподіл твердих пігментів у розчині рідкого зв'язуючого та їх послідовна стабілізація. Якщо ця стадія недостатньо оптимізована, то може виникнути цілий ряд дефектів: флокуляція, зменшення блиску, зміна кольору, спливання пігменту, розшарування фаз тощо [12].

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості гум для виготовлення боковин легко-вих шин

№ п/п	Властивості гум	Гуми	
		серійна	дослідна
1	Умовна напруга при 300 % подовження, МПа	6,1	5,8
2	Умовна міцність при розтягуванні, МПа	18,1	17,8
3	Відносне подовження при розриві, %	710	690
4	Опір роздиру, кН/м	94	90
5	Температуростійкість при 100°C по умовній міцності при розтягуванні, МПа	10,0	10,0
6	Опір тепловому старінню при 120 °С х 24год:		
	Умовна міцність при розтягуванні, МПа	14,4	14,7
	Відносне подовження при розтягуванні, %	460	500
	Опір роздиру, кН/м	74	72
7	Опір багаторазовому розтягуванню при відносному подовженні 150 %, тис циклів	101	96
8	Опір розростанню тріщин, тис. циклів до 8 мм	400	370
9	Твердість, одиниць по Шору А	58	56
10	Еластичність по відскоку, %: н.у. 100 °С	41	43
		45	46

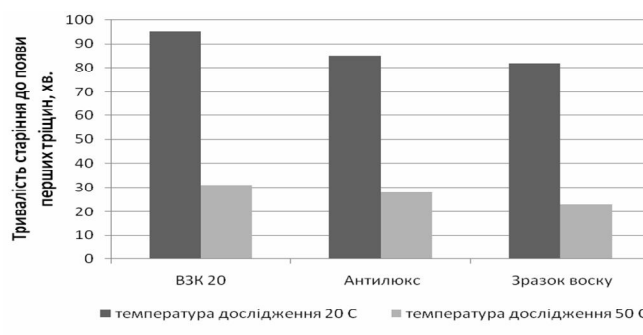


Рисунок 1 – Результати випробувань гум на стійкість до озонного старіння

З метою покращення диспергування пігментів проводять модифікацію їх поверхні різноманітними органічними речовинами, наприклад, синтетичними жирними кислотами [13]. Дослідні воски є складними ефірами жирних кислот та одноатомних високомолекулярних спиртів. Тому доцільно було випробувати їх у якості диспергуючої добавки до складу пігментованих ЛФМ. В лак на основі ПФ-060 вводили бджолиний та дослідний віск в концентрації 1–5 мас.%. Модифікований восками вказаний продукт

досліджували на відносну твердість і блиск покриття. Результати дослідження представлені на рис. 2, 3. Результати, представлені на рисунках, свідчать, що введення дослідного воску підвищує твердість плівок покриття на основі лаку ПФ-060, при цьому максимальна твердість (0,19) була досягнута при вмісті воску 2 мас.%. При цьому оптимальна концентрація дослідного воску (2 мас.%) суттєво не знижує блиск покриття (рис. 3). Слід відмітити, що при використанні в лаках бджолиного і дослідного восків блиск плівок на їх основі має майже однакові показники.

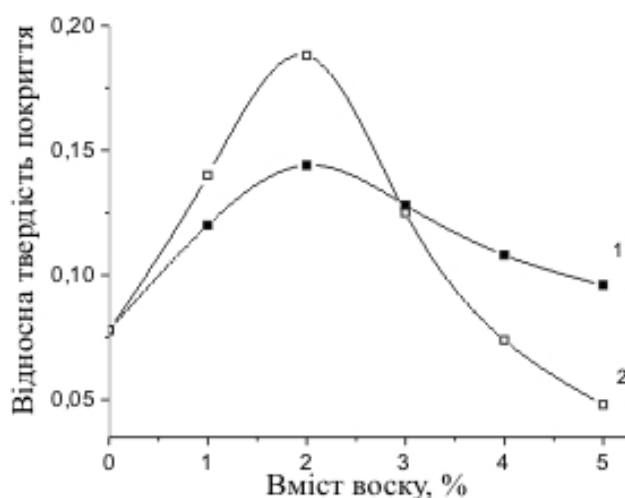


Рисунок 2 – Залежність відносної твердості покриття на від вмісту воску: 1 – з додаванням дослідного воску; 2 – з додаванням бджолиного воску

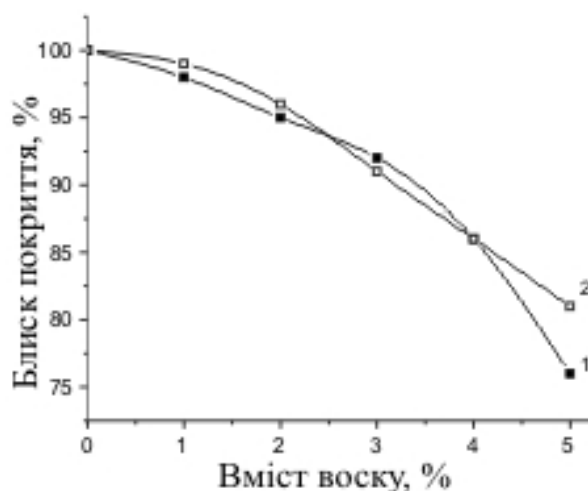


Рисунок 3 – Залежність блиску покриття від вмісту воску в ПФ-060: 1 – з додаванням дослідного воску; 2 – з додаванням бджолиного воску

Висновки. 1. Досліджено загальний технологічний режим та можливості процесу екстракції воску з лушпиння соняшнику. 2. Показана можливість застосування воскоподібних речовин в гумових боковинах легкових шин. 3. Досліджувана воскоподібна речовина не погіршує кінетику вулканізації дослідної гумової суміші порівнюючи з серійною гумовою сумішшю. 4. Воскоподібні речовини можна застосовувати як антиозонати в легкових шинах. 5. Була показана можливість використання дослідного воску в якості компонентів лакофарбових матеріалів на основі алкідних смол, зокрема, пентафталевих. 6. Введення до складу ЛФМ досліджуваного воску дозволяє підвищити твердість плівок покриття на основі алкідних плівкоутворювачів. 7. Показана ефективність використання воскових речовин в якості добавок, які підвищують здатність неорганічних пігментів до диспергування.

Література

1. Ивановский Л.Е. Энциклопедия восков / Л.Е. Ивановский, пер. с нем., т. 1, Л., 1956. – 286 с.
2. Боровская Л.В. Применение природных и синтетических восков в качестве теплоаккумулирующих материалов / Л.В. Боровская, С.Г. Шабалина, В.Н. Данилин. – М: Наука и техника, 1996. – 476 с.
3. Chemistry and biochemistry of natural waxes, ed. by P.E. Kolattu-kudy, Amst., 1976. P. 89.

4. Lowell F., Fric M.S. The protection of rubber by petroleum waxes. – Information. Astor Chemical limited. England, 1975.
5. Lewis P.M. Technol., Rubber, Develop suppl. / P.M. Lewis. – 1972. № 1. – P. 3–35.
6. Бацун В.А. Производство шин / В.А. Бацун и др // РТИ и АТИ. – М. 1981. № 11. – С. 12–18.
7. Michelek H. Gummi, Asbest, Kunststoffe. 1978. – Vol. 31. – № 7. P. 422–428.
8. Буйко Г.Н. Пластификаторы и защитные агенты из нефтяного сырья. – М.: Химия, 1970. – С. 165–179.
9. Кавун С.М. Каучук и резина / С.М. Кавун и др. – 1999. № 1. – С. 28–30.
10. Дзюра Е.А. Исследование эффективности применения нового воска ВЗК-20 в протекторе сельскохозяйственных шин / Е.А. Дзюра, В.Н. Дедусенко, А.Г. Смирнов, и др. // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск. 2002. № 5. – С. 76–81.
11. ГОСТ 6589-74 «Метод определения диспергируемости пигментов».
12. Судовцова Л. Диспергирующие добавки от ВУК-CHEMIE / Л. Судовцова // Украинский лакокрасочный журнал. 2007. – № 7–8. – С. 28–32.
13. Индейкин Е.А. Пигментирование лакокрасочных материалов / Е.А. Индейкин, Л.Н. Лейбзон, И.А.Толмачев. – Л.: Химия, 1986. – 160 с.

Bibliography (transliterated)

1. Ivanovskij L.E. Jenciklopedija voskov. L.E. Ivanovskij, per. s nem., t. 1, L., 1956. – 286 p.
2. Borovskaja L.V. Primenenie prirodnyh i sinteticheskikh voskov v kachestve teploakkumulirujushhih materialov. L.V. Borovskaja, S.G. Shabalina, V.N. Danilin. – M: Nauka i tehnika, 1996. – 476 p.
3. Chemistry and biochemistry of natural waxes, ed. by P.E. Kolattu-kudy, Amst., 1976. P. 89.
4. Lowell F., Fric M.S. The protection of rubber by petroleum waxes. – Information. Astor Chemical limited. England, 1975.
5. Lewis P.M. Technol., Rubber, Develop suppl. P.M. Lewis. – 1972. № 1. – P. 3–35.
6. Bacun V.A. Proizvodstvo shin. V.A. Bacun i dr. RTI i ATI. – M. 1981. № 11. – P. 12–18.
7. Michelek H. Gummi, Asbest, Kunststoffe. 1978. – Vol. 31. – № 7. P. 422–428.
8. Bujko G.N. Plastifikatory i zashhitnye agenty iz neftjanogo syr'ja – M.: Himija, 1970. – P. 165–179.
9. Kavun S.M. Kauchuk i rezina. S.M. Kavun i dr. – 1999. № 1. – P. 28–30.
10. Dzjura, E.A. Issledovanie jeffektivnosti primenenija novogo voska VZK-20 v proektore sel'skohozjajstvennyj shin. E.A. Dzjura, V.N. Dedusenko, A.G. Smirnov, i dr. Vo-prosy himii i himicheskoy tehnologii. – Dnepropetrovsk. 2002. № 5. – P. 76–81.
11. GOST 6589-74 «Metod opredelenija dispergiruemosti pigmentov».
12. Sudovcova, L. Dispergirujushhie dobavki ot BYK-CHEMIE. L. Sudovcova. Ukrainskij lakokrasochnyj zhurnal. 2007. – № 7–8. – P. 28–32.
13. Indejkin E.A. Pigmentirovanie lakokrasochnyh materialov. E.A. Indejkin, L.N. Lejbzon, I.A.Tolmachev. – L.: Himija, 1986. – 160 p.

УДК 663.854.78

Руднева Л.Л., Бухкало С.И., Лакиза О.В., Черваков О.В.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ВОСКИ КАК МОДИФИКАТОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

В работе исследованы возможности комплексного использования восков растительного происхождения в качестве модификаторов поверхностных свойств полимерных композитов. Образец воска, выделенный из растительного сырья, вводили в состав резиновой смеси для изготовления боковин легковых шин и пигментированных лакокрасочных материалов в качестве диспергирующей добавки. Анализировали физико-механические свойства полученных композиций. Введение исследованного воска в состав серийной резины не ухудшает технических характеристик смеси. Аналитически доказано, что исследованный воск обеспечивает защиту эластомерных композиций от атмосферного старения. Показана эффективность использования восковых веществ в качестве добавок, повышающих способность неорганических пигментов к диспергированию. Результаты исследований свидетельствуют, что введение образца воска повышает твердость пленок покрытия лакокрасочных материалов, при этом существенно не снижается блеск покрытия.

Rudneva L.L., Bukhkalov S.I., Lakiza O.V., Chervakov O.V.

WAXES OF PLANTS AS MODIFIERS OF SURFACE PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITES

In this article, we investigated the possibility of complex use of waxes of vegetable origin as modifiers of surface properties of polymeric composites. A sample of the wax, which extracted from vegetable raw materials, is introduced in the rubber composition for the manufacture of the sidewalls of passenger tires and pigmented paints as a dispersant additive. Physico-mechanical properties of the compositions were analyzed. Introduction the investigated wax in the rubber composition of the serial does not impair the technical characteristics of the mixture. Analytically proved that the investigated wax provides protection for the elastomeric compositions from atmospheric aging. The efficiency of the waxy substances as additives that increase the ability of inorganic pigments to the dispersion. The results show that the introduction of a sample of the wax increases the hardness of film coatings of paint and varnish materials, while not substantially decreasing the gloss of the coating.

УДК 658.264

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П.

РАСЧЕТ ТЕПЛОПOTЕРЬ ПОДАЮЩИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Одним из недостатков централизованных систем теплоснабжения является значительная протяженность и разветвленность тепловых сетей [1]. Тепловая энергия по магистральным трубопроводам от источников теплоты подается к тепловым пунктам, которые являются узлами управления и учета отпуска теплоты [2]. В жилых микрорайонах от центральных тепловых пунктов теплота по распределительным сетям транспортируется к зданиям и сооружениям. Причем суммарная длина распределительных сетей, как правило, значительно превосходит протяженность магистральных теплопроводов города.

Известные методики экспериментального определения потерь теплоты на магистральных направлениях тепловых сетей [3] предполагают выделение фрагмента сети, образующего кольцо между источником и потребителем, отключение потребителей от теплоснабжения на время проведения испытаний и измерения остывания теплоносителя на участках. Тепловые испытания микрорайонных сетей, как правило, не проводятся.

Целью данной работы является получение расчетных формул для нахождения потерь теплоты при функционирующей в штатном режиме тепловой сети, без отключения систем теплоснабжения, что позволило бы проводить постоянный мониторинг уровня теплопотерь при транспортировке тепловой энергии.

Поскольку тепловые сети состоят из участков с неизменным диаметром трубопроводов, и, следовательно, неизменным расходом теплоносителя, реальное распределение расхода сетевой воды по длине ветвей сети имеет ступенчатый характер. При выполнении расчетов бывает удобно вместо реального закона изменения расхода использовать монотонную функцию. В [4] для описания использована степенная зависимость, позволяющая, варьируя показатель степени n , получать удовлетворительную аппроксимацию закона изменения расхода теплоносителя по длине

$$\overline{G_0}(x_0) = 1 - \overline{G_{TP}}(x_0), \quad (1)$$

где $x_0 = x/L$ – отопительная координата, L – длина ветви; $\overline{G_0} = G_0/G_{\max}$; $\overline{G_{TP}} = G_{TP}/G_{\max}$; G_0 – расход на входе в ветвь; G_{TP} – расход теплоносителя у наиболее удаленного от входа потребителя.

Анализ теплового баланса для элементарного участка подающего трубопровода теплосети позволяет получить дифференциальное уравнение

$$G(x_0) dt_1 = -Q_{\Pi}/C, \quad (2)$$

где t_1 – температура сетевой воды; C – удельная теплоемкость.

Величину потерь теплоты Q_{Π} удобно записать в виде

$$Q_{\pi} = q \cdot \beta \cdot dx, \quad (3)$$

где q – удельные (линейные) тепловые потери трубопроводом, Вт/м; β – коэффициент для учета теплопотерь конструктивными элементами сети (принимается в зависимости от способа прокладки сети [5]).

Использование уравнения (1) при подстановке его в (2) приводит к необходимости интегрирования иррациональной функции. Поэтому в работе приняты линейная и дробно–рациональные функции для описания закона изменения расхода теплоносителя по длине. В результате решения уравнения (2) получены формулы для нахождения изменения температуры теплоносителя по длине ветви разветвленной сети (табл. 1).

Таблица 1 – Уравнения для определения расхода и температуры сетевой воды по длине теплопровода

№ п/н	Расход сетевой воды	Температура	Номер формулы
1	$\bar{G} = 1 + ax_0$	$t = \tau_1 - \frac{A_1}{a} \ln(1 + ax_0)$	(4)
2	$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$t = \tau_1 - A_1 (x_0 + bx_0^3/3)$	(5)
3	$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$t = \tau_1 - A_1 (x_0 + cx_0^2/2)$	(6)

В приведенных формулах $A_1 = q/B$; $B = G_0 \cdot C/(\beta \cdot L)$; τ_1 – температура сетевой воды на входе в ветвь.

При известных значениях температуры теплоносителя на концах исследуемого фрагмента сети представляется возможным, воспользовавшись формулами (4)–(6), определить средние на участке длиной L потери теплоты трубопроводами. Как правило, результаты определения теплопотерь в сети сопоставляют с нормативными значениями [5], которые разнятся в зависимости от способа прокладки и диаметра трубопровода. Формулы для определения удельных теплопотерь на участке разветвленной сети, приведенные к нормативным температурным условиям, представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Уравнения для определения удельных теплопотерь

Расход	Удельные температуры, Вт/м	Номер формулы
$\bar{G} = 1 + ax_0$	$q = \frac{B \cdot a \cdot \Delta t_n (\tau_1 - \tau_k)}{(\ln 1+a) \left[(\tau_1 + \tau_k)/2 - t_{окр} \right]}$	(7)
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$q = \frac{B \cdot \Delta t_n (\tau_1 - \tau_k)}{(1+b/3) \left[(\tau_1 + \tau_k)/2 - t_{окр} \right]}$	(8)
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$q = \frac{B \cdot \Delta t_n (\tau_1 - \tau_k)}{(1+c/2) \left[(\tau_1 + \tau_k)/2 - t_{окр} \right]}$	(9)

В формулах (7)–(9) τ_k – температура теплоносителя на входе в систему теплопотребления, Δt_n – разница температур теплоносителя и окружающей среды при кото-

рой выполнена нормировка тепловых потерь [5]. В качестве температуры окружающей среды принимают температуру наружного воздуха при надземной прокладке сетей и температуру грунта на глубине заложения теплопроводов при бесканальном способе и прокладке в непроходных каналах.

Формулы (7)–(9) можно использовать для анализа теплового состояния микрорайонных сетей. Установленная на ТРС микрорайонов измерительная аппаратура позволяет определять расход и температуру теплоносителя на входе в микрорайонную сеть. Устанавливаемые в определенных зданиях теплосчетчики, делают возможной фиксацию параметров теплоносителя в отдельных точках по длине ветвей.

Проверка возможности использования полученных формул выполнена на примере отопительной сети для идеализированных групп зданий, приведенных на рис. 1, 2. Группы составлены из зданий с одинаковой отопительной нагрузкой, равной 0,61 МВт. Расход теплоты на отопление группы составляет 6,1 МВт. Расход сетевой воды вычислен по формуле (10)

$$G = Q / [C \cdot (\tau_1 - \tau_2)], \quad (10)$$

где Q – тепловая нагрузка; C – удельная теплоемкость воды; τ_1, τ_2 – расчетная температура воды в подающем и обратном трубопроводах теплосети (принято $\tau_1 = 150^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 70^\circ\text{C}$).

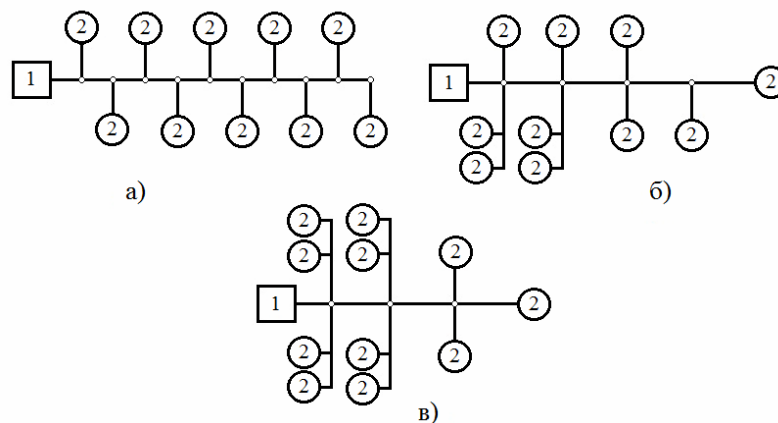


Рисунок 1 – Варианты исполнения тепловой сети
1 – теплораспределительная станция; 2 – здания

Диаметры трубопроводов на участках определены из гидравлического расчета при условии, что удельные потери из-за трения находятся в диапазоне $40 \leq R \leq 80$ Па/м. Числовые значения коэффициентов a, b, c в уравнениях изменения расхода для принятых к рассмотрению вариантов исполнения сети найдены по методу наименьших квадратов [6]. В расчетах принято, что трубопроводы проложены в непроходных каналах, удельные потери теплоты трубопроводами равны нормативным, коэффициент, учитывающий теплотери конструктивными элементами сети, $\beta = 1,15$. Длины расчетных участков для варианта 1 приняты одинаковыми $l_{1-2} = l_{2-3} = \dots = l_{10-11} = 100$ м. Длины участков для вариантов 2, 3 найдены из условия одинаковой для всех вариантов материальной характеристики сети $M = \sum_{i=1}^n d_i \cdot l_i = 133,8 \text{ м}^2$ (d_i – диаметр трубопровода

на участку; l_i – длина расчетного участка; n – число участков). Для варианта 2 длины расчетных участков одинаковы и равны 207 м, для варианта 3 длины ближайших к ТРС участков приняты равными 100 м, остальных – по 552 м.

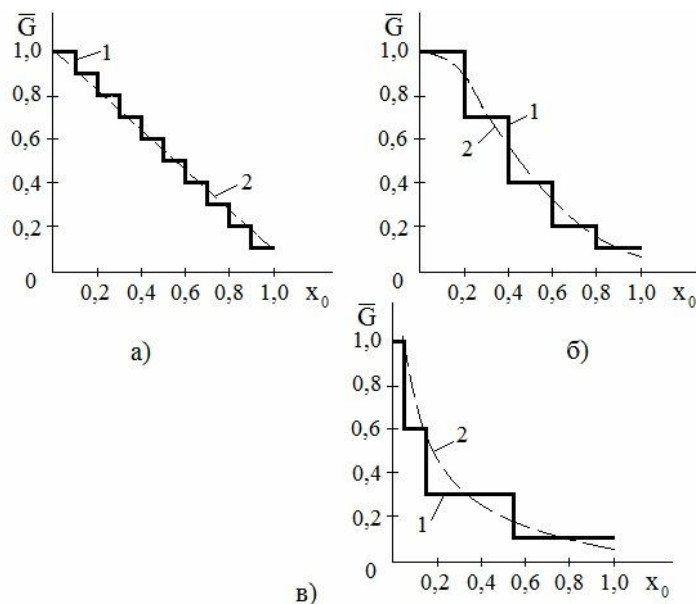


Рисунок 2 – Изменение расхода по длине расчетной ветви
а, б, в – номера вариантов исполнения сети (см. рис. 1)
1 – реальный закон; 2 – принятая аппроксимация

Температура сетевой воды на входе в микрорайонную отопительную сеть принята 90 °С. Температура воды в конце расчетного участка вычислена по формуле

$$\tau'' = \tau' - Q_{yч} / (C \cdot G_{yч}), \quad (11)$$

где τ' – температура сетевой воды на входе в участок; $Q_{yч}$, $G_{yч}$ – соответственно, расход теплоты и воды на расчетном участке; C – удельная теплоемкость воды.

Параметры гидравлического режима отопительной сети приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики вариантов

Показатель	Номер расчетного варианта		
	1 (рис. 1,а)	2 (рис. 1,б)	3 (рис. 1,в)
Принятый закон изменения расхода	$1 - 0,902 \cdot x_0$	$1 / (1 + 7,33 \cdot x_0^2)$	$1 / (1 + 8,73 \cdot x_0)$
Средняя погрешность аппроксимации расхода, %	0,5	6,2	- 0,9
Общая длина ветви, м	1000	1035	1304
Материальная характеристика сети, м ²	133,8	133,8	133,8

Расчеты теплопотерь подающим трубопроводом тепловой сети выполнены для трех характерных режимов отопительной сети: при температурах наружного воздуха, близких к расчетному значению (температура сетевой воды принята равной $\tau_1 = 130^\circ\text{C}$), при средней за отопительный период температуре наружного воздуха ($\tau_1 = 90^\circ\text{C}$) и температуре наружного воздуха, соответствующей точке излома температурного графика теплосети (принято $\tau_1 = 77^\circ\text{C}$). Результаты нахождения теплопотерь трубопроводами, приведенные нормативным температурным условиям, даны в табл. 4, из которой видно, что при использовании предложенных формул следует ожидать приемлемую точность нахождения теплопотерь (не выше 4 %). Анализ результатов выполненных расчетов не позволил выявить влияние температуры сетевой воды на точность определения тепловых потерь. Однако, при проведении натурных измерений, скорее всего, следует отдать предпочтение режимам с меньшими температурами наружного воздуха. В этом случае, вследствие большего остывания воды, точность измерения изменения температуры воды на длине испытываемой ветви сети будет выше.

Таблица 4 – Результаты определения удельных тепловых потерь подающим трубопроводом отопительной сети

Параметр	Температура воды на вводе в сеть, $^\circ\text{C}$	Номер расчетного варианта		
		1	2	3
Нормативные удельные теплопотери для исходного расчета (средние по длине), Вт/м	130	69,25	67,7	60,45
	90	69,25	67,7	60,45
	77	69,25	67,7	60,45
Расчетное остывание воды на ветви, $^\circ\text{C}$	130	4,127	5,523	9,614
	90	2,741	3,66	6,4
	77	2,417	3,23	5,63
Расчетные удельные теплопотери (формулы (7), (8), (9)), Вт/м (в скобках относительная погрешность, %)	130	71,66 (3,47)	69,55 (2,73)	62,8 (3,9)
	90	71,3 (3,0)	69,06 (2,01)	62,6 (3,6)
	77	71,62 (3,42)	69,5 (2,71)	62,7 (3,8)

Выводы

1. Предложены формулы для определения распределения температуры теплоносителя по длине ветви и тепловых потерь трубопроводами разветвленной сети для ряда характерных вариантов исполнения сети.

2. Удовлетворительная точность серии тестовых расчетов показала возможность использования полученных формул при экспериментальном определении потерь теплоты трубопроводами системы теплоснабжения.

Литература

1. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем [Текст] / Н.М. Зингер. – М.: Энергоиздат, 1986. – 320 с.
2. Повышение эффективности работы тепловых пунктов [Текст] / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – Стройиздат, 1990. – 185 с.

3. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. РД 34.09.255–97 [Текст] – М.: 1998. – 56 с.
4. Справочник по гидравлике [Текст] / под общ. ред. В.А. Большакова. – К.: Вища школа, 1984. – 368 с.
5. Тепловая изоляция [Текст] / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.
6. Демидович Б.П. Численные методы анализа [Текст]/ Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М.: Наука, 1967. – 368 с.

Bibliography (transliterated)

1. Zinger N.M. Gidravlicheskiye i teplovyye rezhimy teplofikatsionnykh sistem [Tekst]. N.M. Zinger. – М.: Energoizdat. 1986. – 320 p.
2. Povysheniye effektivnosti raboty teplovykh punktov [Tekst]. N.M. Zinger. V.G. Bestolchenko. A.A. Zhidkov. – Stroyizdat. 1990. – 185 p.
3. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu teplovykh poter v vodyanykh teplovykh setyakh. RD 34.09.255?97 [Tekst] – М.: 1998. – 56 p.
4. Spravochnik po gidravlike [Tekst]. pod obshch. red. V.A. Bolshakova. – К.: Vishcha shkola. 1984. – 368 p.
5. Teplovaya izolyatsiya [Tekst]. pod red. G.F. Kuznetsova. – М.: Stroyizdat, 1995. – 421 p.
6. Demidovich B.P. Chislennyye metody analiza [Tekst]. B.P. Demidovich. I.A. Maron. E.Z. Shuvalova. – М.: Nauka. 1967. – 368 p.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П.

**РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИТРАТ ПОДАЮЧИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ
РОЗГАЛУЖЕНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ**

На підставі розв'язання диференційного рівняння для розподілу температури по довжині гілки розгалуженої мережі теплопостачання запропоновано формули для обчислення втрат теплоти теплопроводами. Можливість використання запропонованих формул доведено при обчисленнях теплових втрат трубопроводами опалювальної мережі ідеалізованих груп будівель.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P.

**CALCULATION OF HEAT LOSSES OF SUPPLYING PIPELINES
OF THE BRANCHED HEAT SUPPLY NETWORKS**

The branched manifold of heat supply system was considered. The differential equation for temperature distribution along the manifold branch was solved. Calculating formulas for manifold heat losses were offered on the basis the decision of the differential equation. The possibility of the offered formulas using were proved by the calculations of the manifold heat losses for idealized groups of buildings.

УДК 664:665.1/7:539:542/543

Левчук І.В., Кіщенко В.А., Тимченко В.К., Куниця К.В.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮВАННЯ ДОМІШОК МІНЕРАЛЬНИХ ОЛИВ У РОСЛИННИХ ОЛІЯХ

1. Вступ

У зв'язку з інтеграцією України в СОТ (світова організація торгівлі) питання якості та безпеки харчових продуктів стали особливо актуальними, оскільки невідповідність їх міжнародним стандартам знижує конкурентоздатність вітчизняної продукції на ринку розвинутих країн і створює технічні перешкоди в торгівлі. Тому ці аспекти регулюються на державному рівні нормами закону. Для українських виробників соняшникової олії це питання є особливо актуальним у зв'язку з тим, що значна частина соняшникової олії повинна експортуватися на європейські ринки. У першу чергу це стосується тих підприємств, які постачають або збираються поставляти власну продукцію на експорт. Підприємства, які мають експлуатаційний дозвіл на виробництво олії соняшникової для експорту, повинні виконувати Регламент 852/2004 Європейського парламенту від 29.04.04 «О гигиене пищевых продуктов» відносно обов'язкового впровадження на підприємствах системи аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) [1,2].

При цьому особлива увага повинна бути звернена на критичні точки контролю, в яких всі види ризику, пов'язані з вживанням харчових продуктів, можуть бути передбачені, усунені і знижені до прийняттого рівня в результаті цілеспрямованих заходів контролю (технічного та технохімічного). До числа небезпечних факторів [3] під час виробництва рослинних олій відноситься можливість забруднення їх мінеральними олівами. Мінеральні оливи можуть потрапляти у рослинні олії з екстрагенту (гексану або іншого нафтового розчинника), внаслідок технічної несправності олієвіджимного пресу, під час профілактичного ремонту обладнання, в результаті можливого забруднення насіння олійних культур мінеральними олівами, злежання та контакту його з асфальтовим покриттям складських приміщень.

Особливо слід відмітити, що у 2008 році в окремих партіях соняшникової олії, поставленої в деякі країни Єврозони було виявлено мінеральні оливи в кількості 4060–7400 мг/кг (0,406–0,74 %) при нормі 50 мг/кг (0,005 %). В результаті доля експорту соняшникової олії на ринок Євросоюзу з 50 % знизилася до 20 %. Для відновлення експорту у колишніх обсягах виробники соняшникової олії повинні дотримуватись спеціальних умов Регламенту ЄС, які враховують ризики наявності мінеральних олів.

Тому розробка науково обгрунтованого методу контролювання домішок мінеральних олів у рослинних оліях є актуальним науковим завданням, яке вирішує дане дослідження.

2. Постановка проблеми

Під загальною назвою "Мінеральні оливи" об'єднують суміш насичених та ненасичених вуглеводнів з прямим або розгалуженим ланцюгом, який складається з 10-ти або більше атомів вуглецю. Така суміш утворюється при переробці нафти в результаті процесів дистиляції, екстракції, кристалізації та наступної очистки. В залежності від щільності та середньої молекулярної маси мінеральні оливи поділяються на три класи –

з низькою, середньою та високою щільністю, які відрізняються за температурою кипіння. Мінеральні оливи є основною складовою різних видів дизельного палива.

До 2008 року в Україні вміст мінеральних олив у харчових оліях не нормувався, оскільки при належній експлуатації обладнання, що використовується при виробництві та транспортуванні рослинної олії, не повинно відбуватись її забруднення мінеральними вуглеводнями.

Проте, наприкінці квітня 2008 року Агенція з безпеки харчових продуктів Іспанії (AESAN) виявила значний вміст мінеральних вуглеводнів у соняшниковій олії, що була імпортована з України. Забруднену олію було виявлено ще в 14 країнах Європейського Співтовариства: Бельгії, Німеччині, Франції, Великій Британії, Греції, Італії, Нідерландах, Норвегії, Португалії, Румунії, Швеції, Албанії, Монако, а також в Туреччині, Тайвані. Одразу після виявлення мінеральної олії Європейська комісія запропонувала всім країнам ЄС вилучити з продажу всю забруднену олію, а також харчові продукти, що містили у своєму складі більше 10 % такої олії.

Європейська комісія разом із FEDIOL (спілка виробників олії та зернопродуктів країн ЄС) звернулися до уряду України з проханням встановити джерело забруднення соняшnikової олії та вжити заходів для недопущення подібного забруднення у майбутньому. Крім того, рішенням Комісії ЄС від 23 травня 2008 року було регламентовано проводити обов'язкові випробування всієї соняшnikової олії, яка імпортується з України, на вміст мінеральної оливи. Дещо пізніше було встановлено максимально допустимий рівень (МДР) мінеральної оливи у соняшnikовій олії – 50 мг/кг. Одночасно FEDIOL опублікувала рекомендації щодо аналітичного методу визначення мінеральних олив у харчових оліях. На сьогоднішній день діють ДСТУ 7187-1:2010 Олії. Визначення вмісту олив. Частина 1. Метод готування проб [4] та ДСТУ 7187-2:2010 Олії. Визначення вмісту олив. Частина 2. Аналізування [5], які передбачають хроматографічний метод визначення мінеральних олив у харчових оліях. Під час реалізації методу виявлено ряд недоліків, які ускладнюють аналізування і спричиняють високу вартість визначення.

3. Об'єкти, мета та задачі дослідження

Об'єктом даного дослідження є олія соняшnikова за ДСТУ 4492:2005 [6].

Метою даного дослідження є удосконалення методу визначення мінеральних олив з використанням високотемпературної газорідинної хроматографії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати стан нормативної та експериментальної бази методу визначення мінеральних олив у рослинних оліях;
- удосконалити пробопідготовку методу визначення мінеральних олив у оліях;
- оцінити спроможність удосконаленого методу визначення мінеральних олив під час технохімічного контролю виробництва соняшnikової олії.

4. Методи дослідження соняшnikової олії щодо вмісту мінеральних олив

Мінеральні оливи вилучали з соняшnikової олії за допомогою колонкової хроматографії з використанням набивних колонок із окисом алюмінію. Отримані екстракти мінеральних олив досліджували методом високотемпературної газорідинної хроматографії (ГРХ) на газовому хроматографі CP-380 виробництва фірми Varian. Ідентифікація природних вуглеводнів та інших природних сполук здійснювали за допомогою газового хромато-мас-спектрометра. В якості стандартного зразку для градування використовували зразок виробництва Нідерландського національного інституту охорони здо-

ров'я та навколишнього середовища RIVM-NMi-001. Для обробки експериментальних даних застосовано програмні пакети Galaxie, Microsoft Office, Excel.

5. Результати дослідження вмісту мінеральних олив у соняшниковій олії

Згідно рекомендацій FEDIOL метод визначення мінеральних олив у харчовій олії повинен відповідати наступним вимогам:

- аналіз чиниться методом газової хроматографії з полум'яно-іонізаційним детектором або методом газової хромато-мас-спектрометрії;
- метод повинен бути придатним для аналізу аліфатичних вуглеводнів, молекули яких складаються з 10–56 атомів вуглецю;
- необхідне попереднє відокремлення фракції мінеральної оливи від триацилгліцеринів за допомогою очищення на колонці, заповненій окисом алюмінію або силікагелем;
- нижня межа кількісного визначення повинна бути нижчою 25 мг/кг і в жодному разі не повинна перевищувати МДР (50 мг/кг);
- коефіцієнт повернення (Recovery) не повинен бути нижчим 85 %;

Стандартний метод включає виділення мінеральної оливи на колонці, заповненій окисом алюмінію та наступним визначенням її концентрації методом газової хроматографії з полум'яно-іонізаційним детектором. Ідентифікація природних вуглеводнів та інших природних сполук здійснюється за допомогою газового хромато-мас-спектрометра [4, 5].

Межа виявлення методу (LOD) становить 10 мг/кг, межа кількісного визначення (LOQ) – 20 мг/кг. Коефіцієнт повернення (Recovery), встановлений шляхом випробувань зразків соняшникової олії з додаванням стандартного розчину мінеральної оливи, становить 87 %.

Для хроматографічного розділення використовується високотемпературна капілярна колонка “VF-5ht” (Varian) довжиною 15 м, з внутрішнім діаметром 0,32 мм і товщиною плівки фази 0,1 мкм. Газ-носіє – гелій, спосіб введення зразка – з поділом потоку (1:10), об'єм введення 1,0 см³. Температура інжектора 390 °С, температура детектора 400 °С, програма термостата колонки від 90 °С до 380 °С.

Підготовку зразків для дослідження згідно [4] здійснювали так: 10,0 г олії розчиняється у 50 см³ гексану (HPLC grade, Fluka, кат № 52749), перемішується і вноситься в колонку. Для виділення мінеральної олії використовується скляна колонка довжиною 40 см, заповнена 200 г сорбенту. Сорбент – окис алюмінію, 80–200 меш (Fluka кат. № 06300), вміст води 0 %. Після внесення зразка колонка промивається гексаном із швидкістю 1 крапля в секунду до об'єму 400 см³. Розчинник з екстракту випаровується у ротаторному випарнику за температури 40 °С. Залишок розчиняється у 0,5 см³ гексану і вводиться у газовий хроматограф.

Використовується стандартний зразок для градування виробництва Нідерландського національного інституту охорони здоров'я та навколишнього середовища RIVM-NMi-001. Дана методика увійшла до ДСТУ 7187-1, 2:2010 [4, 5].

В процесі застосування зазначених вище методик виявлено, що велика наважка та велика кількість реактивів для пробопідготовки ускладнюють проведення аналізу і значно підвищують його собівартість.

При наважці 10,0 грамів на пробопідготовку затрачується 12 годин, але при цьому вплив зовнішніх факторів є мінімальним.

Тому виникла необхідність удосконалити пробопідготовку, а саме: для досягнення мети нами використано колонку скляну (хроматографічну) висотою 200 мм, діа-

метром від 14 мм до 15 мм з тифлоновим краном, заповнена 20 г сорбенту. Сорбент – окис алюмінію, 80–200 меш (Fluka кат.№ 06300), вміст води 0 %. Наважка 1,0 г олії розчиняється у 10 см³ гексану (HPLC grade, Fluka, кат № 52749), перемішується і вноситься у колонку. Після внесення зразку колонка промивається гексаном із швидкістю 0,5 крапля в секунду до об'єму 40 см³. Розчинник з екстракту випаровується у роторному випарнику за температури 40 °С. Залишок розчиняється у 0,5 см³ гексану і вводиться у газовий хроматограф. При наважці 1,0 г та елюванні скрізь колонку зі швидкістю 0,5 крапель в сек. затрачується 5 годин, але при цьому виникає необхідність здійснювати контроль за впливом зовнішніх факторів («холості проби» для встановлення ступеня впливу чистоти реактивів на дослідження) [7].

Запропонований метод виділення оливи дозволяє отримати чисту фракцію мінеральної оливи без домішок триацилгліцеринів, які б заважали подальшому визначенню вуглеводнів, ланцюг яких складається з 40 і більше атомів вуглецю (рис. 1).

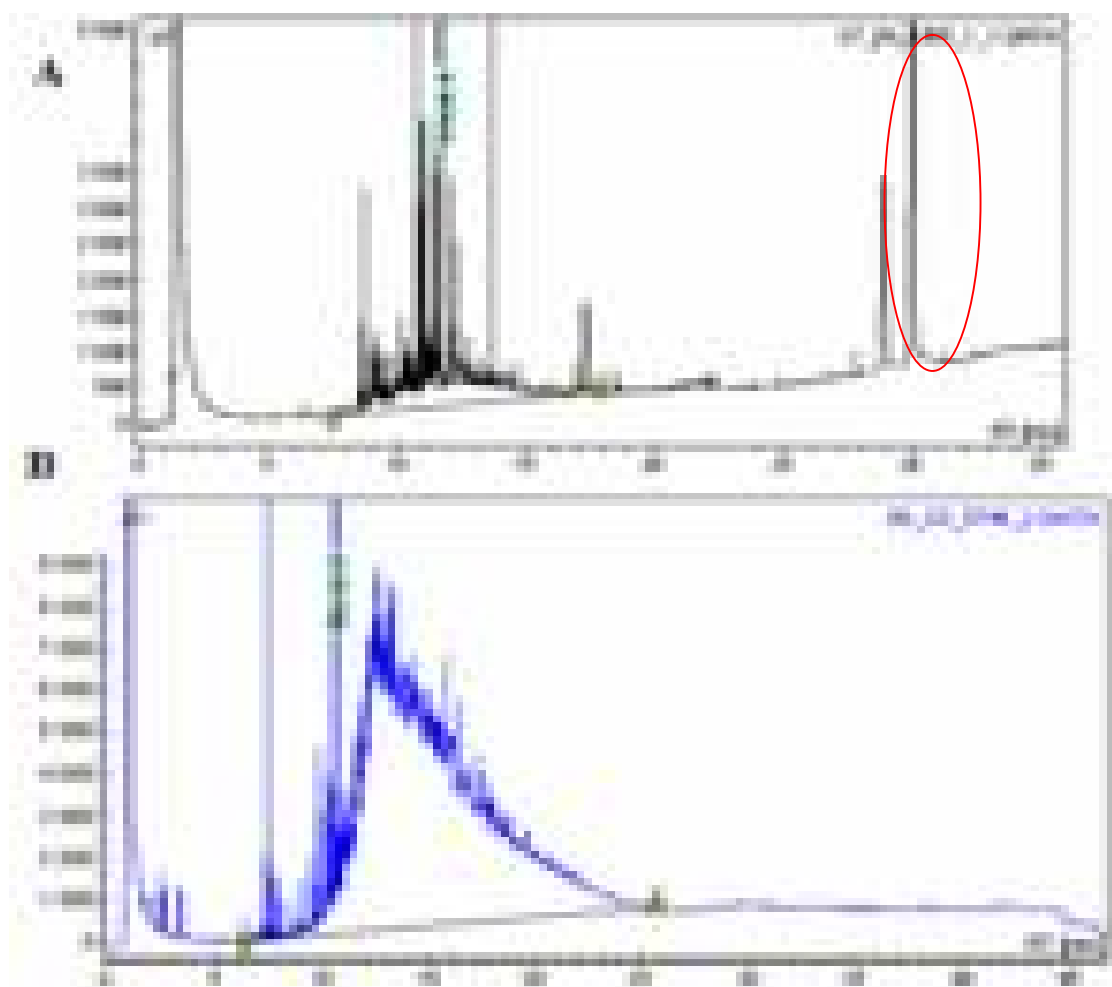


Рисунок 1 – Хроматограма мінеральних оливи, що містяться у соняшниковій олії:
 А – незадовільна підготовка проби (залишки триацилгліцеринів),
 В – правильна підготовка проби (піки триацилгліцеринів відсутні)

Ідентифікація піків мінеральної оливи здійснюється за часом утримання. Кількісне визначення проводиться методом зовнішніх стандартів. На початку роботи в якості

градувального зразка використовувалась суміш мінеральної оливи середньої щільності (Fluka, кат. № 330760), легкої щільності (Fluka кат. № 330779) та рідкого парафіну (Fluka кат. № 18512), а пізніше - стандартний зразок RIVM-NMi-001, який являє собою суміш двох фракцій мінеральної оливи (рис. 2). Робочий лінійний діапазон концентрацій мінеральної оливи – від 0,25 до 5,0 мг/см³ (для градування хроматографічної системи).

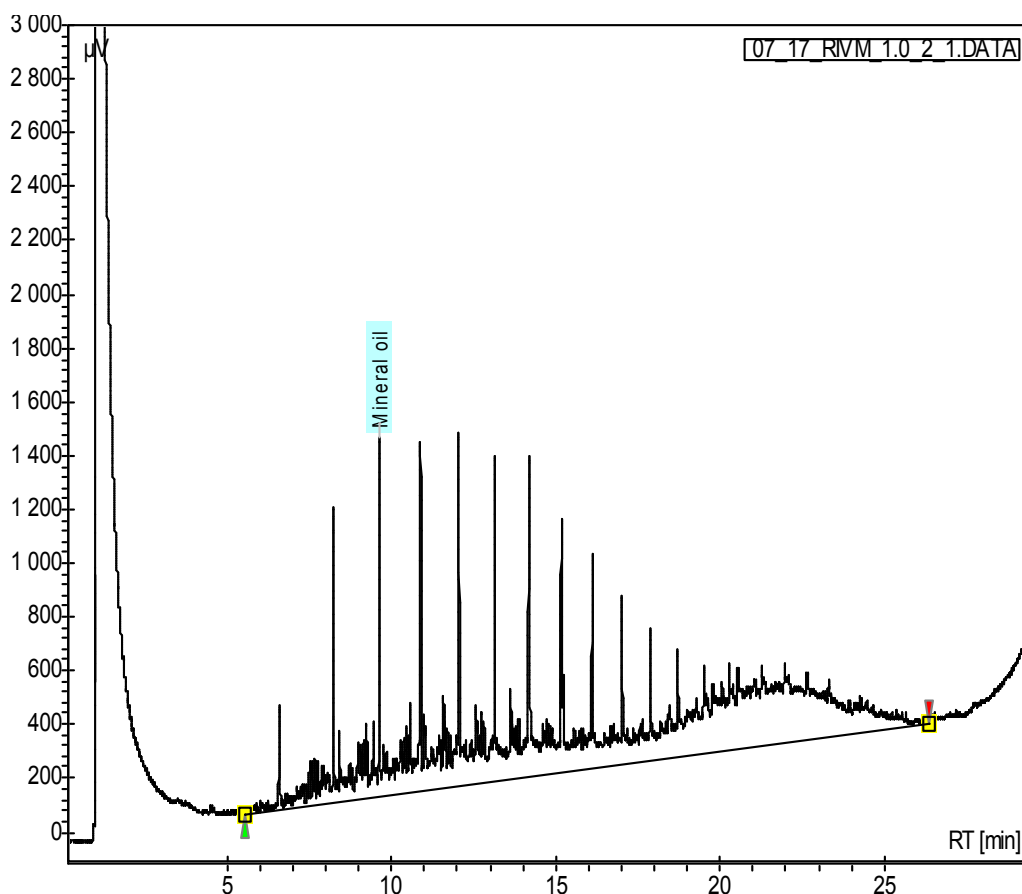


Рисунок 2 – Хроматограма розчину стандартного зразка RIVM-NMi-001

При проведенні випробувань слід мати на увазі, що у складі рослинної олії, особливо одержаної шляхом пресування, міститься значна кількість насичених вуглеводнів природного походження з непарною кількістю атомів вуглецю. У соняшниковій олії основними природними вуглеводнями є гептакозан (C 27), нонакозан (C 29) та гентріаконтан (C 31) (рис. 3).

Для ідентифікації цих речовин було вирішено застосувати метод газової хромато-мас-спектрометрії. Ідентифікацію піків природних вуглеводів проводили на газово-му хромато-мас-спектрометрі HP 6890/5973 в режимі Scan.

Обов'язковою умовою при проведенні визначення мінеральних олій за даним методом є перевірка кожної партії реактивів на чистоту шляхом готування "холостої проби". Реактиви з недостатнім ступенем чистоти можуть суттєво вплинути на результат аналізу.

Апробація удосконаленого методу визначення мінеральних олій у рослинній олії для контролювання виробничих партій соняшникової олії виявила добру відтворюваність результатів.

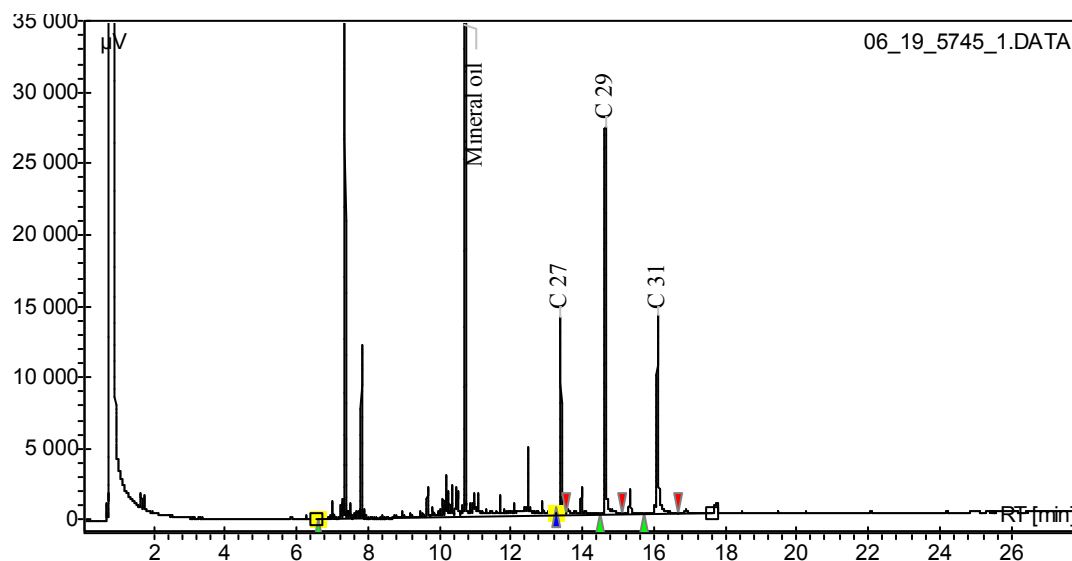


Рисунок 3 – Хроматограма зразка пресової соняшникової олії із значною кількістю природних вуглеводнів

Результати проведених випробувань свідчать про те, що на даний час на ринку України присутні партії соняшникової олії із вмістом мінеральної оливи від 50 до 200 мг/кг, у поодиноких випадках цей показник перевищує 2000 мг/кг.

На рис. 4 представлено типову хроматограму мінеральних олив, вміст яких у соняшниковій сягає рівня 2090 мг/кг.

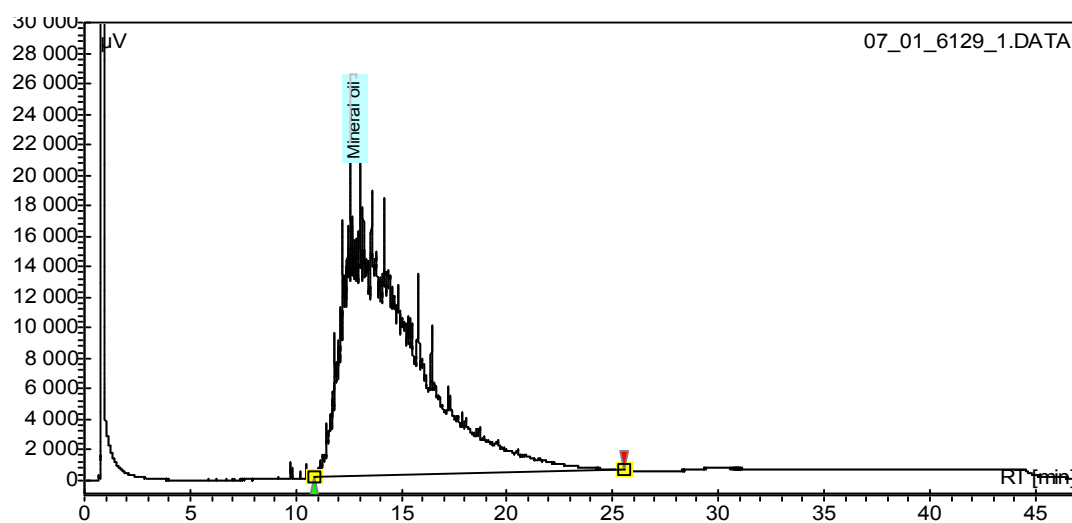


Рисунок 4 – Хроматограма мінеральних олив з вмістом у нерафінованій соняшниковій олії 2090 мг/кг

Таким чином, удосконалений метод дозволяє виявляти домішки мінеральних вуглеводнів у рослинних оліях і проводити їх кількісне визначення. Обов'язковими умовами для отримання коректного результату є використання реактивів з високим ступенем чистоти, правильна підготовка проби та ідентифікація природних вуглеводнів.

Науковий пріоритет методу визначення мінеральних олив у рослинних оліях захищено патентом на корисну модель [7].

Удосконалений метод визначення мінеральних олив у рослинних оліях рекомендовано застосовувати в технохімконтролі виробництва соняшникової олії на стадії контролювання готової продукції.

6. Висновки

Проаналізовано стан нормативної та експериментальної бази методу визначення мінеральних олив у рослинних оліях та виявлено необхідність удосконалення відповідного стандартного методу.

Експериментально підтверджено можливість зміни пробопідготовки зразків соняшникової олії, яка приводить до зменшення терміну визначення з 12-ти до 5 год, значної економії коштовних реактивів, але потребує додаткового контролю їх шляхом готування «холостої» проби.

Удосконалений метод визначення мінеральних олив у рослинних оліях відповідає міжнародним вимогам, його застосування гарантує якість експортної соняшникової олії за умови контролювання цього показнику під час технохімконтролю готової продукції.

Література

1. Директива ради ЄС 93/43/ЕЕС Про гігієну харчових продуктів [Текст]. – Затв. від 14.07.1993 р.
2. Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини [Електронний ресурс]: Закон від 23.12.1997 № 771/97–ВР // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1998. – N 19. – ст. 98. – Режим доступу: \www/URL:http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/771/97-vr/ed19971223.
3. Левчук І.В. Аналіз факторів небезпеки продукції в технології олієжирових виробництв / І.В. Левчук, М.І. Осейко, В.К. Тимченко // Технологічний аудит і резерви виробництва – Харків: Технологічний центр, Т. 5, № 2 (19) 2014. – С. 21–25.
4. Олії. Визначання вмісту олив. Частина 1. Метод готування проб: ДСТУ 7187-1:2010 [Текст] / Чинний від 2011-07-01.– Київ: Держспоживстандарт України, 2010.– 8 с.
5. Олії. Визначання вмісту олив. Частина 2. Аналізування. ДСТУ 7187-2:2010 [Текст] / Чинний від 2011-07-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 8 с.
6. Олія соняшникова. Технічні умови: ДСТУ 4492:2005 [Текст] / зі зміною від 2010-04-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 12 с.
7. Осейко М.І. Спосіб очищення рослинних олій при хроматографічному визначенні мінеральних олив. Патент на корисну модель / М.І. Осейко, І.В. Левчук, В.А. Кищенко // UA 93151. Опубл. 25.09.2014 р., Бюл. № 18.

Bibliography (transliterated)

1. Direktiva radi ES 93/43/EES Pro gigeniu harchovih produktiv [Tekst]. – Zatv. vid 14.07.1993.
2. Pro yakist ta bezpeku harchovih produktiv i prodovolchoyi sirovini [Elektroniyy resurs]: Zakon vid 23.12.1997 # 771/97–VR. Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrayini (VVR). – 1998. – N 19. – st. 98. – Rezhim dostupu: \www/URL:http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/771/97-vr/ed19971223.

3. Levchuk I.V. Analiz faktoriv nebezpeki produktsiyi v tehnologii oliezhirovih virobnitstv. I.V. Levchuk, M.I. Oseyko, V.K. Timchenko. Tehnologichniy audit i rezervi virobnitstva – Harkiv: Tehnologichniy tsentr, T. 5, # 2 (19) 2014. – P. 21–25.
4. Oliyi. Vznachannya vmistu oliv. Chastina 1. Metod gotuvannya prob: DSTU 7187-1:2010 [Tekst]. Chinniy vId 2011-07-01.– Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2010.– 8 p.
5. Oliyi. Vznachannya vmistu oliv. Chastina 2. Analizuvannya. DSTU 7187-2:2010 [Tekst]. Chinniy vId 2011-07-01. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2010. – 8 p.
6. Oliya sonyashnikova. Tehnichni umovi: DSTU 4492:2005 [Tekst]. zi zminoyu vid 2010-04-01. – Kiyiv: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2006. – 12 p.
7. Oseyko M.I. Sposib ochischennya roslinnih oliy pri hromatografichnomu viznachenni mineralnih oliv. Patent na korisnu model. M.I. Oseyko, I.V. Levchuk, V.A. Kishchenko. UA 93151. Opubl. 25.09.2014 r., Byul. # 18.

УДК 664:665.1/7:539:542/543

Левчук И.В., Кищенко В.А., Тимченко В.К., Куница Е.В.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРИМЕСЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ

В статье показано становление научно-обоснованного подхода к разработке и совершенствованию метода контроля примесей минеральных масел в растительных маслах методом высокотемпературной газожидкостной хроматографии. По результатам исследований установлена необходимость внедрения технохимического контроля на предприятиях масложировой отрасли с определения минеральных масел для контроля исходного сырья, готовой продукции, технохимического процесса извлечения растительных масел и при замене растворителей (гексана) во время экстракции. Экспериментально доказана воспроизводимость методики выявления минеральных масел методом высокотемпературной газожидкостной хроматографии.

Levchuk I.V., Kishchenko V.A., Timchenko V.K., Kunitsa E.V.

IMPROVED CONTROL METHOD IMPURITIES MINERAL OILS IN VEGETABLE OIL

The article shows the formation of a science-based approach to the development and improvement of the quality monitoring of mineral oil contaminants in vegetable oils by high-temperature gas-liquid chromatography. According to the research established the need to implement technochemical control at the enterprises of oil and fat industry with the definition of mineral oils for the control of raw material, finished products, technochemical process of extracting oils and the replacement of solvent (hexane) during extraction. Experimentally proved the reproducibility of techniques to identify mineral oils by high-temperature gas-liquid chromatography.

УДК 697.244; 697.328

Никольский В.Е., Лободенко А.В.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ АППАРАТОВ ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ

Введение. Высокие показатели энергоэффективности использования топлива в энерготехнологических установках с применением аппаратов погружного горения (АПГ) обусловило их широкое использование в различных отраслях промышленности. Большинство установок с монтированными в них АПГ применяются для выпаривания агрессивных и кристаллизующихся растворов, термического обезвреживания сточных вод [1,2].

В последние десятилетия в развитых странах прослеживается тенденция использования АПГ в качестве самостоятельных высокоэффективных теплогенерирующих устройств для производственных и коммунальных целей [3–7]. Активно работают над созданием систем индивидуально обогрева зданий и сооружений на основе АПГ известные фирмы «Nordak» (Англия), «Ozark-Mahoning» (США), «Gas de France» (Франция) и др.

Основным узлом АПГ является камера сгорания, в которой сжигается топливно-воздушная смесь и отводятся продукты сгорания через барботажное устройство. В работах ведущих мировых производителей АПГ наметился переход к воздуховодоохлаждаемым цельнометаллическим не футерованным камерам сгорания. Для отечественных конструкций АПГ такое направление является приоритетным.

В настоящей работе приводятся результаты опытных исследований по усовершенствованию цельнометаллической камеры сгорания и газораспределительной системы АПГ с целью уменьшения их аэродинамического сопротивления тракту продуктов сгорания. В результате исследований установлено значительное уменьшение расходов энергии на подачу топлива и окислителя и расширения диапазона нагрузок АПГ.

Исследование цельнометаллической камеры сгорания для аппаратов погружного горения. Усовершенствованная камера сгорания (рис. 1) выполнена в виде соединенных диффузора и конфузора, расположенных внутри циркуляционного стакана с кольцевым зазором для обеспечения эрлифтного движения нагреваемой жидкости.

Диффузорная часть камеры сгорания состоит из системы n срезанных конусов с прогрессивно увеличивающимися углами раскрытия и переходного, соединяющего с цилиндрической частью, конуса.

Конфузорная часть камеры сгорания выполнена из системы K срезанных конусов, к нижнему из которых через переходной цилиндр прикреплено перфорированное газораспределительное устройство. Нижняя часть газораспределительного устройства имеет тарельчатую плоскую форму, верхняя – выполнена в виде срезанного конуса.

При проведении экспериментальных исследовательских работ по доводке усовершенствованной камеры сгорания до уровня современных энерго-технологически – экологических показателей на промышленной установке ПАО «Данверс» (г. Кривой Рог) исследовали аппараты погружного горения (АПГ) с усовершенствованной камерой сгорания, у которых диффузорная часть камеры сгорания состояла из одного и трех конусов ($n = 1, 3$), конфузорная часть из двух конусов ($K = 2$) (табл. 1). При этом варьи-

вались значення углов раскрытия камеры сгорания $\alpha_1 = \alpha_k$ (в диапазоне: $2\pi/3$; $3\pi/4$; $5\pi/6$; $11\pi/12$) и диффузора γ (в диапазоне: $\pi/6$; $\pi/3$; $5\pi/12$; $\pi/4$) (табл. 2).

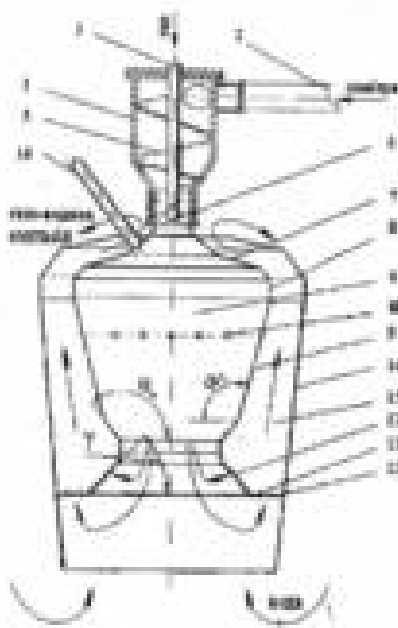


Рисунок 1 – Усовершенствованная камера сгорания:

- 1 – плоскопламенная горелка; 2 – подвод окислителя (воздуха); 3 – подвод топлива; 4 – сопло;
 5 – завихритель воздуха; 6 – рабочий объем камеры сгорания; 7 – диффузор;
 8 – цилиндрический участок; 9 – конфузор; 10 – подрывные отверстия;
 11 – перфарированное газораспределительное устройство; 12 – срезанный конус;
 13 – отверстия в газораспределительном устройстве; 14 – корпус АПП;
 15 – циркуляционное пространство; 16 – поджигающее устройство

Таблица 1 – Результаты испытаний аппарата погружного горения с усовершенствованной камерой сгорания при различных исполнениях диффузорной части камеры сгорания

Конструкция диффузорной части (кол-во конусов)	Давление воздуха, идущего на сжигание, Па	Диапазон нагрузки
		% от номинала
$n = 1$	7200	40/110
$n = 3$	6950	30/120

Важность исследований, связанных с нахождением оптимальных значений углов раскрытия конфузора α_k и диффузора γ камеры сгорания АПП подтверждается не только эффективной гидрогазодинамикой работы КМС в целом, но и минимальными отложениями солей жесткости на стенках камеры сгорания, что в конечном итоге приводит к увеличению гидравлического сопротивления АПП.

Из анализа результатов исследований табл. 1 следует, что диапазон нагрузок при снижении потребляемого давления окислителя выше в случае исполнения диффузорной части камеры сгорания в виде системы конусов $n = 3$.

Таблица 2 – Результаты испытаний аппарата погружного горения усовершенствованной камерой сгорания при различных углах α и γ

α_k , ряд	γ , ряд	Наличие отложений солей: значительные отложения ++, незначительные отложения +, отсутствие отложений -			
		Продолжительность исследований, месяцев			
		1	2	3	4
$2\pi/3$	$\pi/12$	-	+	++	++
	$\pi/6$	-	-	-	-
	$\pi/3$	-	-	-	-
	$5\pi/12$	-	-	+	++
$3\pi/4$	$\pi/6$	+	+	++	++
	$\pi/4$	-	-	-	+
	$\pi/3$	-	-	-	-
	$5\pi/12$	-	+	++	++
$5\pi/6$	$\pi/4$	+	+	++	++
	$\pi/3$	-	-	-	+
	$5\pi/6$	-	+	++	++
$11\pi/12$	$\pi/4$	+	++	++	++
	$\pi/3$	+	+	++	++
	$5\pi/12$	-	+	+	++

Анализ результатов табл. 2 указывает на то, что при значении $\alpha_k \leq 5\pi/6$ всегда находится диапазон γ ($\gamma = (\alpha_k - \pi/2), \pi/3$), при котором не наблюдается отложений солей на стенках жесткости АПГ. При повышении α_k имеет место отложений солей при любых значениях γ .

Отдельные серии экспериментов были посвящены исследованиям влияния некоторых конструктивных особенностей АПГ с встроенной усовершенствованной камерой сгорания на эффективность их работы.

Исследовались следующие конструктивные особенности АПГ:

1. Продольно-поперечное секционирование АПГ специальными перегородками на отдельные секции с целью организации многократной инверсии контактирующих фаз и её влияние на эффективность теплообмена при работе АПГ.

2. Организация резонирующих колебаний контактирующих фаз в АПГ.

С этой целью помимо усовершенствованной конструкции камеры сгорания, один АПГ оборудовали системой многократной инверсии фаз (рис. 2) [8], второй – системой обеспечения модуляции колебаний контактирующих фаз (продукты сгорания – жидкий теплоноситель) (рис. 3) [9].

Специальными перегородками в промышленной установке АПГ отделяли друг от друга. Это обеспечивает работу АПГ в автономном режиме, препятствует перетоку теплоносителя из секции в секцию, а также исключает контакт подогретой воды с вновь поступающей на подогрев питательной водой.

Кроме того, установку оборудовали дополнительным контактным теплообменником для утилизации теплоты отходящих продуктов сгорания путем частичного подогрева воды, поступающей из системы отопления.

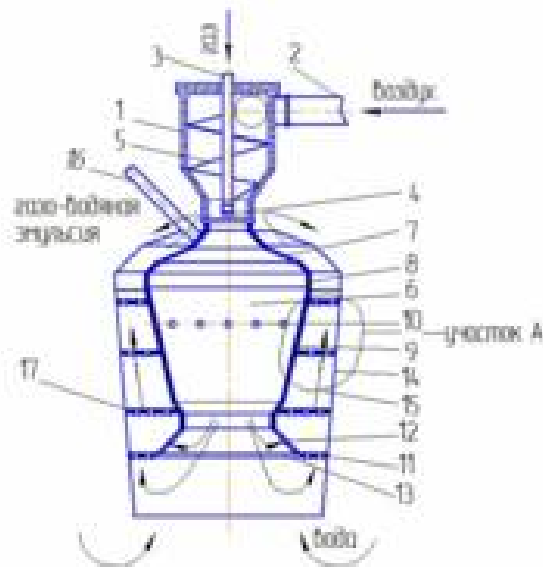


Рисунок 2 – Аппарат погружного горения с многократной инверсией контактирующий фаз:

- 1 – горелочное устройство (плоскопламенная горелка); 2 – патрубок для подачи воздуха;
3 – патрубок для подачи топлива; 4 – газо-сопловой насадок; 5 – винт-завихритель воздуха;
6 – камера сгорания; 7 – диффузор; 8 – цилиндрический участок; 9 – конфузор;
10 – система отверстий; 11 – газораспределительное устройство;
12 – перфорированный участок; 13 – основание; 14 – циркуляционная труба;
15 – кольцевой зазор; 16 – поджигающее устройство; 17 – сепарационные решетки

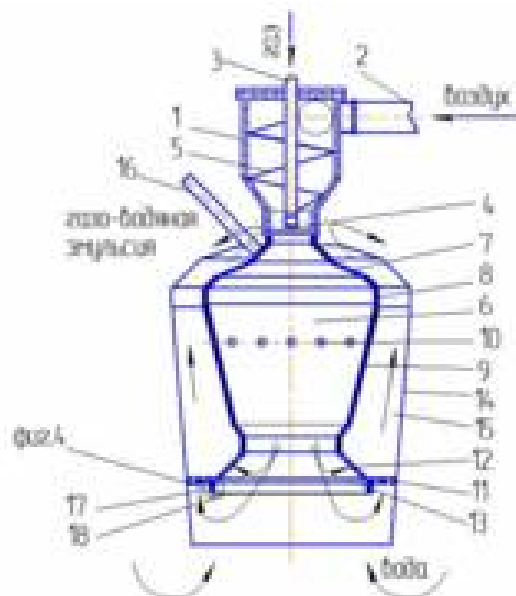


Рисунок 3 – Аппарат погружного горения с модуляцией контактирующий фаз:

- 1 – горелочное устройство (плоскопламенная горелка); 2 – патрубок для подачи воздуха;
3 – патрубок для подачи топлива; 4 – газо-сопловой насадок; 5 – винт-завихритель воздуха;
6 – камера сгорания; 7 – диффузор; 8 – цилиндрический участок; 9 – конфузор;
10 – система отверстий; 11 – газораспределительное устройство;
12 – перфорированный участок; 13 – основание; 14 – циркуляционная труба;
15 – кольцевой зазор; 16 – поджигающее устройство; 17 – пружины;
18 – резонирующее клапанное контактное устройство

Основные результаты эколого-теплотехнических испытаний промышленной установки с усовершенствованными АПГ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты эколого-теплотехнических испытаний

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Фактические значения
Нагрузка	%	—	96,4
Тепловая мощность	кВт	Q_n	615,0
Расход воды	м ³ /с	G	0,0046
Расход газа по счетчику	м ³ /с	$V_{сч}$	0,0159
Температура воды на входе в нагреватель	°C	$t_{вх}$	40,5
Температура отходящих газон	°C	$t_{вых.г}$	53,2
Температура воздуха, поступающего на горение	°C	t_n	21,9
Температура воды на выходе из нагревателя	°C	$t_{вых}$	82
Давление газа на входе	МПа	$P_{вх}$	0,0000108
Давление газа перед счетчиком	кПа	$P_{гд}$	17,00
Давление газа перед горелкой	кПа	$P_{гп}$	12,500
Давление воздуха перед горел-	кПа	$P_{пп}$	7,5
Давление в топке	кПа	P_t	7,52
Содержание в сухих продуктах: кислорода	%	O_2	4,3
двуокси углерода	%	CO_2	9,4
Содержание в сухих продуктах сгорания, приведенных к $\alpha=1$ и нормальным условиям:			
оксида углерода	мг/м ³	CO_2	48,2
оксидов азота	мг/м ³	NO_2	56,8
Коэффициент избытка воздуха	—	α	1,23
КПД по прямому балансу, относительно Q^P_n относительно $<3P_n$	%	$\eta_{пр}$	98,0

Выводы. Выполненные исследования АПГ с усовершенствованными цельнометаллическими водоохлаждаемыми камерами сгорания доказали высокую их энерготеплотехническую эффективность при использовании в системах децентрализованного отопления зданий и сооружений.

Высокая энерготеплотехническая эффективность усовершенствованных АПГ в широком диапазоне температур нагрева водного теплоносителя достигается за счет: использования теплоты конденсации влаги продуктов сгорания, оптимизации температурного режима системы в целом, обеспечения эффективного теплообмена контактирующих фаз в системе «продукты сгорания – нагреваемая жидкость» применением многократной инверсии и модуляции контактирующих фаз, обеспечения низких показателей вредных веществ в отходящих газах.

Перечисленные преимущества позволяют снизить расходы природного газа на обогрев до 20 %.

Литература

1. Товажнянский Л.Л. Теплоэнергетика погружного горения в решении проблем теплоснабжения и экологии Украины / Л.Л. Товажнянский, Л.П. Перцев, В.П. Шапоров и др. // Интегрированные технологии и энергоснабжение. – 2004. – № 3. – С. 3–12.
2. Сорока Б.С. Аппараты погружного горения для эффективного контактного нагрева жидкостей / Б.С. Сорока, А.С. Лукьянчиков, В.Е. Никольский, В.Ю. Никитин. – М.: ВНИИЭГазпром, 1989. – 56 с.
3. Haep J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 1 / J. Haep, M. Nani // Gas Warme International. – 2000. – Vol. 49, №4/5. – P. 228–233.
4. Haep J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 1 / J. Haep, M. Nani // Gas Warme International. – 2000. – Vol. 49, №11. – P. 577–579.
5. More Efficiency, Less Pollution / Corolla Paek, AFATEK: Promotional material, Marzo– 1999. – 7 p.
6. Haep J. Kompakte Brennwertkessel auch bis 250 KW-Teil 1 / J. Haep, M. Nani // Gas Warme International. – 1999. – Vol. 48, №6 – P. 365–369.
7. Пат. №101002 Украина, F23D 14/44. Апарат зануреного згорання. / Никольский В.Е., Задорский В.М., Сиволоб Н.Б. – заявл. 12.01.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16.
8. Пат. №101001 Украина, F23D 14/44. Апарат зануреного згорання для випарювання рідини. / Никольский В.Е., Задорский В.М., Циганков Г.Т., Сиволоб Н.Б. – заявл. 12.01.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16.

Bibliography (transliterated)

1. Tovagnyansky L.L. Teploenergetika pogrurnogo gorennya v reshenii problem teplosnabgenya i ekologii Ukrainu. L.L. Tovagnyansky, L.P. Perzev, V.P. Shaporev i dr. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2004. – № 3. – С. 3–12.
2. Soroka B.S. Aparatu pogrurnogo gorennya dlya effektivnogo kontaktnogo nagreva gidkostey. B.S. Soroka, A.S. Lukyanchikov, V.E. Nikolskiy, V.Yu. Nikitin. – М.: VNIIEGazprom, 1989. – 56 p.
3. Haep J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 1 / J. Haep, M. Nani. Gas Warme International. – 2000. – Vol. 49, №4/5. – P. 228–233.

4. Haep J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 1. J.Haep, M. Nani. Gas Warne International. – 2000. – Vol. 49, №11. – P. 577–579.
5. More Efficiency, Less Pollution. Corolla Paek, AFATEK: Promotional material, Marzo – 1999. – 7 p.
6. Haep J. Kompakte Brennwertkessel auch bis 250 KW-Teil 1. J.Haep, M. Nani. Gas Warne International. – 1999. – Vol. 48, №6 – P. 365–369.
7. Pat. №101002 Ukraina, F23D 14/44. Aparat zanurenogo zgoranya. Nikolsky V.Ye., Zadorsky V.M., Sivolob N.B.– zayavl. 12.01.2015; opobl. 25.08.2015, Byl. №16.
8. Pat. #101001 Ukraina, F23D 14/44. Aparat zanurenogo zgoranya dlya vuparuvanya ridunu. Nikolsky V.Ye., Zadorsky V.M., Zygankov G.T., Sivolob N.B. – zayavl. 12.01.2015; opubl. 25.08.2015, Byul. #16.

УДК 697.244; 697.328

Нікольський В.Є., Лободенко А.В.

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СУЦІЛЬНОМЕТАЛЕВОЇ КАМЕРИ ЗГОРАННЯ ДЛЯ АПАРАТІВ ЗАНУРЕНОГО ЗГОРАННЯ

Наведено результати досліджень суцільнометалевої водоохолоджувальної камери згорання для апаратів зануреного згорання з організацією багаторазової інверсії і модуляції коливальних контактуючих фаз. Доведено високу енерготехнологічну ефективність розроблених пристроїв при використанні в системах децентралізованого опалення будівель і споруд, яка обумовлена високим ступенем ефективності теплообміну контактуючих фаз в апараті зануреного горіння.

Nikolsky V.Ye., Lobodenko A.V.

DEVELOPMENT AND STUDY OF FULL METAL COMBUSTION CAMERA FOR IMMERSED COMBUSTION APPARATUSES

The high-effective contact-module system was developed. It was equipped with the immersion combustion apparatuses with multiple phase inversion and oscillation modulating of contacted phases. The system can be used for heat supply of industrial and agricultural buildings, apartment houses without using boilers with heat utilization of combustion products. Contact-module system has stood the government heat-ecological test, which confirmed its high efficiency, ecological compatibility, serviceability. Construction standard specifications for serial production in the different branches of economy were obtained.

Маляренко В.А., Орлова Н.О.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВНЕШНЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЗДАНИЙ

При формировании городской застройки существенное влияние на микроклимат внутри помещений и энергоэффективность оказывают теплофизические характеристики зданий и внешние факторы воздействия окружающей среды.

Условия теплообмена на поверхностях зданий определяются состоянием окружающей среды и процессами движения воздушных потоков вдоль их поверхностей с образованием:

- на наветренной стороне – области заторможенного потока, в которой скорость движения воздуха на отдельных участках близка к нулевой; градиентной скорости, вызванной поворотом воздушного потока при обтекании углов здания;
- на боковой – вихревых отрывных зон;
- за заветренной стороной области аэродинамического следа (рис. 1).

Поэтому при определении условий теплоотдачи на поверхностях зданий городской застройки необходимо учитывать изменение скорости ветра по их высоте, а также в области торможения и отрыва потока.

Целью данной работы является определение влияния изменения скорости ветра при обтекании здания воздушным потоком по высоте, на поверхностях в областях торможения и отрывного течения.

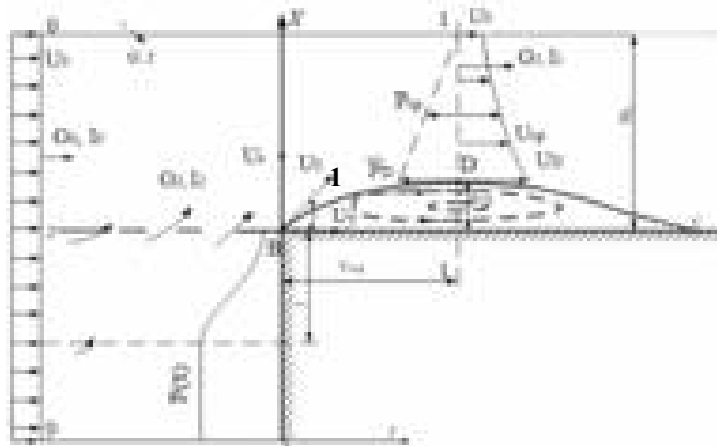


Рисунок 1 – Схема формирования отрыва потока от боковой стенки

Высотные здания находятся в зоне влияния поверхности земли, т.е. в зоне формирования приземного пограничного слоя, в котором скорость изменяется от нулевого значения на поверхности земли до значения движения свободного потока на высоте h , являющейся границей пограничного слоя. Под пограничным слоем (ПС) понимается приземной слой атмосферы, в котором поверхность грунта оказывает тормозящее воздействие на движущуюся массу воздуха. В соответствии с данными [1], высота пограничного слоя в зависимости от рельефа местности изменяется от 300 м до 500 м, что превышает высоту зданий городской застройки.

Если скорость ветра измеряется на открытой местности, то в условиях плотной городской застройки изменение скорости ветра по высоте, в зависимости от типа местности может быть определено по формуле [1]

$$U(h) = U_0 \left(\frac{\delta_{п.с.}}{h_0} \right)^{n_0} \left(\frac{h}{\delta_{п.с.}} \right)^n, \quad (1)$$

где U_0 – скорость ветра на высоте h_0 ; h_0 – высота флюгера метеостанции; n – показатель степени, зависящий от типа местности, для которой рассчитывается скорость $U(h)$; n_0 – показатель степени, зависящий от типа местности, на которой расположен флюгер метеостанции; $\delta_{п.с.}$ – толщина пограничного слоя. Показатель степени n_0 и толщина пограничного слоя $\delta_{п.с.}$ принимаются для местности, на которой зафиксирована скорость ветра U_0 .

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что коэффициент теплоотдачи на наружной стеновой поверхности при натекании воздушного потока зависит от пульсационной составляющей скорости ветра. Область градиентного течения имеет ограниченную протяженность и слабо изменяется при изменении скорости ветра [2].

Учитывая плоский характер течения воздуха в приземном слое (параллельность вектора $U(h)$) рассмотрим турбулентное течение вязкой жидкости в двухмерной постановке.

Ориентируем систему координат следующим образом. Ось x направлена вдоль вектора скорости ветра (перпендикулярно поверхности сооружения). Ось y ориентирована горизонтально земной поверхности (параллельно поверхности сооружения), ось h – вертикально.

Для двухмерного течения (в вертикальной плоскости) вязкой турбулентной жидкости уравнение сохранения импульса имеет вид [3]

$$U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial U}{\partial h} = \nu \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial h^2} - \frac{\partial}{\partial h} (\overline{U' \cdot V'}) \quad (2)$$

уравнение сплошности

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial h} = 0, \quad (3)$$

где U , V – продольная и поперечная составляющие скорости соответственно; U' , V' – продольная и поперечная пульсационные составляющие скорости соответственно.

После подстановки выражения (2) в (3) и преобразования получим

$$\nu \frac{\partial^2 U}{\partial h^2} + (U - V) \cdot \frac{\partial U}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial h} (\overline{U' \cdot V'}). \quad (4)$$

Тогда, учитывая, что $V=0$ и $\mu=\rho \cdot \nu$, уравнение (4) примет следующий вид

$$\nu \frac{\partial^2 U}{\partial h^2} - U \cdot \frac{\partial U}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial h} (\overline{U' \cdot V'}) \quad (4)$$

По определению $(\overline{U' \cdot V'}) = \frac{\tau_T}{\rho}$, $V=0$ (согласно основных положений механики атмосферы $V \ll U$ при наличии даже небольшого ветра) $V \cdot \frac{\partial U}{\partial h}$ можно пренебречь. В этом случае, учитывая, что $\mu = \rho \cdot \nu = \text{const}$ уравнение (4) может быть записано в виде линейного дифференциального уравнения с постоянным коэффициентом

$$\mu \frac{d^2 U}{dh^2} + \rho \cdot U \cdot \frac{dU}{dh} = \frac{\partial \tau_T}{\partial h} \quad (5)$$

Для принятого в работе степенного закона изменения профиля скорости по высоте (1) при $n_0 = n$, производные равны

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dh} &= U_0 \cdot \frac{n}{h_0} \cdot h^{n-1}; \\ \frac{d^2 U}{dh^2} &= U_0 \cdot \frac{n(n-1)}{h_0^2} \cdot h^{n-2}. \end{aligned}$$

Подставив их в уравнение (5), получим дифференциальное уравнение, описывающее изменение турбулентных касательных напряжений по высоте воздушного потока

$$\mu \cdot \frac{U_0}{h_0^n} \cdot n \cdot (n-1) \cdot h^{n-2} + \rho \frac{U_0^2}{h_0^{2n}} \cdot n \cdot h^{n-1} = \frac{d\tau_T}{dh};$$

Обозначив $A = \mu \cdot n \cdot (n-1) \cdot \frac{U_0}{h_0^n}$, $B = \rho \frac{U_0^2}{h_0^{2n}} \cdot n$, получим уравнение

$$d\tau_T = A \cdot h^{n-2} dh + B \cdot h^{n-1} dh$$

или после интегрирования от $h=0$ до h имеем

$$\tau_T = A \cdot \frac{h^{n-1}}{n-1} + B \frac{h^n}{n} \quad (6)$$

Механика турбулентности приземного слоя [3] трактует формирующуюся турбулентность в приземном слое как практически изотропную, т.е. такую, при которой $U' = V'$. В этом случае τ_T можно представить как

$$\tau_T = \rho \cdot (U')^2$$

Используя выражение (6) получим

$$\rho \cdot (U')^2 = A \cdot \frac{h^{n-1}}{n-1} + B \cdot \frac{h^n}{n}. \quad (7)$$

Выполнив простые преобразования, продольную пульсационную составляющую скорости ветра с учетом $\mu = v \cdot \rho$ можно представить в следующем виде

$$U' = \sqrt{v \cdot n \cdot (n-1) \frac{U_0}{h_0^n} \cdot h^{n-1} + \frac{U_0^2}{h_0^{2n}} \cdot h^n}. \quad (8)$$

Значение показателя n для малоэтажной застройки равно 0,33, для внутригородской застройки $n = 0,25$ [1]. В этом случае для $n = 0,33$, $v = 13,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ данное выражение (8) можно записать как

$$U' = 0,3 \cdot U_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^n. \quad (8)$$

Таким образом, значение пульсационной составляющей скорости является функцией изменения скорости в приземном слое и может быть получено аналитическим путем при условии двухмерности потока.

Схема формирования области отрыва воздушного потока на боковой стенке здания приведена на рис. 1. Для определения условий теплообмена на поверхности в области отрыва потока ВС и за ней необходимо вычислить ее высоту $h_{\text{отр}}$, а также положение $Y_{\text{отр}}$ на поверхности ВС при натекании ветрового потока на поверхность АВ под углом $\varphi = 90^\circ$. При этом приняты следующие допущения:

- воздушный поток, натекающий на здание, квазипотенциальный;
- область понижения давления $\bar{P}(\bar{x})$ на поверхности АВ имеет ограниченный размер, вне этого участка значение $\bar{P}(\bar{x}) = \text{const}$;

- на некотором удалении от боковых стен здания (выше линии BDC, разделяющей воздушный поток и область отрыва, далее граничной линии) поток рассматривается как невозмущенный, струйки потока имеют скорость U_0 и движутся прямолинейно, являясь частью основного потока натекающего на здание.

Для определения высоты области отрыва $h_{\text{отр}}$ используется закон сохранения импульса. В зоне, примыкающей к углу здания, создаваемого стенами АВ и ВС (рис. 1), сечениями 0-0 выделяется область невозмущенного воздушного потока, в котором он имеет скорость $U_0 = \text{const}$, 1-1, через сечение 2-В, в выделенную область притекает поток, развернувшийся у наветренной стороны АВ, и 0-1, в котором протекает струйка невозмущенного потока со скоростью U_0 .

Через каждое из выделенных сечений протекает расход G_i , несущий импульс I_i :

- в сечении 0-2 – G_0 и I_0 ;
- в сечении 1-1 – G_1 и I_1 ;
- в сечении 2-В – G_2 и I_2 ;

- в сечении 0-1 – G' и I' .

Принято, что толщина рассматриваемого слоя воздушного потока равна 1 метру. Закон сохранения импульсов для выделенной области 0-1-1-B-2-0 может быть представлен в виде

$$I_0 + I' + I_2 - I_1 = P_{cp1} \cdot F_1, \quad (9)$$

где P_{cp1} – среднее давление в сечении 1-1; F_1 – площадь сечения 1-1.

Расход воздуха для выбранных сечений длиной l_i и при значении проходной площади $F_i = l_i \cdot 1 \text{ м}^2$ составит

$$G_0 = \rho \cdot U_0 \cdot H_0$$

Так как скорость U' перпендикулярна вектору U_0 $G' = 0$, тогда $U' = 0$. Следовательно

$$\begin{aligned} G_1 &= \rho \cdot U_{cp1} \cdot (H_0 - h_{отр}) \\ G_2 &= \rho \cdot U_{cp2} \cdot l_{(2-B)} \end{aligned}$$

Для квазипотенциального потока модуль вектора скорости в точке В (толщиной пограничного слоя пренебрегаем) равен U_0 . Проекция скорости U_y в точке В (сечение (2-В)) может быть представлена как

$$\bar{U}_y = \frac{U_y}{U_0} = \sqrt{\bar{P}(x_0)}.$$

В этом случае угол отклонения вектора скорости от плоскости ВС в точке В определится как

$$\theta = \arccos \frac{U_y}{U_0} = \arccos \bar{U}_y.$$

Согласно [4, 5] составляющая $\bar{U}_x$ (сечение 0-2) вектора скорости равна $\bar{U}_x = \bar{U}_0 \cdot \sin \theta_B$ при $\bar{U}_0 = 1,0$.

Составляющая $\bar{U}_x$ для области влияния здания на ветровой поток (в сечении 2-В) изменяется от $\bar{U}_x = 0$ при невозмущенном потоке до $\bar{U}_{xB}$. Вблизи угловой точки В значение $\bar{U}_{xB} = \sin \theta_B$.

Учитывая, что импульс потока $I = G \cdot U$, согласно закону сохранения массы в виде $U_{cp2} \cdot l_{B-2} = U_0 \cdot l$ уравнение (1) может быть преобразовано к виду

$$H_0 + \bar{U}_{cp2} \cdot l - \bar{U}_{cp1}^2 (H_0 - \delta) = \frac{1}{2} \cdot \bar{P}_{cp1} \cdot (H_0 - h_{отр}), \quad (10)$$

где

$$\frac{U_{cp1}}{U_0} = \bar{U}_{cp1}, \quad \frac{U_{cp2}}{U_0} = \bar{U}_{cp2}, \quad \frac{P_{cp1}}{\frac{\rho \cdot U_0^2}{2}} = \bar{P}_{cp1}.$$

Значение высоты области отрыва $h_{отр}$ после решения уравнения (10) имеет вид

$$h_{отр} = H_0 \cdot \left[1 + \frac{\bar{U}_{cp2} \cdot \frac{1}{H_0}}{\bar{U}_{cp1} + \frac{1}{2} \cdot \bar{P}_{cp1}} \right]. \quad (11)$$

Для определения значения $h_{отр}$ необходимо задать величины $\bar{U}_{cp1}$, $\bar{U}_{cp2}$, $\bar{P}_{cp1}$, H_0 и отношение $\frac{l}{H_0}$, где l – длина области градиентного течения (отсчитывается от угла здания).

На основе измерения воздушного потока при обтекании стен и измерения скорости потока анемометром отношение $\frac{l}{H_0}$ может быть принято равным $\frac{l}{H_0} \approx 0,5$, а размер $l \approx 4,5 \dots 5,0$ м.

Проекция U_x вектора скорости воздушного потока, протекающего через сечение 2-В, изменяется от нулевого значения в невозмущенном потоке до $\bar{U}_{x_B} = \sin \theta_B$ вблизи угла. Приняв линейный характер изменения $\bar{U}(x)$ вдоль линий l_2 -В, среднее значение относительной скорости $\bar{U}_{cp2}$ примет вид

$$\bar{U}_{cp2} = \bar{U}(x)_{cp} = 0,5 \cdot \sin \theta_B.$$

Для определения $\bar{U}_{cp1}$ и $\bar{P}_{cp}$ в сечении 1-1, проходящем через область отрыва, целесообразно использовать законы сохранения массы и сохранения энергии.

Поскольку внутри области отрыва циркулирующая масса практически постоянна, линию тока BDC можно рассматривать как линию нулевого расхода. Тогда учитывая закон сохранения массы как $G_0 = G_1$, величину скорости $\bar{U}_{cp1}$ после преобразования можно представить как

$$\bar{U}_{cp1} = \frac{H_0 + 1}{H_0 - h_{отр}}.$$

Анализ течения воздуха в сечении 1-1 над областью отрыва и внутри ее позволяет принять следующее допущение:

- в сечении 1-1 (рис. 1) поток достигает наибольшего удаления от стены, равного $h_{отр}$; при этом вектор скорости будет параллелен поверхности стены. Так как внутри области отрыва BCDB движение среды поддерживается за счет турбулентного трения,

то его скорость невелика, а давление по высоте $h_{отр}$ в сечении D-1 можно принять постоянным;

- изменение давления в сечении 1-1 происходит в области активного потока, начиная от точки D до внешней границы 1-1; давление P в точке 1 на поверхности ВС практически равно давлению P_D . Избыточное давление P_{1-1} изменяется в активном потоке от давления P_D в точке D до нулевого на внешней границе;

- давление $\bar{P}_{1-1}$ в сечении 1-1 согласно [4, 5] равняется динамическому напору ветрового потока. Приняв линейный закон изменения избыточного давления $\bar{P}(x)$ на участке $(H_0 - h_{отр})$ среднее значение давления будет равно

$$\bar{P}_{ср1} = 0,5 \cdot \bar{P}_D.$$

Используя принятые соотношения и законы сохранения энергии, импульса и массы, преобразуем (3) к виду

$$\frac{h_{отр}}{H_0} = 1 \cdot \frac{1 + 0,5 \cdot \sin(\theta_B \cdot 0,5)}{\left(\frac{H_0 + 1}{H_0 - h_{отр}} \right) + 0,25 \cdot \bar{P}_D}. \quad (12)$$

Для угловой точки направление В вектора потока составляет $\theta_B = 45^\circ$ и давление $\bar{P}_D = -1,0$. При заданных значениях $\frac{1}{H_0}$ решение уравнения (5) позволяет получить величину $\frac{h_{отр}}{H_0} = 0,434$. Это значит, что при значении $l = 4,5$ м величина $H_0 = 9$ м и $h_{отр} = 3,91$ м. Скорость потока на границе области отрыва в точке D по условию сохранения энергии для струйки при значении давления в точке В, равном барометрическому, и $\bar{P}_D = -1,0$ определяется как

$$\bar{U}_{отр}^D = \frac{U_{отр}^D}{U_0} = 1,41. \quad (13)$$

Найденные значения U' , $h_{отр}$ и $\bar{U}_{отр}$ при известном значении скорости ветра U_0 позволяют определить локальные значения коэффициента теплообмена в области торможения и отрыва.

Предложенный на основе исследования структуры воздушного потока, обтекающего здание методический подход, позволяет в зависимости от параметров потока (скорости, угла натекания, теплофизических характеристик) проводить оценку теплового состояния ограждающих конструкций здания.

Литература

1. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э.И. Реттер. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с.

2. Орлова Н.А. Влияние внешних возмущений на тепловые режимы зданий: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Н.А. Орлова. – Харьков: ИП Маш им. А.Н. Подгорного. НАН Украины, 2008. – 20 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
4. Eaton J.K. A Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment / J.K. Eaton, J.P. Johnston // AIAA Journal. – 1981. – Vol. 19, No. 9. – PP. 1093–1100.
5. Terekhov V.I. Heat transfer in turbulent separated flows in the presence of high free-stream turbulence / V.I. Terekhov, N.I. Yarygina, R.F. Zhdanov // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2003. – Vol. 46, No. 23. – PP. 4535–4551.

Bibliography (transliterated)

1. Retter E.I. Arhitekturno-stroitel'naya aerodinamika. E.I. Retter. – M.: Stroyizdat, 1984. – 294 p.
2. Orlova N.A. Vliyanie vneshnih vozmuscheniy na teplovyie rezhimy zdaniy: avtoreferat disertatsiyi na zdobuttya naukovoogo stupenya kandidata tehnicnih nauk. N.A. Orlova. – Harkov: IP Mash im. A.N. Podgornogo. NAN Ukrainyi, 2008. – 20 p.
3. Shlihting G. Teoriya pogranichnogo sloya. G. Shlihting. – M.: Nauka, 1974. – 712 p.
4. Eaton J.K. A Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment. J.K. Eaton, J.P. Johnston. AIAA Journal. – 1981. – Vol. 19, No. 9. – PP. 1093–1100.
5. Terekhov V.I. Heat transfer in turbulent separated flows in the presence of high free-stream turbulence. V.I. Terekhov, N.I. Yarygina, R.F. Zhdanov. Int. J. Heat Mass Transfer. – 2003. – Vol. 46, No. 23. – PP. 4535–4551.

УДК 536.24: 697.1

Маляренко В.А., Орлова Н.О.

ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ ЯК ВИЗНАЧАЛЬНИЙ ФАКТОР ФОРМУВАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ТЕПЛООБМІНУ НА ПОВЕРХНЯХ БУДИНКІВ

Розглянуто вплив зовнішнього повітряного потоку на граничні умови теплообміну. Визначаються характеристики в області гальмування і відриву повітряного потоку. На основі досліджень повітряного потоку в областях гальмування і відриву розглянуті основні чинники при визначенні теплопереносу на поверхні будівель.

Malyarenko V.A., Orlova N.A.

INTENSITY OF THE EXTERNAL AIR STREAM AS A DETERMINING FACTOR IN THE FORMATION OF THE HEAT EXCHANGE BOUNDARY CONDITIONS ON SURFACE BUILDINGS

The influence of the external air stream on the heat transfer boundary conditions. Identify the characteristics of braking and the separation of air flow. Based on research in the areas of air flow separation and braking are considered key factors in determining the heat transfer on the surface buildings.

УДК 623.433.4

Оксенич Н.В., Долженко И.Ю., Царев И.В., Мельник С.А., Лебедев В.А., Волох М.Т.

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ ЛЕГКОЙ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Введение

Непрерывная эволюция бронетанковой техники (БТТ) в общем, и систем вооружения в частности, постепенно привели к выделению отдельного класса комплексов – боевых модулей (БМ) [1,2].

Синтезируя различные способы совершенствования комплекса вооружения можно выделить основные направления:

1. Комплексование (интеграция) средств поражения в едином блоке, что позволяет расширить номенклатуру поражаемых целей;

По этому направлению можно выделить следующие варианты исполнения боевых модулей:

- Пулеметно-пушечные системы. В состав, как правило, входит пулеметное либо пушечное вооружение калибра 7,62...12,7 мм и 20...30 мм соответственно. Получают распространение преимущественно в виде обитаемых (не дистанционно управляемых) установок. Этот факт у последних объясняется повышенным показателем критерия «эффективность-стоимость».

- ПТУР-системы. В качестве основного вооружения используются управляемые ракетные комплексы с числом пусковых направляющих от 1 до 4. В качестве вспомогательного вооружения – пулеметное калибра 7,62...12,7 мм.

- Многокомпонентные. Основное вооружение таких модулей – автоматическая пушка калибра 20...30 мм, вспомогательное – пулеметно-гранатометное вооружение, опционально – комплекс ПТРК, система постановки дымовых завес.

2. Дистанционное управление комплексом;

- Дистанционность управления модулем исключает нахождение оператора модуля в зоне действия подвижных частей.

- Дистанционное управление делает возможным управление модулем из нескольких точек (например, командир, оператор-стрелок) с соответствующим приоритетом выбора пульта управления с места командира.

3. Вынесение боекомплекта и систем комплекса за бронированный объем;

Полное (без доступа к механизмам и боекомплекту модуля из обитаемого отсека) либо частичное (с доступом к механизмам и боекомплекту модуля из обитаемого отсека) разделение десантного отделения и боевого модуля характеризуется следующими факторами:

- Повышение защищенности экипажа и десанта в случае воздействия по боекомплекту;

- Значительное уменьшение (в случае частичного разнесения), либо полное исключение (в случае полного разнесения) загазованности обитаемого объема пороховыми газами, образующимися в результате применения оружия;

- Увеличение объема обитаемого отсека;

4. Наличие совершенного комплекса управления огнем.

Среди прочих, можно выделить наиболее характерные требования, предъявляемые к современным системам управления огнем дистанционно управляемых боевых модулей следующие:

- Стабилизированное наведение в двух плоскостях;
- Возможность обнаружения, опознавания, наведения и поражения с высокой вероятностью цели в любое время суток и при любой погоде;
- Наличие автономного панорамного прибора наблюдения с возможностью кругового обзора.

С течением времени стремление создателей техники к обеспечению повышения функционального совершенства, а также разработка и внедрение инновационной элементной базы систем нашли свое отражение в проектировании модульных конструкций, что отчетливо проявляется в автономизации систем вооружения бронетанковой техники от систем-носителей. Это, в конечном итоге, привело к появлению нового класса БМ – дистанционно управляемых боевых модулей (ДУБМ) [3].

1. Предпосылки альтернативного использования боевых модулей легкой БТТ

Текущая обстановка, а также характер последних боевых столкновений на Донбассе в 2014–2015 годах обнажил, среди прочего, тактику размещения на ключевых направлениях стационарных обустроенных охранных и оборонительных сооружений (блокпостов). Такая тактика в текущем конфликте без применения боевой авиации оправдана и обусловлена, что характерно для обеих воюющих сторон. Всего, в 10-километровой зоне вдоль линии разграничения общей протяженностью ≈ 350 км обеими сторонами конфликта было установлено не менее 120 блокпостов. Именно поэтому некоторые аналитики и военные обозреватели уже окрестили этот конфликт «войной блокпостов».

Обновленная тактика боевых действий требует соответствующего материально-технического обеспечения военизированных частей и соединений, что также напрямую касается систем наблюдения и ведения огня.

Разработанный ГП «ХКБМ» БМ-7 «Парус» во многом отвечает вышеперечисленным требованиям к перспективным системам вооружения.

2. Структура и функционал БМ-7 «Парус»

БМ-7 «Парус» (рис. 1) является последней разработкой ГП «ХКБМ» в части систем вооружения для легкой БТТ. Поэтому в нем применены компоновочные решения, направленные на повышение уровня автономности и модульности, а именно:

- комплекс управляемого вооружения «Барьер» 1 с двумя противотанковыми управляемыми ракетами (ПТУР) в транспортно-пусковых контейнерах (ТПК);
- полностью вынесенный боекомплект основного и вспомогательного вооружения 2;
- система постановки дымовой завесы 3 с шестью пусковыми установками обеспечивающая маскировку;
- блок вооружения 4, с установленной пушкой, пулеметом и гранатометом;
- система управления огнем (СУО) 5, обеспечивающая поиск целей, наведение и применение вооружения;
- бронебашня 6, обеспечивающая защиту от пуль стрелкового оружия и осколков.

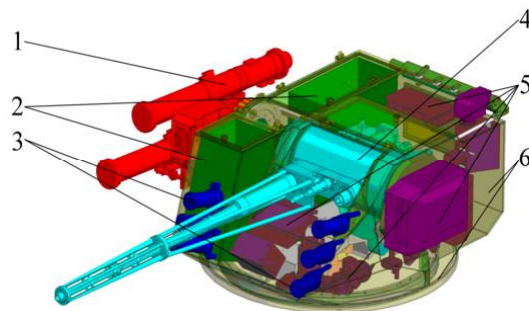


Рисунок 1—Боевой модуль БМ–7 «Парус»

Общие технические характеристики ДУБМ БМ–7 «Парус» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие технические характеристики ДУБМ БМ–7 «Парус»

Масса, кг	1650
Габаритные размеры, мм	
– длина	3596
– ширина	1780
– высота (от привалочной плоскости)	967
Пушка	
Марка	ЗТМ1 (2А72) либо ЗТМ2 (2А42)
Калибр, мм	30
Количество патронов в БМ, шт.:	
- патроны с БТ и БТЗ снарядами	117
- патроны с ОФЗ и ОТ снарядами	183
Гранатомет	
Марка	КБА-117 (АГ-17)
Калибр, мм	30
Пулемет	
Марка	КТ-7,62 (ПКТ)
Калибр, мм	7,62
Противотанковый ракетный комплекс	
Марка	212 «Барьер»
Количество пусковых установок, шт	2
Дальность поражения цели, м	от 100 до 5000
СУО	
Марка	«Аркан»

Как видно, состав вооружения обеспечивает обнаружение и поражение широкой номенклатуры поражаемых целей днем и ночью, в любых погодных условиях.

3. Требования к БМ-7 «Парус» при адаптации для использования вне объектов БТТ

Как уже было отмечено, БМ-7 «Парус» обладает достаточной степенью автономности узлов и систем, что в совокупности с достаточно мощным вооружением и эффективной СУО делает его перспективной системой для альтернативного примене-

ния (при соответствующей доработке).

Концептуально, к уже существующей схеме БМ-7 «Парус» необходимо адаптировать аппаратуру, подключаемую до вращающегося контактного устройства и размещаемую в подставке под БМ либо в пульте оператора.

На рис. 2 приведена структурная схема БМ-7 «Парус» адаптированного под установку на стационарную точку либо плавучий носитель.

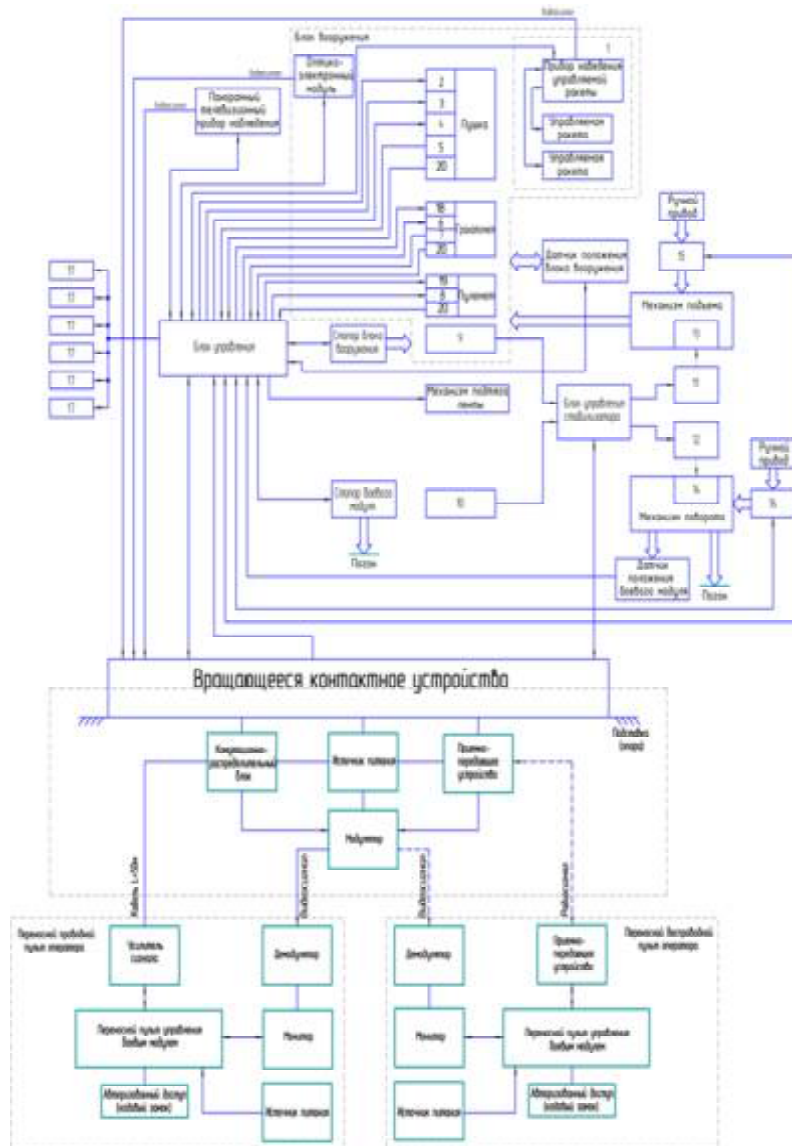


Рисунок 2 – Структурная схема автономного дистанционно-управляемого боевого модуля
 1 – противотанковый ракетный комплекс; 2 – механизм перезарядки; 3 – механизм переключения подачи; 4 – электроспуск пушки; 5 – счетчик остатка патронов пушки; 6 – электроспуск гранатомета; 7 – счетчик остатка патронов гранатомета; 8 – электроспуск пулемета; 9 – гироскоп вертикального наведения; 10 – гироскоп горизонтального наведения; 11 – усилитель мощности вертикального наведения; 12 – усилитель мощности горизонтального наведения; 13 – исполнительный двигатель вертикального наведения; 14 – исполнительный двигатель горизонтального наведения; 15 – электромагнит отключения ручного привода механизма подъема; 16 – электромагнит отключения ручного привода механизма поворота; 17 – пусковая установка системы постановки завесы; 18 – механизм взведения гранатомета; 19 – механизм взведения пулемета; 20 – датчик конечных положений подвижных частей

В зависимости от задач, стоящих перед эксплуатирующими подразделениями, возможно исполнение комплекса в двух вариантах: 1) проводном; 2) беспроводном. В обоих случаях должен быть использован переносной пульт управления БМ с авторизованным доступом (идентификатор или кодовый замок) к нему. Пульты могут отличаться по способу передачи управляющих команд по кабелю или через приемно-передающее устройство. При этом возможно как отдельное, так и совместное их использование.

БМ должен иметь источник питания, а переносной пульт управления либо подключен к бортовой сети системы (в проводном варианте), либо иметь аккумуляторную батарею (в беспроводном варианте).

4. Варианты альтернативного применения БМ-7 «Парус»

Для размещения на блокпостах возможно применение предлагаемого комплекса в варианте с проводным пультом управления (рис. 3) либо беспроводным (рис. 4).

На рис. 3 представлен вариант установки БМ-7 «Парус» 1 на подставке 2. Подставка 2 служит для размещения и защиты всего оборудования комплекса кроме выносного пульта, обеспечения высоты прицельной линии, а также обеспечения работы обслуживающего персонала во время заряжания, обслуживания до и после стрельбы и устранения задержек. Модулятор 3 и коммутационно-распределительный блок 4 обеспечивают формирование и прием-передачу сигнальных токов на пульт управления. Источник питания 5 обеспечивает работоспособность всего комплекса либо посредством непосредственной выработки электроэнергии генератором, либо посредством преобразования электроэнергии (при работе от бытовой стационарной электросети переменного тока 220 В либо 380 В).

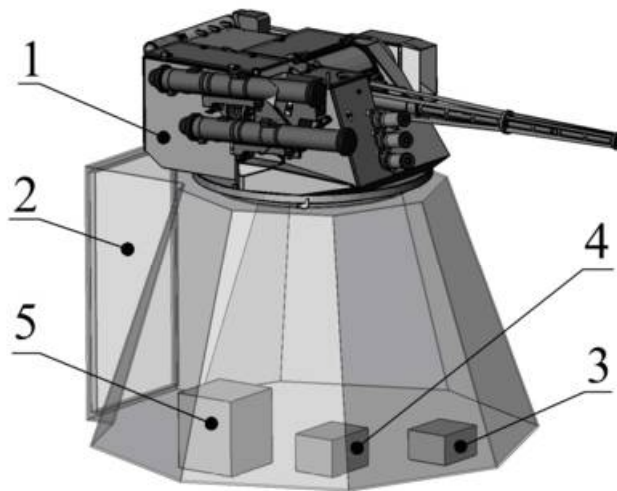


Рисунок 3 – Схема расположения блоков и узлов управления ДУБМ по кабелю

Беспроводная схема, представленная на рис. 4, в целом, аналогична схеме с проводным пультом за исключением приемо-передающего радиомодуля 4, обеспечивающего формирование и прием по защищенному каналу команд управления с пульта, а также передачу видеосигнала.

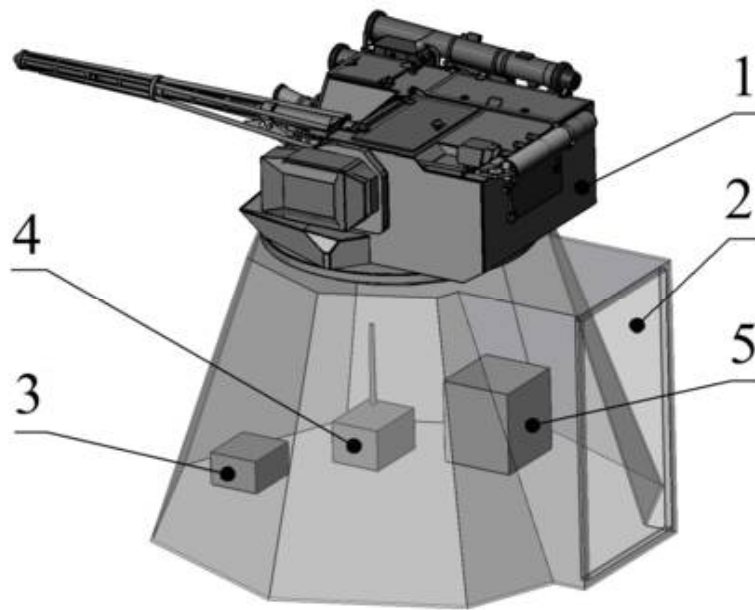


Рисунок 4 – Схема расположения блоков и узлов управления автономным ДУБМ по защищенному радиосигналу

Выводы

1. Использование ДУБМ на стационарно оборудованных точках позволит оператору находиться на безопасной дистанции либо в укрытии.
2. Возможность применения как одиночных ДУБМ, так и нескольких соединенных в один комплекс на ДОТе либо блокпосту позволит как контролировать определенную территорию, так и в значительной мере обезопасить охраняемый объект от внезапного нападения.
3. Наличие панорамного прицела кругового обзора значительно повышает оперативные возможности комплекса.
4. Предложенная схема в значительной степени унифицирована с уже освоенным в производстве БМ-7 «Парус», что положительно скажется на сроках разработки и внедрения комплекса.

Литература

1. Оксенич Н.В. Способы повышения функционального совершенства легкой БТТ и их реализация в комплексах вооружения / Оксенич Н.В., Долженко И.Ю., Мельник С.А. и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – №3, 2013. – С. 60–68.
2. Оксенич Н.В. Модульный принцип проектирования комплексов вооружений легкой бронированной техники. Оксенич Н.В., Долженко И.Ю., Комар Ю.Е. и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – №3, 2014, – С. 70–74.
3. Федосеев С.Л. Боевые машины пехоты: Иллюстрированный справочник. / С.Л. Федосеев. // Москва, ООО «Издательство Астрель», ООО «Издательство АСТ», 2001. – 352 с.: ил. – (Военная техника).
4. Современная бронетанковая техника: справочное пособие / Авт.-сост. Н.И. Рябинкин. – Минск, Элайда, 1998. – 224с.: ил. – (В мире техники).

5. Электронные ресурсы, режим доступа: www.militaryparitet.com, www.BTVT.narod.ru, www.ex.ua, www.army-news.ru. (Армейский вестник, 2010).

Bibliography (transliterated)

1. Oksenich N.V. Sposobyi povysheniya funktsionalnogo sovershenstva legkoy BTT i ih realizatsiya v kompleksah vooruzheniya. Oksenich N.V., Dolzhenko I.Yu., Melnik S.A. i dr. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – #3, 2013. – P. 60–68.

2. Oksenich N.V. Modulnyiy printsip proektirovaniya kompleksov vooruzheniy legkoy bronirovannoy tekhniki. Oksenich N.V., Dolzhenko I.Yu., Komar Yu.E. i dr. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – #3, 2014. – P. 70–74.

3. Fedoseev S.L. Boevyye mashinyi pehotyi: Ilyustrirovannyyi spravochnik. S.L. Fedoseev. Moskva, OOO «Izdatelstvo Astrel», OOO «Izdatelstvo AST», 2001. – 352 p.: il. – (Voennaya tekhnika).

4. Sovremennaya bronetankovaya tekhnika: spravochnoe posobie. Avt.-sost. N.I. Ryabinkin. – Minsk, Elayda, 1998. – 224 p.: il. – (V mire tekhniki).

5. Elektronnyie resursyi, rezhim dostupa: www.militaryparitet.com, www.BTVT.narod.ru, www.ex.ua, www.army-news.ru. (Armeyskiy vestnik, 2010).

УДК 623.433.4

Оксенич М.В., Долженко І.Ю., Царєв І.В., Мельник С.О., Лебедєв В.А., Волох М.Т.

**АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ОЗБРОЄННЯ ЛЕГКОЇ
БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ**

Розглянуто питання альтернативного застосування БМ-7 «Парус» в якості оди-
ночного ДУБМ та декількох з'єднаних модулів в один комплекс. Запропонована схема
дистанційного керування ДУБМ БМ-7 «Парус».

Oksenich N.V., Dolzhenko I.Y., Tsaryev I.V., Melnyk S.A., Lebediev V.A., Volokh M.T.

ALTERNATIVE USAGE OF THE LIGHT ARMOR VEHICLE WEAPON SYSTEMS.

The question of alternative usage of BM-7 "Parus" as a single DUBM and in several
modules connected in one complex was reviewed. The scheme of DUBM BM-7 "Parus" re-
mote control was proposed.

Щепцов А.В.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТОРПЕДНОГО ОРУЖИЯ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ЕГО ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Переориентация ведения боевых действий на море с глубоководных океанских районов на прибрежные мелководные, со сложными гидрологическими условиями, заставило пересмотреть применение подводных лодок (ПЛ), где приоритеты отдаются современным малозумным ПЛ с неатомными энергоустановками (ЭУ), вооруженными ракетами средней дальности. ПЛ этого типа являются достаточно эффективным средством для решения определенных им задач и имеют ряд преимуществ перед атомными подводными лодками (ПЛА), особенно при действиях в прибрежных и мелководных районах моря. К числу таких преимуществ относятся низкий уровень шумности, высокая маневренность на малых скоростях хода и соизмеримая с ПЛА ударная мощь. Кроме того, включение в состав военно-морских сил (ВМС) неатомных ПЛ во многом обусловлено невысокой стоимостью их создания и эксплуатации [1, 6].

Все это в значительной степени изменяет требования, предъявляемые к торпедному оружию (ТО). Современные торпеды должны обладать значительными дальностями и скоростями хода, погружаться на большие глубины, иметь лучшие, чем подводные лодки, маневренные качества в пространстве. Важный параметр также – вероятность обнаружения, который определяется скоростью торпеды, следностью и возможностями аппаратуры корабля-цели. Так же не стоит забывать и о совершенствовании противоторпедной обороны корабля.

Исходя из этого в ВМС развитых стран мира торпеду перестали рассматривать, как самодвижущийся управляемый (самоуправляющийся) подводный снаряд, снабженный зарядом взрывчатого вещества (ВВ), а, прежде всего, рассматривают, как высокоточный комплекс для скрытого поражения целей с больших дистанций, другими словами ТО перестало быть «карманным пистолетом» корабля, а превратилось в «снайперскую винтовку».

В связи с этим основными разработчиками ТО (США, Великобритания, Германия, Франция, Италия, Россия) проводится огромный спектр работ направленный на поиск разработку новых и модернизацию имеющихся образцов торпед.

В подтверждение сказанному немецкая компания «Atlas Elektronik» закончила разработку универсальной крупногабаритной (533-мм) торпеды DM2A4 «Seehecht». На ней установлена электрическая энергосиловая установка (ЭСУ) с серебряно-цинковой аккумуляторной батареей (АБ) и синхронным электродвигателем на постоянных магнитах, работающим на соосные гребные винты противоположного вращения. В зависимости от необходимости обеспечения требуемых дальности стрельбы (50, 40, 28 и 17,5 км – в соответствии с количеством АБ) и малогабаритных характеристик в энергетическом отсеке торпеды может размещаться от четырех до одной АБ, что обуславливает изменение ее длины [10].

Для повышения точности наведения при стрельбе на дистанции свыше 28 км, обеспечения обмена данными между носителем и торпедой, а также для целеуказания на конечном участке для модификации с максимальной комплектацией АБ, используется телеуправление по оптоволоконному кабелю, а также аппаратура передачи, прие-



Рисунок 1 – Модульная компоновка торпеды DM2A4 «Сихейк»

ма и преобразования информации, которые образуют единый замкнутый контур управления «торпеда-оператор-торпеда».

Торпеда имеет модульную конструкцию (рис. 1) и состоит из четырех модулей. В ней широко используется оптоволоконный кабель и цифровая аппаратная архитектура. Скорость хода торпеды 50 узлов (92,6 км/ч). Все системы замкнутого цикла и незави-

симы от воздействия окружающей среды. БЗО торпеды несет в себе 260 килограмм взрывчатого вещества, эквивалентного 460 килограмм тротила. Для подрыва используются контактные взрыватели. Более точные характеристики «Seahake» mod.4 ER на сегодняшний день засекречены [10].

Так же компания «Atlas Elektronik» анонсировала, что во время полигонных испытаний, экспортный вариант торпеды DM2A4 «Seehecht» – «Seahake» mod.4 ER показал наилучшие результаты по дальности хода, которая составила более 140 км [10]. Таким образом по своим боевым возможностям торпеда «входит» в категорию ПКР «Гарпун», а по дальности поражения превосходит ПКР «Ехосет». Рекордная дальность «Seahake» mod.4 ER стала достижима благодаря широкому применению инновационных технологий. В первую очередь ЭСУ, а также использование АБ нового поколения. Можно предположить, что для достижения подобных характеристик хода торпеды ей добавили еще несколько секций АБ, что в свою очередь привело к увеличению ее длины. Вероятно, торпеда будет предназначена для пуска с береговых торпедных аппаратов (ТА), так как изменить их длину намного легче, чем ТА ПЛ и НК. Это дает возможность предположить, что данная модификация торпеды создавалась специально для определенного заказчика, который планирует усилить, таким образом, свою береговую оборону [10].

В США реализуется ряд программ, направленных на модернизацию существующих торпед Mk46 мод. 5A и Mk48 мод. 5, создание малогабаритной противолодочной торпеды Mk54, а также на разработку систем противоторпедной защиты для НК и ПЛ [2].

Американская фирма «Хьюз» ведет работы по модернизации противолодочной торпеды Mk46 мод. 5A(S), в результате чего появится модификация 5A(SW). Торпеда новой модификации оборудована двухрежимной твердотопливной ЭСУ, что позволило увеличить дальность ее хода при движении только на малом ходу (в режиме поиска цели) почти на 50 %. При этом в результате даже однократного обнаружения цели главная машина переходит на режим максимального хода – скорость составляет около 45 уз.

По оценке американских специалистов, по своим ТТХ новая торпеда Mk46 мод. 5A(SW) будет соответствовать предъявляемым командованием ВМС США требованиям как минимум до 2017 года.

Продолжаются работы по совершенствованию крупногабаритной универсальной торпеды Mk48 ADCAP мод. 5 с целью обеспечения высокой боевой эффективности ее применения против двухкорпусных подводных лодок в любых районах, и, прежде всего, в прибрежных с глубинами менее 180 м.



Рисунок 2 – Кормовая часть торпеды Mk48 мод.7

Одним из основных направлений модернизации торпед Mk48 мод.6 и Mk48 мод.7 есть оснащение ее усовершенствованными ЭСУ [5].

Работы в этом направлении проводятся в целях значительного снижения уровня собственных шумов. В ходе которых на торпедо устанавливается новый малошумный водометный движитель (Рисунок 2), применяются высокоэффективные звукоизолирующие покрытия стенок отсеков, главной машины, гребного вала. Это, по мнению западных специалистов, позволит повысить скрытность применения ТО, снизить уровень собственных шумов и уменьшить влияние непреднамеренных помех на работу АССН.

В тоже время перечисленные технические средства требуют дополнительных затрат энергии на осуществление своей работы. Пря-

мое повышение мощности ЭУ приведет к увеличению ее размеров и массы. В этой связи с целью сохранения имеющегося уровня мощности в имеющихся габаритах торпеды ведутся работы по выявлению ее резервов.

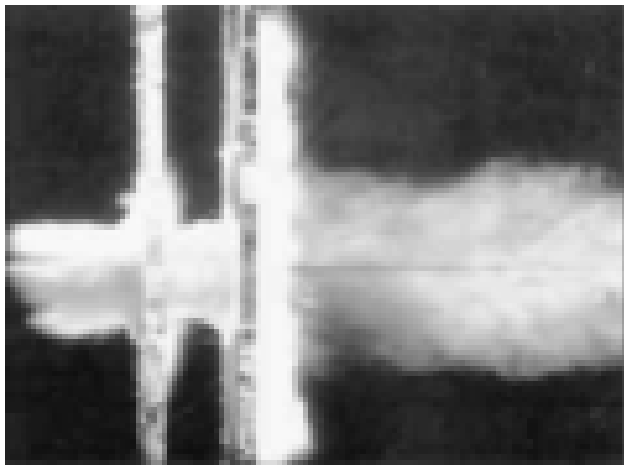


Рисунок 3 – Направленное воздействие кумулятивного заряда торпеды на двухслойную подводную преграду

Одним из путей решения этой задачи есть снижение гидравлического сопротивления трения при турбулентном режиме обтекания тела под водой, что предполагается достичь воздействием на турбулентный пограничный слой путем изменения физических констант жидкости в пристеночной области, а также с помощью специальных упругих покрытий. Благодаря применению последних намечено добиться сглаживания пульсаций скорости и давления обтекающей жидкости в пограничном слое, увеличить его устойчивость [5].

Английская фирма «Маркони» ведет работы по созданию усовершенствованной малогабаритной противо-

лодочной торпеды «Стингрей» мод. 1 [11].

Одним из достоинств торпеды является возможность ведения поиска цели на малой скорости и перехода на полную скорость после ее обнаружения и захвата благодаря использованию двухскоростной ЭСУ.

Отличительной особенностью торпеды «Стингрей» мод. 1 стало применение в БЗО кумулятивного заряда ВВ меньшей массы (рис. 3), что привело к снижению общей массы торпеды, а так же дает возможность в имеющихся габаритах насытить компоновку торпеды [4]. В целях обеспечения требуемого уровня боевой эффективности, и прежде всего возможности гарантированного поражения современных двухкорпусных ПЛ, в том числе с корпусом из титановых сплавов, система наведения обеспечивает вывод торпеды к цели таким образом, чтобы на момент подрыва ВВ она двигалась по нормали (или достаточно близко к перпендикулярному направлению) к поверхности корпуса атакуемой ПЛ.

Франция начала финансирование проекта создания тяжелой торпеды нового поколения F21, которая будет использоваться на ПЛ. Как ожидается, после принятия на вооружение, которое запланировано на 2016 год, новая торпеда будет использоваться военными на протяжении 30–40 лет. Объем финансирования программы не уточняется [9].

Созданием нового вооружения ПЛ занимается компания BU ASM, подразделение французской DCNS. Всего планируется произвести сто торпед F21, которые будут сконструированы таким образом, чтобы предотвратить случайный взрыв оружия или его запуск. В частности, на F21 будет применен двигатель, работающий на алюминий-серебряной электрической АБ, активация которой производится при контакте с морской водой [9].

Для запуска торпеды будут использоваться специальные аппараты, в которых оружие сначала будет выталкиваться из трубы специальным поршнем, после чего в F21 будет открываться клапан, дающий приток воды к батарее. Длина F21 массой 1,2 тонны будет составлять шесть метров, а диаметр – 533 миллиметра. Новое французское оружие сможет поражать цели на глубинах от 15 до 500 метров и на дальности до 50 километров. F21 сможет развивать скорость до 50 узлов.

Благодаря цифровой системе управления выпущенная торпеда сможет переключаться между разными целями. В боеголовке планируется использовать взрывчатое вещество PBX B2211 и плазменный детонатор. Новая торпеда будет универсальной – ее можно будет использовать как в боевых, так и в учебных целях. В последнем случае, на оружие просто не будет устанавливаться блок с взрывчаткой, а штатная батарея будет заменена ионно-литиевым аккумулятором.

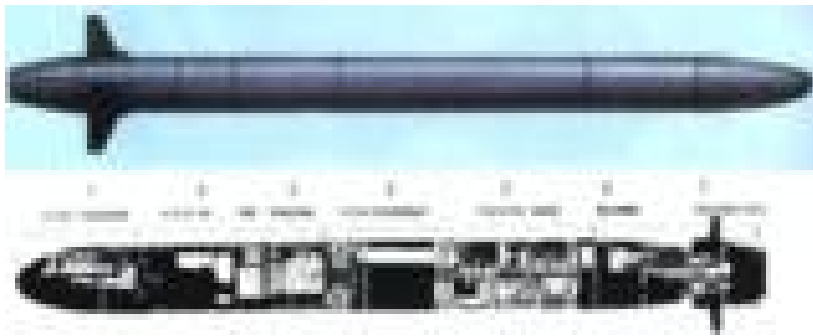


Рисунок 4 – Компонировка универсальной торпеды УГСТ

Так же стоит обратить внимание и на разработки российских производителей. Одной из таких разработок является торпеда УГСТ – универсальная глубоководная самонаводящаяся торпеда, предназначенная для поражения ПЛ и НК противника (рис. 4). УГСТ может выпускать-

ся из 533-миллиметровых ТА. Кроме того, она является универсальной по носителю, то есть может стоять на вооружении как ПЛ, так и НК.

Важной отличительной особенностью торпеды является ее модульная конструкция. Это позволяет создавать целое семейство торпед, которые обладают многоуровневым потенциалом модифицируемости: от перепрограммирования аппаратуры в базовой модели до замены резервуарного отделения или двигателя. Такой подход дает возможность быстро комплектовать УГСТ под особенности конкретных условий боевого применения торпеды.

Энергосиловую установку УГСТ построили на основе аксиально-поршневого двигателя работающего на жидком однокомпонентном топливе. Вращающаяся камера сгорания является особенностью двигателя. Топливо подается плунжерным высоконапорным насосом. Стартовый пороховой заряд, размещенный в камере сгорания, позволяет за короткое время наращивать мощность двигательной установки. Это особенно важно на начальном этапе хода торпеды. Движителем торпеды является малозумный водомет, соединенный напрямую с двигателем [8].

Российские конструкторы реализовали в УГСТ еще одно "ноу-хау" – двухплоскостные рули, которые выдвигаются за калибр торпеды после того как она выходит из ТА. По расчетам инженеров, данная конструкция рулей позволяет существенно снизить шумность торпеды. Работа рулей также весьма эффективна и позволяет торпедо уверенно проходить трудный начальный участок пути после ее выстрела из ТА НК или ПЛ.

Что касается БЗО торпеды, то оно представляет собой отсек с вкладной капсулой, в которой размещается взрывчатое вещество. Разработано несколько модификаций БЗО, различающихся по массе и составу взрывчатого вещества, а также системе инициирования во время подрыва.

Состояние же отечественного ТО оставляет желать лучшего и является одной из главных проблем ВМС Украины. В ходе раздела Черноморского флота СССР, ВМС Украины получили огромное количество и разнообразие торпедного оружия. В дальнейшем из-за отсутствия материально-технической базы и предприятий промышленности способных производить ремонт и обслуживание данных образцов ТО, было принято решение остановиться на следующих образцах ТО: 53-65К, СЭТ-65, СЭТ-72. Перечисленные торпеды, разработанные и принятые на вооружение в середине 60-х, начале 70-х годов прошлого века, находятся на послегарантийных сроках хранения, превышающих срок службы [3].

Поэтому в условиях ограниченного финансирования программ создания нового торпедного оружия большое значение должны приобрести НИОКР по модернизации и усовершенствованию имеющегося арсенала торпед, направленного на повышение их ТТХ до уровня современных требований. В этих разработках должен активно использоваться модульный принцип конструкции, позволяющий сочетать модернизацию существующих образцов оружия с созданием новых.

Опыт мирового торпедостроения свидетельствует о том, что успех в разработке новых образцов ТО во многом определяется имеющимися резервами ТТХ для модернизации основных базовых образцов. Продуманный подход к унификации подводного оружия в целом, реализация принципа конструирования перспективных образцов на базе существующих, а также широкое внедрение передовых технологий из различных областей техники создают широкие возможности для повышения боевых качеств оружия при минимизации расходов на его разработку, испытание и серийное производство.

Литература

1. Military Balance 2011 // Chapter Three North America – The International Institute For Strategic Studies, 2011, – p. 32.
2. Friedman N. Submarine Combat Management Systems // Naval forces III/2013, – p. 30.
3. Щепцов А.В. Комплексная модернизация торпедного оружия, как метод достижения современных требований к их тактико-техническим характеристикам // Збірник наукових праць АВМС імені П.С. Нахімова. – Севастополь: АВМС імені П.С. Нахімова, 2012. Вып. 3.
4. Кислов Ф.И. Основные тенденции развития торпедного оружия стран НАТО // Зарубежное военное обозрение. – Москва. Красная звезда, 2002 вып. №7(12), – С. 46–52.
5. Куренков В.О. Перспективы развития торпедного оружия ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – Москва. Красная звезда, 2008 вып. №1(12), – С. 68–76.
6. Чертанов В.М. О перспективах использования кораблей прибрежной зоны в интересах сил специальных операций ВМС США // Зарубежное военное обозрение. – М.: Красная звезда, 2003. Вып. 8, – С. 59–65.
7. <http://www.eurotorp.com>.
8. <http://army-news.ru/2012/03/glubokovodnaya-samonavodyashhayasya-torpeda-ugst>.
9. <http://gunsvd.ru/886-franciya-sozdast-novuyu-torpedu-dlya-podvodnyh-lodok.html>.
10. http://blackseafleet-21.com/news/4-07-2012_nemetskij-podvodnyj-rekord-dalnosti-torpeda-seahake-mod-4-er
11. <http://ptn.home.xs4all.nl/Missiles/Stingray.html>.

Bibliography (transliterated)

1. Military Balance 2011. Chapter Three North America – The International Institute For Strategic Studies, 2011, – p. 32.
2. Friedman N. Submarine Combat Management Systems. Naval forces III/2013, – p. 30.
3. Scheptsov A.V. Kompleksnaya modernizatsiya torpednogo oruzhiya, kak metod dos-tizheniya sovremennyih trebovaniy k ih taktiko-tehnicheskim harakteristikam. Zirnik naukovih prats AVMS imeni P.S. Nahimova. – Sevastopol: AVMS Imeni P.S. Nahimova, 2012. Vyip. 3.
4. Kislov F.I. Osnovnyie tendentsii razvitiya torpednogo oruzhiya stran NATO. Zarubezhnoe voennoe obozrenie. – Moskva. Krasnaya zvezda, 2002 vyip. #7(12), – P. 46–52.
5. Kurenkov V.O. Perspektivy razvitiya torpednogo oruzhiya VMS zarubezhnyih stran. Zarubezhnoe voennoe obozrenie. – Moskva. Krasnaya zvezda, 2008 vyip. #1(12), – P. 68–76.

6. Chertanov V.M. O perspektivah ispolzovaniya korabley pribrezhnoy zonyi v interesah sil spetsialnyih operatsiy VMS SShA. Zarubezhnoe voennoe obozrenie. – M.: Krasnaya zvezda, 2003. Vyip. 8, – P. 59–65.
7. <http://www.eurotorp.com>.
8. <http://army-news.ru/2012/03/glubokovodnaya-samonavodyashhayasya-torpeda-ugst>.
9. <http://gunsvd.ru/886-franciya-sozdast-novuyu-torpedu-dlya-podvodnyh-lodok.html>.
10. http://blackseafleet-21.com/news/4-07-2012_nemetskij-podvodnyj-rekord-dalnosti-torpeda-seahake-mod-4-er.
11. <http://ptn.home.xs4all.nl/Missiles/Stingray.html>.

УДК 623:946

Щепцов О.В.

ОСНОВНИ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТОРПЕДНОЇ ЗБРОЇ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ СУЧАСНИХ ВИМОГ ДО ЇЇ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

У статті обґрунтовані напрямки модернізації торпедної зброї на підставі наведеного аналізу робіт, проведених основними розробниками торпед.

Scheptsov A.V.

MAIN PERSPEKTIVES OF TORPEDO WEAPONS DEVELOPMENT TO ACHIVE CONTEMPORARI REQUIREMENT TO ITS TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS

The article contains grounds of torpedo weapons modernization trends based on the reduced analysis of torpedo developers researches

Бойко М.І., Таволжан А.А., Березка Т.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ВМІСТУ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ПИВНОМУ НАПОЇ ІЗ ВИТЯЖКИ ГАРБУЗА ЗВИЧАЙНОГО ТА ПЕЛЮСТКІВ КАЛЕНДУЛИ

Вступ. Пиво - це слабоалкогольний напій, одержаний із солоду і непророщених зернових культур (ячмінь, пшениця, кукурудза, рис, тритікале та ін.) спиртовим зброджуванням охмеленого сусла пивними дріжджами. Воно не тільки вгамовує спрагу, а й підвищує тонус організму, поліпшує обмін речовин та засвоюваність їжі. Пиво являє собою досить складну систему органічних і неорганічних кристалоїдів і колоїдів у слабкому водно-спиртовому розчині. До його складу входять понад 400 сполук, що визначають високу якість і необхідність для людини цього продукту [1].

В останні роки у світі розширилося виробництво нового легкого пива, енергетичність якого на 30 % нижче в порівнянні зі звичайним 12 %-вим пивом, але легке пиво має високий вміст вітамінів та різні специфічні аромати, воно також має високий ступінь зброджування і насичення діоксидом вуглецю[1].

Мета роботи. *Створити* новий пивний напій з аналогічним складом до пивного сусла з новими органолептичними показниками та *дослідити* фізико-хімічні, органолептичні показники і вміст біологічно активних речовин у пивному напої із витяжки гарбуза звичайного та пелюстків календули, які дуже розповсюджені на Україні та володіють широким спектром фармакологічною активністю, яка обумовлена високим вмістом біологічно активних речовин та вітамінів.

Фізико-хімічні показники визначали такими методиками:

- вміст сухих речовин (СР до маси продукту) визначали висушуванням до сталої маси та рефрактометрично на рефрактометрі РПЛ – 3 [2, 3];
- кислотність – титруванням розчину NaOH концентрацією 0,1 моль/дм³ [4];
- рН середовища визначали на іономірі И – 130 [2, 4];
- визначення амінного азоту мідним способом [2, 4];
- визначення вмісту мальтози йодометричним методом [2];
- кінцевий ступінь зброджування прискореним методом із перемішуванням сусла [2];

Вміст вітамінів визначали:

- вітамін С (аскорбінова кислота) методом візуального титрування з 2,6-дихлорфеноліндолом (реактив Тільманса) за ГОСТ 24556 – 89 [5, 6];
- вітамін В₃ (пантотенова кислота) мікробіологічним методом із тест-організмом *Lactobacillus arabinosus* [7, 8];
- вітамін В₆ (піридоксин) якісною реакцією при взаємодії з розчином хлорного заліза [6, 7, 8];
- визначення вітамінів В₁ (тіамін) флюорометричний методом за допомогою флуорометра ЕФ – 3М [9, 10];
- вітамін В₂ (рибофлавін) методом прямої флюорометрії з гіпосульфідом натрію, згідно з ГОСТ 30627.6 – 98 [10];

Гарбуз звичайний (*Cucurbita pepo*) — однорічна однодомна трав'яниста рослина родини гарбузових. Плоди містять цукри (глюкоза, фруктоза, сахароза), органічні кис-

лоти (переважно яблучна), каротин (до 6 мг%), аскорбінову (8–20 мг%), фолієву (14 мкг/100 г), пантотенову (0,4 мг%) та нікотинову (0,5 мг%) кислоти, вітамін В6 (0,13 мг%), рибофлавін, тіамін, значну кількість мінеральних речовин (калій – 170 мг%, залізо – 100, мідь – 180, фтор – 86, цинк – 240 мкг/100 г, кальцій, фосфор). До складу насіння входять жирна олія (близько 20 %), фітостерин кукурбітол, смолисті речовини, органічні кислоти, вітаміни групи В, аскорбінова кислота.

Пелюстки календули (*calendula officinalis* L) - в квітках календули виявлені вуглеводні парафінового ряду (гентріаконтан і ситостерин), смоли, тритерпенові глікозиди, слизові і гіркі речовини, органічні кислоти (яблучна, пентадецілова, саліцилова), аскорбінова кислота. Експериментальне дослідження галунових препаратів календули показало, що вони володіють широким спектром фармакологічної активності, яка обумовлена багатим вмістом в кольорах рослини таких біологічно активних сполук, як каротиноїди, флавоноїди, вітаміни.

Квітки календули мають спазмолітичні властивості. Розслабляючи гладком'язові структури таких органів, як шлунок, кишечник і печінку, календула разом з тим збуджує секреторну активність, що сприяє посиленню жовчоутворення і підвищенню секреторної активності шлунка.

Викладання основного матеріалу. Пивний затор готували при ступені подрібнення солоду – 100%-вий прохід крізь сито з діаметром отворів 1 мм, гідромодулі 1:5, як несолоджену сировину використовували кукурудзяне борошно. Вміст сухих речовин в готовому суслі становив 11%.

Опрацювання результатів. Відфільтроване сусло, що надходить із фільтраційного апарата або фільтрпреса, кип'ятять з хмелем у сусловарильному апараті. Метою кип'ятіння сусла з хмелем є стабілізація його складу, упарювання до встановленої концентрації, екстрагування з хмелю ароматичних і гірких речовин, інактивація ферментів, коагуляція білків та стерилізація сусла для забезпечення чистого бродіння й одержання стійкого продукту.

Під час бродіння пиво насичується діоксидом вуглецю до 0,2 % і після витримання у відділенні доброджування при температурі близько 0°C і тиску до 0,07 МПа кількість CO₂ збільшується до 0,3–0,40 % мас.

Зброджене пивне сусло доброджують, а після двох діб додають водну витяжку із гарбуза звичайного або водну витяжку із пелюстків календули у кількості 20 % сухих речовин. Після дозрівання пиво витримують, фільтрують, охолоджують і розливають у пляшки або кеги.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено новий пивний напій з аналогічним складом до пивного сусла та встановлено основні фізико-хімічні й органолептичні показники пивного напою із витяжки гарбуза звичайного та пелюстків календули, які представлені в таблицях 1, 2, 3, 4.

У табл. 2 наведено порівняльну характеристику фізико-хімічних показників пивного сусла з ячмінного солоду та пивного напою з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного.

Також були проведені аналогічні дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників пива з ячмінного солоду та пивного напою з додаванням водної витяжки із пелюстків календули, які представлені в табл. 3, 4.

Таблиця 1 – Органолептичні показники пивного напою із витяжки гарбуза звичайного

№ зразка	Водна витяжка із гарбуза звичайного	Органолептичні показники пивного напою
1	90 % суслу із ячмінного солоду +10 % водної витяжки із гарбуза звичайного	Пусте, без CO ₂ , кислувате (як напій освіжаючий)
2	85 % суслу із ячмінного солоду +15 % водної витяжки із гарбуза звичайного	Освіжаючий напій, на запах легкий, наближений до плоду гарбуза, насичений CO ₂ , після смак солодкуватий, приємний
3	80 % суслу із ячмінного солоду +20 % водної витяжки із гарбуза звичайного	Запах м'який, змішаний смак солоду та гарбуза, насичений CO ₂ , смак гармонійний в якому присутній аромат солоду
4	75 % суслу із ячмінного солоду +25 % водної витяжки із гарбуза звичайного	Запах свіжий, піниться, пусте, насичений CO ₂ , смак не дуже чистий, не гармонійний з відчуттям відсутності солоду

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика фізико-хімічних показників пива з ячмінного солоду та пивного напою з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного

Показник	Пиво із ячмінним солодом (контроль)	Пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного 15 % сухих речовин	Пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного 20 % сухих речовин	Пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного 25 % сухих речовин
Масова частка екстрактивних речовин, %	11,0	11,0	11,0	11,0
Колірність, см ³ р-ну йоду конц. 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³	0,9	0,80	0,80	0,80
Кислотність, см ³ р-ну NaOH конц. моль/дм ³ на 100 см ³ пива	1,7	1,55	1,55	1,55
pH	5,0	4,9	4,9	4,9
Вміст амінного азоту, мг в 100 см ³ пива	11,2	11,2	11,2	11,2
Вміст мальтози, мг в 100 см ³ пива	6,2	6,2	6,2	6,2
Кінцевий ступінь зброджування, %	75,0	75,0	75,0	75,0

Таблиця 3 – Органолептичні показники пивного напою з додаванням водної витяжки із пелюстків календули

№ зразка	Водна витяжка із пелюстків календули	Органолептичні показники пивного напою
1	90 % суслу із ячмінного солоду +10 % водної витяжки із пелюстків календули	Пусте, без CO ₂ , кислувате (як напій освіжаючий)
2	85 % суслу із ячмінного солоду +15 % водної витяжки із пелюстків календули	Освіжаючий напій, на запах легкий, наближений до пелюстків календули, насичений CO ₂ , після смак солодкуватий, приємний
3	80 % суслу із ячмінного солоду +20 % водної витяжки із пелюстків календули	Запах м'який, змішаний смак солоду та гарбуза, насичений CO ₂ , смак гармонійний в якому присутній аромат солоду
4	75 % суслу із ячмінного солоду +25 % водної витяжки із пелюстків календули	Запах свіжий, піниться, пусте, насичений CO ₂ , смак не дуже чистий, не гармонійний з відчуттям відсутності солоду

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика фізико-хімічних показників пива з ячмінного солоду та пивного напою з додаванням водної витяжки із пелюстків календули

Показник	Пиво із ячмінним солодом (контроль)	Пивний напій з додаванням водної витяжки із пелюстків календули 15 % сухих речовин	Пивний напій з додаванням водної витяжки із пелюстків календули 20 % сухих речовин	Пивний напій з додаванням водної витяжки із пелюстків календули 25 % сухих речовин
Масова частка екстрактивних речовин, %	11,0	11,0	11,0	11,0
Колірність, см ³ р-ну йоду конц. 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³	0,9	0,80	0,80	0,80
Кислотність, см ³ р-ну NaOH конц. моль/дм ³ на 100 см ³ пива	1,7	1,55	1,55	1,55
pH	5,0	4,9	4,9	4,9
Вміст амінного азоту, мг в 100 см ³ пива	11,2	11,2	11,2	11,2
Вміст мальтози, мг в 100 см ³ пива	6,2	6,2	6,2	6,2
Кінцевий ступінь зброджування, %	75,0	75,0	75,0	75,0

Цінність оздоровчих продуктів визначається не лише поживністю, а й наявністю біологічно активних речовин, серед яких важливе місце відведено вітамінам.

Пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного та пелюстків календули готували за технологічним режимом, наведеним вище.

Порівняльну характеристику вмісту біологічно активних речовин у пивному напою з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного та пелюстків календули наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Вміст вітамінів у пивному напої з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного та пелюстків календули

Назва	Пиво із ячмінним солодом (контроль)	Пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного 20% сухих речовин	Пивний напій з додаванням водної витяжки із пелюстків календули 20% сухих речовин
Вітамін С, мг	не виявлено	20,0	20,0
Тіамін (В ₁), мг	0,5	0,63	0,63
Рибофлавін (В ₂), мг	0,56	0,58	0,58
Пантотенова кислота (В ₃), мг	0,35	0,4	0,4
Піридоксин (В ₆), мг	0,11	0,14	0,14
Нікотинова кислота, мг	0,09	0,5	0,5

Як відомо, нікотинова кислота та рибофлавін беруть участь в окислювально-відновлювальних процесах живої клітини, пантотенова кислота – в метаболізмі вуглеводів, білків, ліпідів [13].

Встановлено, що при однаковій частці екстрактивних речовин за іншими показниками пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного та пелюстків календули мало відмінності від пива приготоване з ячмінного солоду, зокрема, за кольорністю та загальною кислотністю відповідно менше на 1...0,15 % за рН менше на 0,1 од., за вмістом амінного азоту, мальтози та кінцевим ступенем зброджування однакового значення.

Як видно з наведених таблиць 2 та 4 пивний напій з додаванням водної витяжки гарбуза звичайного та пелюстків календули у кількості 15...20 % та 25 % сухих речовин по фізико-хімічним показникам не уступає контрольному зразку (пиво із ячмінним солодом), але по органолептичним показникам зразок 3 табл. 1, 3), а саме (80 % сусла із ячмінного солоду + 20 % водної витяжки із гарбуза звичайного та водної витяжки із пелюстків календули) не відповідає зразкам 1, 2 та 4.

Встановлено, що пивний напій з додаванням водної витяжки із гарбуза звичайного та водної витяжки із пелюстків календули має високий вміст біологічно активних речовин, зокрема за вмістом вітамінів в середньому він переважає на 15...20 % пиво із ячмінного солоду (контроль), що можна пояснити особливістю технологією приготування класичного пива.

Література

1. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива: [підручник для студентів вищих навчальних закладів] / В.А. Домарецький. – К.: ІНК ОС, 2004. – 426 с.

2. Мелетьев А.Е. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв: [підручник] / А.Е. Мелетьев, С.Р. Тодосійчук, В.М. Кошова; під ред. А.Е. Мелетьєва. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 392 с.
3. Патока крахмальная. Общие технические условия. ГОСТ Р 52060 – 2003. – [Чинний від 28 мая 2003, № 163]. – М.: Издавництво стандартів, 2003. – 25 с. – (Державний стандарт СРСР).
4. Великая Е.И. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств / Е.И. Великая, В.Ф. Суходол. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 310 с.
5. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С: ГОСТ 24556 – 89. – [Действует с 1990-01-01]. – М.: ИПК издательство стандартов, 1989. – 11 с. – (Межгосударственный стандарт).
6. Биохимия: краткий курс с упражнениями и задачами / [Под ред. Е.С. Северина, Н.Я. Николаева]. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 340 с.
7. Определение витамина В₃: ГОСТ Р 52741 – 2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Стандартиформ, 2007.
8. Мікробіологічний метод визначення вітаміну В₃ із тест організмом *Lactobacillus arabinosus*: ГОСТ Р 52741 – 2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Стандартиформ, 2007.
9. Тырсин Ю.А. Витамины и витаминоподобные вещества / Ю.А. Тырсин, А.А. Кролевец, А.С. Чижик. – М.: ДеЛи принт, 2012. – 205 с.
10. Витамины и минеральные вещества: полная энциклопедия / [сост. Т.П. Емельянова]. – СПб.: ВЕСЬ, 2001. – 368 с.
11. Технологія солодових екстрактів, концентратів квасного сусла і квасу / Н.О. Ємельянова, Н.Я. Гречко, В.М. Кошова, В.Х. Суходол; під ред. Н.О. Ємельянової. – К.: ІСДО, 1994. – 150 с.

Bibliography (transliterated)

1. Domaretskiy V.A. Tehnologiya solodu ta piva: [pidruchnik dlya studentiv vischih navchalnih zakladiv]. V.A. Domaretskiy. – K.: INKOS, 2004. – 426 p.
2. Meletev A.E. Tehnohimichniy kontrol virobnitstva solodu, piva i bezalkogolnih napoyiv: [pidruchnik]. A.E. Meletev, S.R. Todosiychuk, V.M. Koshova; pid red. A.E. Meleteva. – Vinnitsya: Nova Kniga, 2007. – 392 p.
3. Patoka krahmalnaya. Obschie tehicheskie usloviya. GOST R 52060 – 2003. – [Chinniy vid 28 maya 2003, # 163]. – M.: Vidavnitstvo standartiv, 2003. – 25 p. – (Derzhavniy standart SRSR).
4. Velikaya E.I. Laboratorniy praktikum po kursu obschey tehnologii brodilnyih proizvodstv / E.I. Velikaya, V.F. Suhodol. – M.: Legkaya i pischevaya promyshlennost, 1983. – 310 p.
5. Produktyi pererabotki plodov i ovoschey. Metodyi opredeleniya vitamina S: GOST 24556 – 89. – [Deystvuet s 1990-01-01]. – M.: IPK izdatelstvo standartov, 1989. – 11 p. – (Mezhgosudarstvenniy standart).
6. Biohimiya: kratkiy kurs s uprazhneniyami i zadachami / [Pod red. E.S. Severina, N.Y. Nikolaeva]. – M.: GEOTAR-MED, 2001. – 340 p.

7. Opredelenie vitamina V3: GOST R 52741 – 2007. Natsionalnyi standart Rossiyskoy Federatsii. Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. Standartinform, 2007.
8. Mikrobiologichniy metod viznachennya vitaminu B3 iz test organizmom Lactobacillus arabinossus: GOST R 52741 – 2007. Natsionalnyi standart Rossiyskoy Federatsii. Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. Standartinform, 2007.
9. Tyirsin Y.A. Vitaminy i vitaminopodobnye veschestva. Y.A. Tyirsin, A.A. Krolevets, A.S. Chizhik. – M.: DeLi print, 2012. – 205 p.
10. Vitaminy i mineralnye veschestva: polnaya entsiklopediya. [sost. T.P. Emelyanova]. – SPb.: VESЬ, 2001. – 368 p.
11. Tehnologiya solodovih ekstraktiv, kontsentrativ kvasnogo susla i kvasu. N.O. Emelyanova, N.Y. Grechko, V.M. Koshova, V.H. Suhodol; pid red. N.O. Emelyanovoyi. – K.: ISDO, 1994. – 150 p.

УДК 330.43:663.4

Бойко М.И., Таволжан А.А., Березка Т.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПИВНОМ НАПИТКЕ ИЗ ВЫТЯЖКИ ТЫКВЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЛЕПЕСТКОВ КАЛЕНДУЛЫ

Определены и исследованы органолептические и физико-химические показатели пивного напитка из вытяжки тыквы обыкновенной и пивного напитка из лепестков календулы. Установлено сравнительную характеристику физико-химических показателей пива из ячменного солода и пивного напитка с добавлением водной вытяжки из тыквы обыкновенной и пивного напитка из лепестков календулы. Установлено и определено содержание витаминов в пивном напитке с добавлением водной вытяжки из тыквы обыкновенной и лепестков календулы.

Boyko M.I., Tavolzhan A.A., Berezka T.A.

INVESTIGATION OF ORGANOLEPTIC AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS AND THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN THE BEER BEVERAGE FROM CUCURBITA PEPO EXTRACT AND MARIGOLD PETALS

The organoleptic and physico-chemical characteristics of the beer beverage from Cucurbita pepo extract and beer from marigold petals were identified and investigated. Comparative description of physical and chemical indicators of beer from barley malt and beer beverage with the addition of the aqueous extract of Cucurbita pepo and drink beer from marigold petals was established. The vitamins content in beer beverages with the addition of the aqueous extract of Cucurbita pepo and marigold petals was established and defined.

«ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Ежеквартальный научно-практический журнал

Редколлегией к опубликованию принимаются статьи по следующим научным направлениям:

- ✓ энергетика и энергосбережение; энерготехнология энергоемких отраслей промышленности; нетрадиционная энергетика; ресурсосбережение; энергетика и окружающая среда;
- ✓ теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);
- ✓ применение ЭВМ в технологических процессах; автоматизированные системы управления и обработки информации;
- ✓ тепло- и массообменные процессы и оборудование специальной техники; тепловые процессы и криогенное оборудование медицинского назначения;
- ✓ электроэнергетика; оборудование электростанций и передача электроэнергии;
- ✓ экономические аспекты энергетики и промышленной экологии; коммерческий инжиниринг, реинжиниринг и технологический менеджмент,

а также другим направлениям, на стыке различных отраслей знаний.

Материалы к опубликованию в каждый последующий номер принимаются до 20 числа последнего месяца предыдущего квартала. Рукописи авторам не возвращаются.

Материал должен быть подготовлен на IBM-совместимом компьютере и распечатан в 2-х экземплярах. К материалам должен прилагаться диск CD-R или CD-RW со статьей, набранной в редакторе текстов **MS Word for Windows версий 97, XP, 2000 или 2003.**

К статье необходимо приложить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати и рецензию доктора наук по профилю подаваемой статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:

Размер бумаги А4 (210×297 мм); левое и правое поля – 25 мм, верхнее и нижнее – 30 мм; рекомендуемый шрифт Times New Roman Сут; размер шрифта – 12; межстрочный интервал – 1.

ПОРЯДОК РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА:

- непосредственно под верхней границей слева **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается УДК статьи;
- пропустив одну строку, по центру печатаются инициалы и фамилии авторов;
- пропустив одну строку, по центру полужирным шрифтом **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается название статьи;
- пропускается одна строка и с абзаца (1,25 см) печатается основной текст, отформатированный по ширине страницы;
- перед и после формул и уравнений должно быть расстояние в одну пустую строку до текста с интервалом 1;
- формулы и уравнения должны быть выровнены по центру;
- номера формул и уравнений выровнены по правому краю;
- размер шрифта формул и уравнений для основного текста – 12 пт.;
- рисунки, схемы и графики должны быть выполнены в черно-белом изображении;
- пропустив одну строку, следует список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ДСТУ;
- в конце статьи на украинском (русском – для статьи на украинском языке), русском и английском языках должны быть напечатаны УДК, авторы, название и аннотация.

РЕДКОЛЛЕГИИ

Украина, 61002,
Харьков-2, ул. Фрунзе, 21,
НТУ «ХПИ», редколлегия журнала
«Интегрированные технологии и энергосбережение»,
секретарю редколлегии Горбунову К.А.
Тел. (057) 707-69-58.
(057) 707-61-99
Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТЬИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ
С ПРАВИЛАМИ,
РЕДКОЛЛЕГИЕЙ НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ**

**НА ЖУРНАЛ ОТКРЫТА ПОДПИСКА
В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ УКРАИНЫ**

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 22786

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1'2016

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення
та радіомовлення України: Серія КВ № 5212 від 18.06.2001 р.

Підп. до друку 17.03.2016 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 прим. 1-й з-д 1–80.
Зам. № 32. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Фрунзе, 21, м. Харків-2, 61002.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.