

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Серія «Технічні науки»

№ 5 (102), 2016

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2016

Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№5 (102)
2016**

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012р.

Свідectво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України. Наказ МОН України від 13.07.2015 № 747 (додаток 17, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних та економічних наук.

ISSN 1813-6796

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція) 22.12.2004р.

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИНЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

Головний редактор:

Грищенко І.М., д.е.н., професор, академік НАПН України

Заступник

головного редактора:

Каплун В.В., д.т.н., професор

Київський національний університет технологій та дизайну є членом Асоціації університетів текстильного профілю (Autex) з 2006 року

Київський національний університет технологій та дизайну – повний індивідуальний член Асоціації Європейських університетів (EUA) з 20 жовтня 2005 року

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. Матеріалознавство, швейне і текстильне виробництво. Метрологія та сертифікація. Технології хімічні, біологічні, фармацевтичні. Дизайн та мистецтвознавство.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-0252

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.com.ua

<http://vistnyk.knutd.com.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 19.10.2016 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

BULLETIN

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

Technical Science Series
№5 (102), 2016

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2016

The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

**№5 (102)
2016** The state registration of print media is KB № 19330-9130 ІІР, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК № 993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine:
- № 747, originating date 13.07.2015. Fields: technological, economical.

ISSN 1813-6796 The journal is registered in ISSN International Centre, Paris, originating date is 22.12.2004
The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, ПІНІІ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

**Owner and
Publisher:** Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

Editor-in- Chief: **Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Member of NAPS of Ukraine

Deputy Editor: **Viktor V. Kaplun** - Dr., professor

Kyiv National University of Technologies and Design is the member of the Association of Universities for Textiles (AUTEX) since 2006

Kyiv National University of Technologies and Design is the general member of European University Association (EUA) since 20 October, 2005

Scientific fields: Mechatronic Systems. Energy Efficiency & Resource Saving. Materials Science. Textile and Apparel Manufacturing. Metrology, testing and quality certification. Chemical, Biological & Pharmaceutical Technologies, Design & Art Appreciation.

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-252

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.com.ua

<http://vistnyk.knutd.com.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 19.10.2016

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

ЗМІСТ

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

1. **Артеменко М.Ю., Каплун В.В.**
Енергоефективність паралельних активних силових фільтрів трифазних систем електроживлення 11
2. **Кизимчук О.П., Мельник Л.М., Єрмоленко І.В.**
Вплив технологічних можливостей сучасних плосков'язальних машин на їх енергоспоживання 20
3. **Лисак О.В.**
Регулювання тепловіддачі електротеплоакуючих обігрівачів 29
4. **Алексієвський Д.Г., Панкова О.О.**
Морфологічний аналіз структур вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням 39
5. **Каплун В.В., Павлов П.А., Штепа В.Н., Каплун Р.В.**
Асинхронний режим функціонування мікроенергетической системы 45
6. **Лисак О.В.**
Системи прямого охолодження від відкритих водойм 57
7. **Ковриго Ю.М., Саков Р.П., Бунке О.С.**
Аналітична модель рівня в проміжному бункері пилу парового котла ТПП-210А 66
8. **Шавьолкін О.О.**
Перетворювальний агрегат комбінованої системи електроживлення з поновлювальними джерелами 71
9. **Sineglazov V., Ziganshin A.**
Effective darrieus H -rotor with optimal pitch angles of blades 78
10. **Миколюк О.А.**
Теоретико-методичні основи формування енергетичної безпеки: мікрорівень 84
11. **Плешко С.А., Ковальов Ю. А.**
Напруження в стержні голки круглов'язальної машини типу КО, зумовлені інерційними навантаженнями 91
12. **Дворжак В. М.**
Математичне моделювання механізмів швейних машин зі структурними групами третього класу третього порядку з двома поступальними парами 99
13. **Зенкін М.А., Лазебний В.І., Василенко І.Ю.**
Удосконалення автоматизованого контролю динамічних характеристик шліфувальних верстатів 109

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ШВЕЙНЕ ТА ТЕКСТИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО. МЕТРОЛОГІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

14. **Курганський А.В., Березненко С.М., Курганська М.М.**
Принцип зонально-диференційованого розташування елементів
бездротових сенсорних мереж моніторингу мікроклімату під одягом 118
15. **Пилипенко Ю.М., Слізков А.М., Проданчук І.В.**
Особливості в застосуваннях методів контролю технологічним
процесом для прогнозування властивостей текстильних матеріалів
різного призначення 126

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНІ, БІОЛОГІЧНІ, ФАРМАЦЕВТИЧНІ

16. **Будаш Ю.О., Кучеренко Є.В., Матрофайло М. М., Плавач В.П.**
Отримання екобезпечних мікрофібрилярних наповнювачів з
недеревної сировини 134
17. **Черниш О.В., Хоменко В.Г., Барсуков В.З., Борщ А.В.**
Вплив технологічних модифікацій полівініліденфториду на фізико-
механічні властивості електродів хімічних джерел струму 141

ДИЗАЙН ТА МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО

18. **Кисіль С. С.**
Трансформація простору як напрямок у дизайні інтер'єрів житлових
будинків 149

УДК 621.314

АРТЕМЕНКО М.Ю.^{*}, КАПЛУН В.В.^{**}

^{*} Національний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

^{**} Київський національний університет технологій та дизайну

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПАРАЛЕЛЬНИХ АКТИВНИХ СИЛОВИХ ФІЛЬТРІВ ТРИФАЗНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Мета. Підвищення коефіцієнта потужності та відповідного значення ККД у трифазних системах електроживлення шляхом використання активних силових фільтрів.

Методика. Енергоефективність електротехнічного комплексу «паралельний активний силовий фільтр – силовий кабель системи електроживлення» оцінюється співвідношенням втрат енергії у силових елементах інвертора і силовому кабелі. Обґрунтовуються аналітичні умови доцільності застосування паралельного активного силового фільтра за показником економії електроенергії.

Результати. У роботі показані шляхи розв'язання екстремальних задач для параметрів, що визначають енергетичні характеристики трифазної системи живлення в несинусоїдному несиметричному режимі: визначення повної потужності з урахуванням співвідношення активних опорів силового чотирипровідного кабелю; мінімізація потужності втрат та максимізація коефіцієнта потужності.

Наукова новизна. Встановлений новий фізичний зміст запропонованої формули визначення повної потужності, що узгоджується з чинним європейським стандартом. Коректне визначення повної потужності дозволяє розробити енергоефективні алгоритми керування засобами паралельної активної фільтрації з метою підвищення ККД трифазної чотирипровідної системи електроживлення шляхом підвищення коефіцієнта потужності навантаження з урахуванням власних втрат фільтра.

Практична значимість. Одержані нові аналітичні залежності, що характеризують доцільність застосування паралельних активних силових фільтрів для підвищення енергоефективності чотирипровідних систем електроживлення. Ці співвідношення дають можливість обґрунтувати вибір елементної бази та частоти комутації силових інверторів паралельних активних силових фільтрів на стадії аванпроекування.

Ключові слова: коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності, паралельний активний силовий фільтр, енергоефективність.

Вступ. Видобуток власних паливно-енергетичних ресурсів не задовольняє внутрішні потреби України. Особливо залежною від імпорту первинних енергоносіїв є галузь генерування електричної енергії, на долю якої приходить вагома частина споживання первинних паливних ресурсів. Саме тому енергоефективність електроенергетичних системах та пристроях є не лише економічним фактором, а й чинником формування енергетичної безпеки України. Вирішення цієї принципової проблеми здійснюється за декількома напрямками у всіх секторах електроспоживання, в тому числі й у вищих навчальних закладах [1]. Одним із перспективних технічних напрямів реалізації потенціалу енергозбереження є зниження втрат та відновлення якісних показників електроенергії на клемах потужних споживачів застосуванням активних силових фільтрів [3]. Найбільшого поширення в трифазних системах електроживлення набули паралельні активні фільтри (ПАФ) з можливістю формування вхідного струму в умовах нестабільності навантаження та параметрів вхідної напруги.

Постановка завдання. Разом з тим до теперішнього часу не сформовані єдині наукові підходи щодо оптимальності алгоритмів керування ПАФ, оскільки кожен з них базується на певному фрагменті теорії потужності систем електроживлення [2-6], яка є предметом

полеміки та дискусій фахівців як в галузі електроенергетики, так і в галузі силової перетворювальної техніки. Особливо гостро така проблема постає у випадку, коли використовується трифазна чотирипровідна система живлення з нульовим проводом. Тому розвиток теорії потужностей систем електроживлення та створення на її основі нових алгоритмів керування ПАФ з метою поліпшення якості електроенергії та енергоефективності трифазної системи живлення є важливою науково-прикладною задачею.

Результати досліджень. Основні стратегії керування ПАФ можуть бути розділені на дві групи: пропорційно-векторного формування струмів трифазного джерела, побудовані на теорії потужності [2], кросс-векторній теорії та векторній стратегії формування струмів компенсації, з матричним перетворенням координат (найпоширенішими є оригінальна та модифікована pq - теорії, а також перетворення в $\alpha\beta 0$, $dq0$, pqr системах координат [3]). Стратегії керування першої групи передбачають формування вектора миттєвих значень струмів трифазного джерела пропорційним вектору миттєвих значень фазних напруг чи його частині з поліпшеним спектральним складом і переважають стратегії другої групи, що застосовують неодноразове матричне перетворення координат за трудомісткістю обчислень, точністю та швидкодією. Опорним вектором в межах першої групи стратегій є безпосередньо вектор миттєвих значень фазних напруг (стратегія S. Fryze) чи вектор миттєвих значень фазних напруг, позбавлений складової нульової послідовності, що дозволяє повністю позбутися струму в нульовому проводі (стратегія P. Salmeron, J. Montano [6]). Коефіцієнт пропорційності між векторами лінійних струмів та фазних напруг формують з умови нульової активної потужності ПАФ декількома способами, але найвища енергоефективність системи електроживлення забезпечується, якщо він дорівнює активній потужності навантаження, ділений на квадрат опорної напруги, осереднений на періоді T мережної напруги. В [6] показано, що при стратегії керування P. Salmeron, J. Montano потужність втрат в силовому чотирипровідному кабелі менша в порівнянні з втратами при керуванні за стратегією S. Fryze.

Як відомо, у теоретичній електротехніці коефіцієнт потужності можна вважати інтегральним чинником енергоефективності процесу споживання електроенергії:

$$\lambda = P / S, \quad (1)$$

де $P = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \mathbf{i}(t) dt$ – активна потужність трифазної системи; S – повна потужність;

$\mathbf{u}(t), \mathbf{i}(t)$ трикоординатні вектори миттєвих значень фазних напруг та лінійних струмів; – період мережної напруги; T – знак транспонування. При визначенні повної потужності як трипровідних так і чотирипровідних систем здебільшого застосовується формула F. Buchholz у вигляді добутку середньоквадратичних норм векторів фазних напруг та лінійних струмів [5]

$$S = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{i}^T(t) \mathbf{i}(t) dt \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \mathbf{u}(t) dt}. \quad (2)$$

Однак наявність нейтрального проводу, в якому протікає сумарний струм лінійних проводів, є суттєвою відмінністю чотирипровідної системи, оскільки збільшується потужність втрат порівняно з трипровідною системою. Незалежність повної потужності, розрахованої за формулою F. Buchholz, від співвідношення активних опорів з'єднувальних проводів викликає сумнів в коректності її застосування для чотирипровідних систем за наявності ненульового струму нейтрального проводу. Через неадекватність формули повної потужності невірно визначається і коефіцієнт потужності, внаслідок чого існуючі алгоритми врівноважування несиметричного навантаження, що реалізуються в активних фільтрах та

реактивних компенсаторах, не забезпечують оптимального енергетичного режиму, що характеризується мінімумом втрат та одиничним коефіцієнтом потужності.

Коректно повна потужність трифазної чотирипровідної системи живлення визначається як максимальна активна потужність навантаження, що може бути досягнута в процесі передачі енергії від трифазного джерела при заданих напругах та втратах на активних опорах силового кабелю [4]. У зв'язку з цим постає завдання розв'язання екстремальних задач для параметрів, що визначають енергетичні характеристики трифазної системи живлення в несинусоїдному несиметричному режимі: визначення повної потужності з урахуванням співвідношення активних опорів силового чотирипровідного кабелю; мінімізація потужності втрат та максимізація коефіцієнта потужності.

Розв'язки цих задач для резистивної моделі силового кабелю (рис.1) узагальнені в [8]. Для повної потужності трифазної системи S отримано вираз

$$S = P_{\max} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{i}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{i}(t) dt \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u}(t) dt}, \quad (3)$$

де $\mathbf{R} = r\mathbf{E} + r_N \mathbf{j}\mathbf{j}^T$ – матриця опорів втрат, симетрична відносно головної діагоналі, $\mathbf{E}$ – одинична матриця. $\mathbf{j}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ В трипровідній системі живлення потужність втрат також описується виразом (3) при $\mathbf{R} = r\mathbf{E}$, і формула (3) відповідає формулі Бухгольца (2).

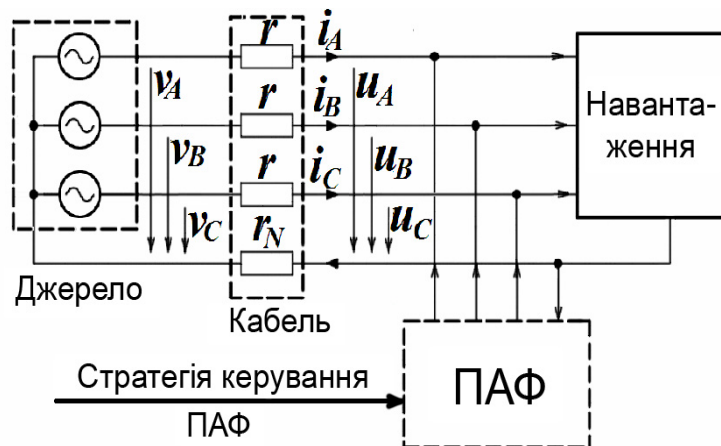


Рис. 1. Резистивна модель силового кабелю

Для чотирипровідної системи матриця $\mathbf{R}$ впливає на інтегральні вирази з (3) за наявності складових нульової послідовності векторів фазних напруг та лінійних струмів, і формула повної потужності може бути представлена у вигляді

$$S = \sqrt{[U_{\perp}^2 + (1 - \sigma_0)U_0^2][I_{\perp}^2 + (1 - \sigma_0)^{-1}I_0^2]}, \quad (4)$$

$$\text{де } U_{\perp}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}_{\perp}^T(t) \mathbf{u}_{\perp}(t) dt; U_0^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}_0^T(t) \mathbf{u}_0(t) dt = \frac{1}{3T} \int_0^T u_+^2(t) dt; \mathbf{u}_0(t) = \mathbf{u}(t) - \mathbf{j} \frac{u_+(t)}{3};$$

$$u_+(t) = \mathbf{j}^T \mathbf{u}(t); \mathbf{u}_{\perp}(t) = \mathbf{u}(t) - \mathbf{u}_0(t); I_{\perp}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{i}_{\perp}^T(t) \mathbf{i}_{\perp}(t) dt; I_0^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{i}_0^T(t) \mathbf{i}_0(t) dt; \sigma_0 = \frac{3r_N}{r + 3r_N}.$$

На відміну від формули Бухгольца, в формулі (4) за наявності складових нульової послідовності фазних напруг чи лінійних струмів чітко проглядається залежність повної потужності від співвідношення опорів силового кабелю, що задає коефіцієнт σ_0 .

Порівняємо отриману в [8] формулу (4) з виразом для ефективної повної потужності чотирипровідної системи, наведеним у європейському стандарті [7]:

$$S_e = 3U_e I_e, \quad (5)$$

$$\text{де } U_e = \sqrt{\frac{3(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + \xi(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)}{9(1 + \xi)}}; I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + (r_N / r)I_N^2}{3}} -$$

відповідно, ефективна фазна напруга та еквівалентний струм, $\xi = 3R_Y / R_\Delta$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню активних потужностей, викликаних заданими фазними напругами, в частинах навантаження, з'єднаних трикутником та зіркою в схемі на рис. 2. Таке визначення повної потужності викликає певні незручності. По-перше, відношення опорів R_Y / R_Δ і значення коефіцієнта ξ в загальному випадку є невідомим, і тоді рекомендовано [8] приймати $\xi = 1$, що відповідає необґрунтованій рівності зазначених активних потужностей $P_Y = P_\Delta$. По-друге, зміна співвідношення між активними опорами r_N / r впливає лише на еквівалентний струм, та не впливає на ефективну фазну напругу.

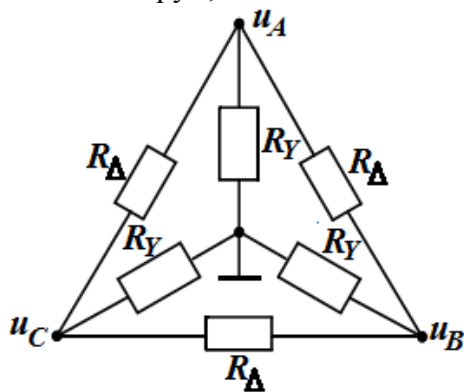


Рис. 2. Схема з'єднання опорів навантаження у трикутник та зірку

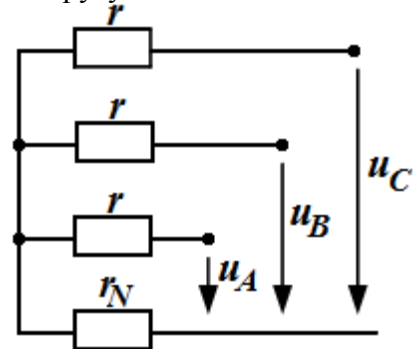


Рис. 3. Спрощена резистивна модель силового кабелю

Щоб позбутися зазначених недоліків, встановимо залежність між опорами R_Y, R_Δ та r_N, r , за якої формули (4) та (5) є еквівалентними. Піднісши до квадрату обидві частини рівності (5) з урахуванням позначень формули (4), матимемо

$$S_e^2 = \frac{(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + \xi(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2) / 3}{(1 + \xi)} \times [I_\perp^2 + (1 - \sigma_0)^{-1} I_0^2]. \quad (6)$$

Множник напруг з виразу (6) перетворюється до вигляду

$$\frac{(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + \xi(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2) / 3}{(1 + \xi)} = \frac{(U_\perp^2 + U_0^2) + \xi U_\perp^2}{(1 + \xi)} = U_\perp^2 + U_0^2 / (1 + \xi).$$

Із порівняння його з першим множителем виразу (4) встановлюємо умову еквівалентності

$$1 - \sigma_0 = \frac{1}{1 + \xi},$$

звідки з урахуванням значень коефіцієнтів впливає співвідношення еквівалентності

$$R_Y / R_\Delta = r_N / r. \quad (7)$$

Отже, запропоновані формули повної потужності (3), (4) повністю еквівалентні стандартизований [7] при виборі в схемі рис.2 для розрахунку еквівалентної напруги $R_Y = r_N; R_\Delta = r$. Співвідношення еквівалентності (7) усуває невизначеність коефіцієнта ξ в зазначеному європейському стандарті.

Знайдемо величину активної потужності P_N в схемі на рис. 3, що утворюється зі схеми рис. 1 шляхом закоротки трифазного джерела. Потенціал спільної точки резисторів позначимо $\varphi(t)$, тоді:

$$\begin{aligned} P_N &= \frac{1}{T} \int_0^T \left\| \begin{matrix} u_A(t) & u_B(t) & u_C(t) \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} i_A(t) \\ i_B(t) \\ i_C(t) \end{matrix} \right\| dt = \frac{1}{rT} \int_0^T \left\| \begin{matrix} u_A(t) & u_B(t) & u_C(t) \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} u_A(t) - \varphi(t) \\ u_B(t) - \varphi(t) \\ u_C(t) - \varphi(t) \end{matrix} \right\| dt = \\ &= \frac{1}{rT} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) [\mathbf{u}(t) - \varphi(t) \mathbf{j}] dt = \frac{1}{rT} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \left[\mathbf{u}(t) - \frac{u_A(t) + u_B(t) + u_C(t)}{r(3/r + 1/r_N)} \mathbf{j} \right] dt = \\ &= \frac{1}{rT} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \left[\mathbf{u}(t) - \frac{3}{3 + r/r_N} \mathbf{u}_0(t) \right] dt = \frac{1}{rT} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) [\mathbf{u}(t) - \sigma_0 \mathbf{u}_0(t)] dt = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u}(t) dt. \end{aligned}$$

Таким чином, інтеграл напруг з виразу (3) є величиною активної потужності, зумовленою фазними напругами навантаження, що розсіюється на активних опорах силового кабелю при короткому замиканні трифазного джерела, а фізичний зміст повної потужності, що задається формулами (3) та (4), формулюється як середнє геометричне потужностей втрат та зворотного короткого замикання системи живлення.

В результаті застосування формули (3) для цієї ж моделі трифазної чотирипровідної системи живлення отриманий вираз для коефіцієнта корисної дії $\eta = P_L / P_S$ у вигляді розв'язку квадратного рівняння

$$\eta^{-2} - k_L \eta^{-1} + k_L - 1 + 1/\lambda^2 = 0, \quad (8)$$

де $k_L = P_0 / P_L$ – коефіцієнт навантаження; $P_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T(t) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{v}(t) dt$ – активна потужність

короткого замикання. Графіки залежностей ККД від коефіцієнта навантаження k_L при різних значеннях параметра $a = \lambda^{-2} - 1$ наведені на рис. 4.

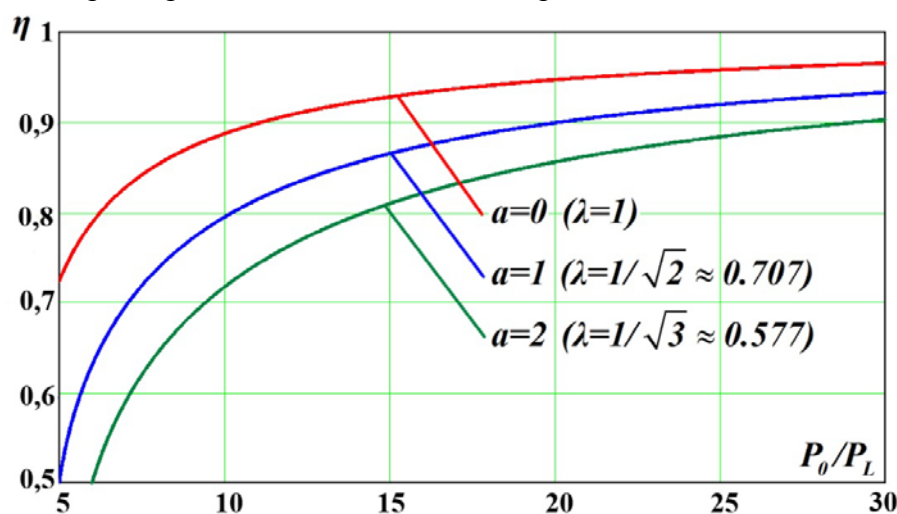


Рис. 4. Графіки залежностей ККД від коефіцієнта навантаження k_L при різних значеннях параметра a

З його аналізу випливає, що при підвищенні значення коефіцієнта потужності до одиниці за рахунок застосування ПАФ ККД трифазної чотирипровідної системи живлення може бути збільшений на 5-15 відсотків. Зі зменшенням відношення P_0 / P_L ефективність застосування засобів ПАФ зростає.

Коефіцієнт потужності при визначенні повної потужності за виразом (3) дорівнюватиме одиниці лише за умови формування векторів фазних струмів, пропорційних векторам фазних напруг з частково послабленою складовою нульової послідовності $\mathbf{u}_\sigma(t)$:

$$\mathbf{i}(t) = G\mathbf{u}_\sigma(t) = G[\mathbf{u}_\perp(t) + (1 - \sigma_0)\mathbf{u}_0(t)], \quad (9)$$

де G – довільна дійсна константа, оскільки в цьому випадку в формулі (1)

$$P = P_\perp + P_0 = G[U_\perp^2 + (1 - \sigma_0)U_0^2]; I_\perp^2 + I_0^2 / (1 - \sigma_0) = G^2[U_\perp^2 + (1 - \sigma_0)U_0^2]; \lambda = 1.$$

За наявності ПАФ вектор лінійних струмів трифазного джерела, який у несиметричному несинусоїдному режимі забезпечує постачання енергії в навантаження з одиничним коефіцієнтом потужності, визначається виразом [8]

$$\mathbf{i}_d(t) = G_\sigma \mathbf{u}_\sigma(t),$$

причому значення коефіцієнта пропорційності знаходиться з умови відсутності споживання енергії активним фільтром:

$$G_\sigma = \frac{P}{U_\perp^2 + (1 - \sigma_0)U_0^2}.$$

Звідси випливає оригінальний алгоритм керування ПАФ [9]:

$$\mathbf{i}_\phi(t) = \mathbf{i}_H(t) - G_\sigma \mathbf{u}_\sigma(t), \quad (10)$$

що при значній несиметрії фазних напруг дає переваги за потужністю втрат до 1,8 разів, порівняно зі стратегією S. Fryze, та до 7% у порівнянні зі стратегією P. Salmeron, J. Montano.

Підвищення коефіцієнта потужності та відповідного значення ККД можна досягти шляхом підключення в систему паралельного активного фільтра. Однак функціонування ПАФ супроводжується втратами енергії в силових елементах інвертора, тому економія величини втрат в силовому кабелі за рахунок підвищення коефіцієнта потужності має перевищувати власні втрати енергії ПАФ. Знайдемо аналітичну умову доцільності застосування ПАФ за показником економії електроенергії.

З виразу (8) знайдемо рівняння для відносної потужності втрат $\chi = (P_s - P_L) / P_L$:

$$\chi = \frac{1}{\lambda^2(k_L - 2 - \chi)}. \quad (11)$$

Після перетворень (11) маємо квадратне рівняння для визначення відносної потужності втрат

$$\chi^2 - (k_L - 2)\chi + \lambda^{-2} = 0. \quad (12)$$

З двох можливих коренів рівняння (12) фізичному змісту задовольняє така функціональна залежність кореня від коефіцієнта потужності, при якій зі збільшенням λ зменшується χ , тобто:

$$\chi = 0.5k_L - 1 - \sqrt{(0.5k_L - 1)^2 - \lambda^{-2}}. \quad (13)$$

Ця величина має перевищувати потужність втрат активного фільтра P_F , віднесена до активної потужності навантаження:

$$\chi > P_F / P_L. \quad (14)$$

Вважатимемо, що потужність втрат ПАФ пропорційна його встановленій потужності, що відповідає початковому значенню коефіцієнта потужності λ_1 :

$$P_F = k_F \sqrt{S^2 - P_L^2} = k_F P_L \sqrt{\lambda_1^{-2} - 1}, \quad (15)$$

де k_F - коефіцієнт пропорційності. Тоді, підставляючи формули (13) та (15) в вираз (14), отримаємо аналітичну умову доцільності застосування ПАФ за показником економії електроенергії:

$$\sqrt{(0.5k_L - 1)^2 - \lambda_2^{-2}} - \sqrt{(0.5k_L - 1)^2 - \lambda_1^{-2}} > k_F \sqrt{\lambda_1^{-2} - 1}. \quad (16)$$

Якщо значення коефіцієнта потужності внаслідок дії ПАФ підвищується до одиничного ($\lambda_2 = 1$), нерівність (16) після перетворення набуває вигляду

$$k_F < \frac{\sqrt{\lambda_1^{-2} - 1}}{\sqrt{(0.5k_L - 1)^2 - 1} + \sqrt{(0.5k_L - 1)^2 - \lambda_1^{-2}}}. \quad (17)$$

Графіки для граничного значення k_F за формулою (17) наведені на рис. 5.

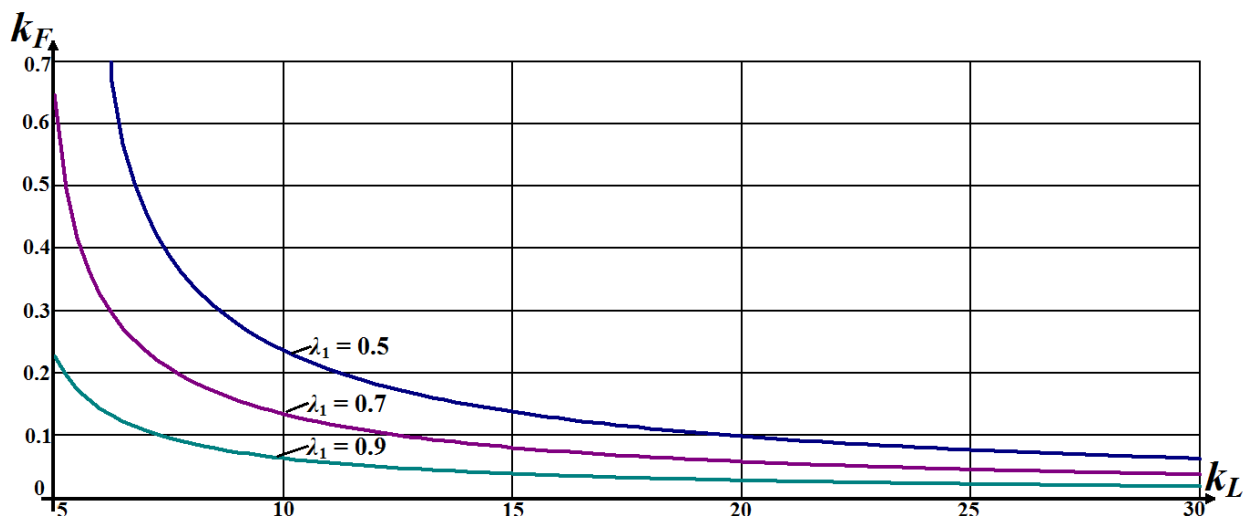


Рис. 5. Графічні залежності для визначення граничних значень співвідношення потужності активного фільтра до активної потужності навантаження

Ці графіки накладають обмеження на обґрунтування вибору елементної бази та частоти комутації силового інвертора на ранніх стадіях проектування ПАФ.

Висновки.

1. Встановлено новий фізичний зміст повної потужності – це середнє геометричне потужностей втрат та зворотного короткого замикання системи живлення. Таке визначення повної потужності трифазної системи електроживлення повністю еквівалентне стандартизованому в [7] при виборі в схемі рис.2 для розрахунку еквівалентної фазної напруги $R_Y = r_N; R_\Delta = r$. Співвідношення еквівалентності (7) усуває невизначеність коефіцієнта ξ в зазначеному європейському стандарті.

2. Показано, що інтеграл напруг з виразу (3) є величиною активної потужності, зумовленою фазними напругами навантаження, що розсіюється на активних опорах силового кабелю при короткому замиканні трифазного джерела, а фізичний зміст повної потужності, що задається формулами (3) та (4), формулюється як середнє геометричне потужностей втрат та зворотного короткого замикання системи живлення.

3. Отримано нову аналітичну умову (16) доцільності застосування ПАФ за показником економії електроенергії. Ці співвідношення накладають обмеження на вибір елементної баз та частоту комутації силового інвертора на ранніх стадіях проектування ПАФ.

Список використаної літератури

1. Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах: монографія / Грищенко І.М., Каплун В.В., Дяченко М.В. та ін.; за ред. І.М. Грищенка.—К.: КНУТД, 2013.— 245 с.
2. Fryze S. Moc czynna, bierna i pozorna układu 3-fazowego o odkształconych przebiegach napięć fazowych i prądów przewodowych / Wybrane zagadnienia teoretycznych podstaw elektrotechniki. – Warszawa–Wrocław: PWN, 1966. – Pp. 250–256.
3. Akagi H., Watanabe E.H., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning. – Piscataway, NJ: IEEE Press. – 2007. – 379 p.
4. Emanuel A.E. Power definitions and the physical mechanism of power flow. – John Wiley & Sons. IEEE Press.– 2010. – 274 p.
5. Czarnecki L.S., "Currents' Physical Components (CPC) concept: a fundamental of Power Theory," Przegląd Elektrotechniczny, vol. 84, no. 6, pp. 28-37, 2008.
6. Montano J. C., Salmeron P. and Thomas J. P. "Analysis of Power Losses for Instantaneous Compensation of Three-Phase Four-Wire Systems", IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp. 901–907, July 2005.
7. IEEE standard definitions for the measurements of electrical power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced and nonbalanced conditions. IEEE Std 1459-2010.
8. Потужність систем електроживлення та енергоефективність силових фільтрів: монографія / Артеменко М. Ю.—К.: КПІ, 2016.— 214 с.:іл.
9. Патент України на корисну модель UA № 84949 МПК H02P 9/00 (2013.01). Спосіб керування паралельним активним фільтром чотирипровідної трифазної мережі / Поліщук С.Й., Артеменко М.Ю., Михальський В.М., Батрак Л.М.; заявл. 03.04.2013, опубл. 11.11.2013. Бюл. № 21.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АКТИВНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

АРТЕМЕНКО М.Е.^{*}, КАПЛУН В.В.^{**}

^{*} *Національний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сикорського»*

^{**} *Київський національний університет технологій і дизайну*

Цель. Повышение коэффициента мощности и соответствующего значения КПД в трехфазных системах электропитания путем использования активных силовых фильтров.

Методика. Энергоэффективность электротехнического комплекса «параллельный активный силовой фильтр - силовой кабель системы электропитания» оценивается соотношением потерь энергии в силовых элементах инвертора и силовом кабеле. Обосновывается аналитические условия целесообразности применения параллельного активного силового фильтра по показателю экономии электроэнергии.

Результаты. В работе показан путь решения экстремальных задач обоснования поиска параметров, определяющих энергетические характеристики трехфазной системы питания в несинусоидальных несимметричных режимах: определение полной мощности с учетом соотношения активных сопротивлений силового четырехпроводного кабеля; минимизация мощности потерь и максимизация коэффициента мощности.

Научная новизна. Для оценки энергоэффективности трехфазной четырехпроводной системы электропитания предложен метод повышения КПД на основе использования параллельной активной фильтрации, что позволит повысить коэффициент мощности нагрузки с учетом собственных потерь фильтра.

Практическая значимость. Получены новые аналитические зависимости целесообразности применения параллельных активных силовых фильтров для повышения

энергоэффективности четыре ведущих систем электропитания. Эти соотношения дают возможность обосновать выбор элементной базы и частоты коммутации силовых инверторов параллельных активных силовых фильтров на стадии аванпроектирования.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, параллельный активный силовой фильтр, энергоэффективность.

ENERGY EFFICIENT OF SHUNT ACTIVE FILTER FOR THREE-PHASE POWER SYSTEM

ARTEMENKO M.Yu.^{*}, KAPLUN V.V.^{**}

^{*}*The National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

^{**}*Kyiv National University of Technologies and Design*

Purpose. Power factor improvement and the corresponding values of the efficiency index through shunt active filter for three-phase power system.

Methodology. Energy efficiency of the electrical engineering complex "shunt active filter - Cables for Power Systems" is estimated by ratio of Energy loss from inverters to power cables. It's proved the analytical usefulness of shunt active power filter in terms of energy efficiency.

Results. This paper surely contains solutions to extremal problems for parameters that determine the output performance of three-phase power system in the Nonsinusoidal Operation Modes: the full power of a ratio four-resistances of the power cable determination; power loss minimization and maximizing power factor.

Scientific novelty. For the first time the method for upgrades to improve efficiency through the use of shunt active filtering for energy efficiency estimation of three-phase four-wire system was proposed and it can improve the load power factor with account of filter's intrinsic losses.

Practical significance. The new analytical dependence applicability of shunt active filter for increasing energy efficiency of four-wire major power system was obtained. These correlation functions are capable to substantiate the selection of hardware components and switching frequency of power inverters for shunt active filters at design.

Key words: efficiency, power factor, shunt active filter, energy efficiency.

УДК 677.026.62

КИЗИМЧУК О.П., МЕЛЬНИК Л.М., ЄРМОЛЕНКО І.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН НА ЇХ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Мета. Визначення впливу технологічних можливостей сучасного плосков'язального обладнання на рівень споживання електроенергії.

Методика. Аналітичний огляд інформаційних ресурсів ведучих світових виробників плосков'язального обладнання.

Результати. Проведено систематизацію технологічних параметрів і конструктивних особливостей сучасного плосков'язального обладнання та у результаті порівняльного аналізу виявлено їх вплив на рівень енергоспоживання.

Наукова новизна. Встановлено залежність між енергоефективністю сучасних плосков'язальних машин та їх конструктивними особливостями і технологічними можливостями.

Практична значимість. Проведений аналіз технічних характеристик та технологічних можливостей сучасного плосков'язального обладнання є підґрунтям у виборі обладнання для виготовлення верхніх трикотажних виробів.

Ключові слова: плосков'язальна машина, технологічні можливості, клас машини, довжина голочниці, в'язальна система, енергоспоживання.

Вступ. На сьогодні відомо більше 350 типів в'язальних машин, які використовують для в'язання полотна та виробів різноманітного призначення. Існують в'язальні автомати та напівавтомати, а також в'язальні машини ручного керування. За способом в'язання їх ділять на поперечнов'язальні (кулірні), поздовжньов'язальні (основов'язальні) та діагональнов'язальні (круглі основов'язальні). За способом виготовлення виробів розрізняють машини для вироблення полотна, купонів та штучних виробів. За конструкцією голечниці маємо плоскі та круглі машини; за кількістю робочих голечниць – одно- та двофонтурні; з крючковими, язичковими і складеними голками, рухомими і нерухомими відносно голечниці. В'язальні машини є одно- та багатосистемними з системами як залежної, так і незалежної дії [1].

В деяких випадках доцільно розглядати в'язальні машини за профілем трикотажного виробництва: панчішно-шкарпеткові, білизняні, верхньо- трикотажні, рукавичні, штучного хутра. За конструктивними ознаками, які обумовлюють спеціалізацію виробництв, проф. В. М. Гарбарук [1] розділив усі машини на п'ять груп: круглов'язальні машини малого діаметру (панчішні автомати); круглов'язальні машини великого діаметру; плосков'язальні машини; катонні машини; основов'язальні машини. Кожна група в'язальних машин має свої характерні ознаки, переваги й недоліки і поділена на типи за такими додатковими конструктивними ознаками: кількість голечниць; вид голки; вид виготовляємих виробів.

Плосков'язальні машини представляють великий потенціал застосування у різних галузях виробництва, а саме при необхідності виготовляти деталі виробів складної форми з економією сировини, без відходів та подальших розкрійно-швейних операцій. Виготовлення деталі заданого контуру з закритими петлями особливо важливо при використанні в полотні додаткових ниток (наприклад, утокових), що попереджає їх проковзування в структурі трикотажу. Завдяки короткому часу перезаправки машини можливо економічно виготовляти

дрібні партії виробів, при цьому можливо комбінувати трикотажні переплетення, сировину в одному й тому ж трикотажному виробі [2].

Останніми роками у виробництві верхніх трикотажних виробів широкого розповсюдження набули плоскі в'язальні автомати з електронною системою керування робочими процесами. Повністю автоматизований цикл в'язання деталей та виробів робить це обладнання технологічним, мобільним, легким у керуванні, дозволяючи здійснювати зміну асортименту без зайвих витрат машинного часу. Ведучі машинобудівні фірми світу постійно удосконалюють обладнання за рахунок їх оснащення голками та платинами нової конструкції, механізмами подачі ниток та відтягування трикотажу, які дозволяють контролювати процеси петлетворення та виробляти продукцію високої якості.

З часу свого створення плосков'язальні машини мали безліч конструктивних змін та набули різноманітних технологічних можливостей, що дозволяє їм залишатись одним з найрозповсюдженішим видом обладнання. Світовий ринок представлений плосков'язальними машинами фірм: «Stoll» (Німеччина) [3], «Shima seiki» (Японія) [4], «Protti» [5], «Steiger» (Швейцарія-Італія) [6], а також рядом машин китайських виробників.

Постановка завдання. Головна мета роботи полягає у встановленні взаємозв'язку між технологічними можливостями сучасного плосков'язального обладнання та їх енергоспоживанням. У відповідності до мети було сформовано головне завдання: вивчення технічних характеристик та технологічних можливостей сучасного плосков'язального обладнання ведучих фірм-виробників.

Результати дослідження. Всі промислові плосков'язальні машини мають 2 плоскі голечниці, рухому каретку з замковими системами, що має зворотно-поступальний рух, нитководії. Відмінністю сучасних плосков'язальних машин, що підвищує їх продуктивність та скорочує час виготовлення деталі виробу, є застосування двох кареток на одній машині та 2, 3 систем на одній каретці. При цьому каретки можуть працювати в тандемі, тобто в'язати 2 деталі окремо, або працювати разом при виготовленні однієї деталі. Для підвищення продуктивності машин виробниками застосовуються системи, що зменшують холостий хід каретки та час реверсу. Це особливо важливо при в'язанні деталей з великою кількістю коротких ходів. Сучасні плосков'язальні машини здатні виготовляти майже всі відомі переплетення в автоматичному режимі: ажурні, пресові, жакардові, інтарсію, тощо.

На сьогоднішній день трикотажні виробництва України обладнані переважно машинами провідних виробників плосков'язального обладнання: фірм «Stoll» (Німеччина) та «Shima seiki» (Японія), які виготовляють сучасні в'язальні автомати з комп'ютерним керуванням. Отже, подальший аналіз технологічних можливостей і конструктивних особливостей проводимо саме для цього обладнання.

Обладнання фірми «Stoll» [3] може бути поділено на декілька серій (табл. 1): *ADF*, *Performer* та *knit&wear*.

Серія ADF – ідеальна при в'язанні малих партій виробів і виробів по контуру при швидкій зміні моделей, тобто максимально гнучка і економічна саме для таких умов. Машини даної серії оснащені однією кареткою з трьома системами, голочницею 127 см. Споживання електроенергії машинами *серії ADF* становить 2,3 кВт.

Серія Performer - максимально ефективна при в'язанні по контуру, а також для в'язання виробів малої щільності (машина *CMS 520 C+ multi gauge*). Машина *CMS 502 HP*

випускається високих класів (7, 12, 14, 16, 18), що дозволяє виготовлення найтонших виробів.

В даній серії розрізняють машини з малою довжиною голочниці (*Compact клас*) – 114 см, з середньою довжиною голочниці (*Basic клас*) – 127 см та з великою довжиною голочниці (*Long клас*) – 213 см та 244 см.

Машини цієї серії випускаються у варіанті *multi gauge*, тобто машина може переробляти пряжу різної лінійної густини та в'язати вироби різної товщини без зміни голок.

Споживання електроенергії збільшується при збільшенні довжини голочниці з 1,7 кВт (*Compact клас*) до 2,0-2,3 кВт (*Basic клас*) та 3,0 кВт (*Long клас*), при чому на машинах (*CMS 822 HP multi gauge (B)*, *CMS 933 HP*, *CMS 933 HP multi gauge (B)*) з найбільшим енергоспоживанням встановлено по дві каретки з двома або трьома система на кожній та передбачено їх роботу в тандемі, тобто одночасне в'язання двох виробів на одній голочниці. Довжини голочниць таких машин становлять 213 см та 244 см, або відповідно 107 см x 2 та 117 см x 2.

Seria knit&wear – машини для безшовної технології, які дозволяють одержати відразу готовий виріб, що потребує ВТО, без застосування додаткових швейних операцій. Але вартість таких машин вище, ніж моделей інших серій.

Машини *серії knit&wear* оснащені трьома системами на одній каретці та голочницями від 127 до 218 см, при цьому споживання електроенергії становить всього 2,3 кВт. Виключенням є машина *CMS 822 C knit&wear*, яка оснащена двома каретками по три системи на кожній, які працюють у тандемі. Така машина споживає 2,6 кВт.

Майже на всіх моделях *серії Performer* та *knit&wear* є можливість в'язання інтарзії.

Вибір машин в основному визначається асортиментами й обсягом виробництва. Для виробництва шапок і шарфів краще підходять вузькі (127 см) машини. Для виробництва светрів, кофт, жакетів краще використовувати широкі (183 см і більше) машини. Це дозволяє досягти максимальної продуктивності (однак тільки при в'язанні великої кількості виробів однієї моделі); на практиці, з частою зміною моделей, продуктивність в порівнянні з машинами *Compact клас* менша.

Отже, чим менша голочниця машини, тим обладнання буде енергоефективним (потужністю 2,3 кВт), однак при великих обсягах виробництва з нерегулярною зміною асортименту доцільніше використовувати обладнання *Long клас* (потужністю 3,0 кВт), адже на ньому можливе одночасне виготовлення двох виробів.

Плосков'язальне обладнання фірми «*Shima seiki*» [4] поділяється (табл. 2) на машини *серії Computerized* та машини *серії Wholegarment*, які працюють за безшовною технологією – в'язання готового виробу в автоматичному режимі без подальших операцій пошиву.

На машинах фірми «*Shima seiki*» впроваджено технологію прискореного повернення каретки *R2CARRIAGE*, що дозволило добитися безпрецедентно високої швидкості в'язання – 1,6 м/с. Це забезпечило збільшення продуктивності більш ніж на 10%. Більш компактна каретка потребує менше місця і часу на розворот, набір робочої швидкості і повернення, тому час, що витрачається на в'язання, скорочується, і відповідно збільшується продуктивність.

Таблиця 1.

Технічні характеристики плосков'язальних машин фірми «Stoll»

Модель	Клас машини	К-ть кареток х к-ть систем	Довжина голочниці, см		К-ть нитко-водіїв	Потужність, кВт	Примітка
			макси-мальна	при роботі окремо			
1	2	3	4	5	6	7	8
Серія ADF							
CMC ADF 16 (B, W, BW)	5-18 2,5.2-8.2	1×3	127	-	16	2,3	-
CMC ADF 32 (B, W, BW)	10-18 6.2-8.2	1×3	127	-	32	2,3	-
Серія Performer							
CMS 502 HP+ (B)	7-18	1×2	114	-	10	1,7	-
CMS 502 HP+ multi gauge (B)	2,5.2-8.2						
CMS 520 C+ multi gauge	1,5.2-2.2	1×2	127	-	12	2,0	можливість в'язання інтарзії
CMS 530 HP (B)	5-18	1×3	127	-	12	2,3	можливість в'язання інтарзії
CMS 530 HP multi gauge (B)	2,5.2-8.2						
CMS 530 MT (B)	7-14	1×3	127	-	12	2,3	можливість в'язання інтарзії
CMS 530 MT multi gauge (B)	7.2						
CMS 822 HP	5-18	2×2	213	107 ×2	16	2,6	можливість в'язання інтарзії
CMS 822 HP multi gauge (B)	2,5.2-8.2						
CMS 933 HP	5-16	2×3	244	117 ×2	16	3,0	можливість в'язання інтарзії
CMS 933 HP multi gauge (B)	3,5.2-8.2						
Серія knit&wear							
CMS 530 HP knit&wear	2,5.2-7.2	1×3	127	-	12	2,3	можливість в'язання інтарзії
CMS 730 knit&wear	6.2 7.2	1×3	183	-	16	2,3	можливість в'язання інтарзії
CMS 803 HP knit&wear	3,5.2 7.2	1×3	213	-	12	2,3	-
CMS 822 C knit&wear	2,5.2-7.2	2×3	213	107×2	16	2,6	можливість в'язання інтарзії
CMS 830 S knit&wear	3,5.2 7.2 9.2	1×3	218	-	16	2,3	-
CMS 830 C knit&wear	2,5.2	1 ×3	213	-	16	2,3	можливість в'язання інтарзії

Таблиця 2

Технічні характеристики плосков'язальних машин фірми «Shima seiki»

Модель		Клас машини	К-ть кареток х к-ть систем	Довжина голочниці, см		К-ть нитководіїв	Потужність, кВт	Примітка
				максимальна	при роботі окремо			
1		2	3	4	5	6	7	8
Серія Computerized								
MSIR123	SV	12, 14, 16	1×3	122	-	33 (макс. 40)	2,2 (0,8~1,4)	можливість в'язання інтарзії
	SC	12, 14, 16, 18						
SIR122	SV	5, 7, 12, 14	1×2	122	-	9	2,0 (0,7~1,4)	можливість в'язання інтарзії
	SC	7, 12, 14, 16, 18						
SIR123	SV	7, 12, 14	1×3	122	-	23 (макс. 30)	2,2	можливість в'язання інтарзії
	SC	7, 12, 14, 16, 18						
SRY123LP	SV	7, 12, 14	1×3	122	-	23 (макс. 30)	2,2 (1,0~1,4)	можливість в'язання інтарзії
	SC	10, 16						
SVR122	SV	5, 7, 12, 14	1×2	122	-	9 (5-7 клас) 7 (12-18 клас)	1,8 (0,5~1,2)	-
	SC	7, 12, 14, 16, 18						
SSR122	SV	7, 12, 14	1×2	114	-	7	1,6 (0,5~1,0)	-
	SC	7, 12, 14, 16						
SSG202SV		7, 12, 14	2×1	203	94 × 2	12	2,0	-
SSG202SC		7, 8, 10, 12, 14, 16						
SSG234SV		7, 12, 14	1×2	229	107 × 2	18	3,2	
SSG234SC		7, 8, 10, 12, 14, 16						
SSG236SV		7, 12, 14	2×3				3,5	
SSG236SC		7, 8, 10, 12, 14, 16						
SSG236FC		16, 18						
SCG122SN		3, 4	1×3	121	-	9	2,0	
NSES122CS		3, 4, 5	1×3	122	-	9	2,0	-
L122		10, 12	1×3	122	-	12	3,0	можливість в'язання інтарзії
SFF131-S		12, 14, 16	1×1	132	-	4	1,0	-
SFF152-T		7, 8, 10, 12, 14, 16, 18	2×1	152	69 × 2	8	1,2	
SFF153-S		12, 14, 16, 18, 20, 22	1×3	152	-	11		

Продовження табл. 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
Серія Wholegarment							
M103XS	8, 12, 15	1×3	100	-	12	3,2 (1,5~2,2)	наявність на машині 2 додаткових голочниць
M123XS			125	-			
M153XS			150	-			
M123X	8, 15, 18	1×3	125	-	12	3,0	наявність на машині 2 додаткових голочниць
M153X			150	-			
M173X	5, 8, 15		170	-			
M183S	8·10·12·14·16	1×3	183	-	13	2,2	
SWG021N2	7, 10, 13, 15, 18	1×1	25	-	8	1,1	
SWG041N2			40	-		1,3	
SWG061N2			60	-	10	1,4	
SWG091N2			90	-			
F124	18, 21	1×4	125	-	12	3, 0	
F154			150	-			



Рис. 1. Інтерзійонні нитководії

В'язальні машини моделей MSIR123, SIR122, SIR123, SRY123LP при споживчій потужності 2,0-2,2 кВа, дозволяють створювати інтарзійонні полотна підвищеної складності. На заводі машина комплектується 23 або 33 інтарзійонним нитководієм, але при бажанні можна збільшити цю кількість до 30 або 40, відповідно. Модернізація конструкції нитководіїв дозволила зробити їх розміри більш компактними і на малій ширині в'язання (122 см) розміщувати велику їх кількість (рис. 1).

На сьогодні фірмою «Shima seiki» представлено нову розробку – голки спеціальної конструкції Slide Needle, які дозволяють здійснювати перенесення петель на слайдер, який складається з двох гнучких прутиків, що висунуваються за кінець голки. Завдяки цьому легше виконуються складні переноси петель при в'язанні, зменшується ефект «затиску», досягається максимальна симетрія петель і висока якість петельної структури трикотажу. Застосування голок Slide Needle на машинах моделей SCG122SN, L122 та майже на всіх

моделях серії *Wholegarment* дозволило зменшити розміри каретки та голочниці, а також значно підвищити якість трикотажу з пряжі низької лінійної густини.



Рис. 2. Трикотаж, виготовлений за технологією *WideGauge*

На машинах основної серії моделей *MSIR123*, *SIR123*, *SRY123LP*, *SIR122*, *SVR122*, *SSR122* можливо в'язати вироби за технологією *WideGauge* (рис.2). Це дозволяє значно економити на обладнанні завдяки електронним датчикам, здатним налаштовуватися на різну густину пряжі, не вдаючись до складних і трудомістких операцій калібрування. *WideGauge* дає можливість виробникам слідувати модним тенденціям і в'язати трикотаж з різних видів пряжі залежно від сезону на одній в'язальній машині. Можливий широкий асортимент продукції від в'язання трикотажу з нитки високої лінійної густини з використанням всіх видів голок до в'язання трикотажу малої щільності, використовуючи пряжу низької лінійної густини при в'язанні через одну голку. При роботі машини за цією технологією її споживча потужність складає від 1,6 кВА до 2,2 кВА. Машини оснащені однією кареткою з двома або трьома системами та довжиною голочниці 122 см, а на машині моделі *SSR122* 114 см.

Машини основної серії моделей *SSG* оснащені голочницями зі збільшеною довжиною (203 см та 229 см), які можуть працювати в тандемі, для виготовлення одночасно декількох виробів. Максимальне споживання електричної енергії (3,5 кВа) спостерігається у моделей *SSG236SV* (C, FC), які оснащені двома каретками по три системи.

Наявність примусової подачі ниток дозволяє подавати сировину з необхідним натягом, особливо при переробці еластомерних ниток, ступінь деформації яких визначає властивості отриманого трикотажу. Для високої надійності роботи устаткування використовується активний затискач нитки, компенсатор. Постійний контроль всіх нитководів виключає можливість їх зіткнення.

Упродовж багатьох років компанія «*Shima seiki*» займається розробками обладнання для в'язання трикотажу з пряжі різної лінійної густини - від найтоншої до грубої. В'язальні машини моделей *SCG 122SN* та *NSES122C* (3, 4, 5 класи) дозволяють в'язати трикотажні полотна і вироби з пряжі високої лінійної густини. Машини мають підвищену продуктивність і вдало замінюють ручне в'язання з товстої пряжі професійним машинним в'язанням. Конструкція в'язальної машини *SCG 122SN* оснащена новою системою *Slide Needle*, завдяки якій можна виробляти високоякісний трикотаж приємної текстури з найгрубішої пряжі. При ширині голочниці 122 см та одній каретці з трьома системами машини споживають 2,0 кВа.



Рис. 3. Подвійний механізм зсуву голочниць

Ще однією особливістю вказаних плосков'язальних машин є подвійний механізм зсуву (рис. 3), за допомогою якого здійснюється зсув обох голочниць одночасно в протилежних напрямках, що дозволяє зменшити розміри в'язальної машини і забезпечити більш стабільну її роботу. При довжині голочниці 122 см машина споживає 2,0 кВт.

Особливістю машин серії *Wholegarment* (моделей *M*) є наявність чотирьох голочниць по 100 (125, 150, 170) см, дві з яких встановлені над звичайними голочницями, що дозволяє виготовити суцільнов'язані вироби справді унікального дизайну. Дані машини випускаються у 8, 12, 15, 18 класах і є єдиними в світі, здатними виробляти суцільнов'язані вироби ластичним переплетеннями з тонкої пряжі високої лінійної густини, споживаючи при цьому 3,0-3,2 кВт.

Машини моделі *SWG* мають найменші з лінійки «*Shima seiki*» довжини голочниць (25 см, 40 см, 60 см, 90 см), одну каретку з однією системою та споживають 1,1-1,4 кВт. На обладнанні фірми «*Shima seiki*» спостерігається залежність: чим менша довжина голочниці та кількість кареток і систем, тим менше споживання електричної енергії машиною. Енергоспоживання збільшується зі збільшенням довжини голочниці та розширенням візерункових можливостей (наявність двох кареток з двома або трьома системами, можливість в'язання інтарзії, оснащення чотирма голочницями, тощо).

В загальному можна стверджувати, що обладнання фірми «*Shima seiki*» дозволяє зменшити енергоспоживання у порівнянні з обладнанням фірми «*Stoll*» при подібних технологічних можливостях.

Висновки. Аналіз конструктивних особливостей плосков'язального устаткування показав, що основні технічні зміни спрямовані на розширення технологічних можливостей та підвищення продуктивності обладнання. Напрямами розвитку технологічних можливостей є розширення візерункових можливостей устаткування та застосування технології в'язання деталей виробу по контуру або виготовлення суцільнов'язаного виробу. Основним напрямом підвищення продуктивності є використання голочниць різної довжини, декількох кареток, декількох систем, робота кареток та голочниць в тандемі, удосконалення систем ниткоподачі та відтягування трикотажу. На сучасному етапі вказані процеси є автоматизованими. При цьому технічні характеристики обладнання свідчать про те, що автоматизація обладнання та збільшення технологічних можливостей візерункотворення призводить до збільшення енергоспоживання, що необхідно враховувати при виборі обладнання.

Список використаних джерел

1. Мойсеєнко Ф.А. Проектування в'язальних машин / Ф.А. Мойсеєнко. – Х. : Основа, 1994. – 336 с.
2. Мельник Л.М. Сучасні напрямки розвитку плосков'язального устаткування / Л.М. Мельник, О.П. Кизимчук // тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність». - Херсон, 2015. – С. 30-31.
3. Офіційний сайт фірми «Stoll» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.stoll.com/stoll-produkte/2_1.
4. Офіційний сайт фірми «Shima seiki» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.shimaseiki.com/product/knit/>.
5. Офіційний сайт фірми «Protti» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.protti.it/ENG/PRODOTTI/productx.htm>.
6. Офіційний сайт фірми «Steiger» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.steiger-textil.ch/>.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ПЛОСКОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН НА ИХ ЭНЕРГИЮ

КИЗИМЧУК Е.П., МЕЛЬНИК Л.М., ЕРМОЛЕНКО И.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение влияния технологических возможностей современного плосковязального оборудования на уровень потребления электроэнергии.

Методика. Аналитический обзор информационных ресурсов ведущих мировых производителей плосковязального оборудования.

Результаты. Проведена систематизация технологических параметров и конструктивных особенностей современного плосковязального оборудования и в результате сравнительного анализа выявлено их влияние на уровень энергопотребления.

Научная новизна. Установлена зависимость между энергоэффективностью современных плосковязальных машин и их конструктивными особенностями и технологическими возможностями.

Практическая значимость. Проведенный анализ технических характеристик и технологических возможностей современного плосковязального оборудования является основой при выборе оборудования для изготовления верхних трикотажных изделий.

Ключевые слова: *плосковязальная машина, технологические возможности, класс машины, длина игольницы, вязальная система, энергопотребление.*

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF MODERN FLAT KNITTING MACHINES ON THEIR ENERGY

KYZYMCHUK O.P., MELNYK L.M., YERMOLENKO I.V.

Kiev National University of Technologies and Design

Purpose. Is to determinate the influence of the technological capabilities of modern flat knitting equipment on the level of electricity consumption.

Methodology. The analytical review of the information sources of the world's leading manufacturers of flat knitting equipment have been conducted.

Results. The systematization of process' parameters and design features of modern flat knitting equipment were reviewed and, as result of comparative analyses their influence on energy consumption were identified.

Practical value. The analysis of technical characteristics and technological capabilities of modern flat knitting equipment is the basis for the equipment selection for the knitted garments manufacture that presented in the article.

Key words: *flat knitting machine, technological capabilities, gauge, length of needle bed, knitting system, performance of the equipment, energy consumption.*

УДК[536.24+532.55]:697.971

ЛИСАК О.В.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ОБІГРІВАЧІВ

Мета. Представити дані по характеристикам тепловіддачі каналів електротеплоакумулюючих обігрівачів (ЕО) в залежності від температури теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ).

Методика. Моделювання було виконано для каналів статичних та динамічних ЕО при значеннях температури ТАМ 100, 300 та 600 °С та температури навколишнього повітря 20 °С.

Результати. Отримані результати показують, що зміна тепловіддачі в залежності від температури ТАМ має порівняно лінійний характер в діапазоні 100...300°С. За значення температури ТАМ 100 °С тепловіддача різних по глибині каналів статичних ЕО є практично однаковою, але за температури ТАМ 600 °С вона суттєво відрізняється для каналів глибиною 10 та 15 мм. Тепловіддача каналів динамічних ЕО залежить від витрати повітря в них та за прийнятої конфігурації цеглин більш ніж вдвічі перевищує тепловіддачу каналів статичних ЕО за температури ТАМ 100°С.

Наукова новизна. Продемонстровано характер тепловіддачі каналів ЕО, для каналів динамічних ЕО наведено значення втрат тиску.

Практична значимість. Представлені дані можуть слугувати для обґрунтування принципів конструювання ЕО та вибору типу ЕО в залежності від необхідного значення теплового потоку приладу до приміщення.

Ключові слова: акумуляційні системи опалення, теплоакумулюючі електропечі, електротеплоакумулюючі електропечі, теплонакопичувач, теплообмін.

Вступ. Зараз в Україні актуальною задачею є впровадження систем опалення, які б не використовували імпортовані енергоресурси та були дешевшими за традиційні системи опалення з використанням газу чи вугілля. Одним з можливих рішень цієї задачі є перехід на системи електричного теплоакумуляційного опалення. В даній роботі розглядається один з різновидів цих систем: електротеплоакумулюючі обігрівачі (ЕО), також відомі як теплонакопичувачі та теплоакумулюючі електропечі [1].

Принцип роботи таких приладів наступний: в години дії пільгового тарифу на електроенергію ЕО споживає її для розігріву теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ). Як правило, для цього використовують вбудовані в об'єм ТАМ електричні нагрівачі. ТАМ утворюють з викладених в спеціальному порядку цеглин зі стійкого до високих температур матеріалу, здатного накопичувати значну кількість теплової енергії. Регулювання тепловіддачі приладів здійснюється шляхом зміни кількості повітря, що проходить по каналах, утворених кладкою цегли, в об'ємі ТАМ [2]. Розігріте повітря може додаткового змішуватись з зовнішнім для того, аби температура утвореної суміші на виході з приладу не перевищувала встановлене санітарно-гігієнічними нормами значення. Одночасно здійснюється й тепловіддача від зовнішніх поверхонь приладу. По завершенню періоду дії пільгового тарифу й до початку наступного його періоду тепловіддача від приладу забезпечується шляхом використання акумульованої в ТАМ теплоти.

Конструкції ЕО по регулюванню тепловіддачі поділяються на два типи. Якщо повітря проходить через канали в об'ємі ТАМ внаслідок природньої конвекції, то такі ЕО називають

статичними, якщо рух повітря забезпечує вентилятор – то динамічними [1]. Типові рішення з конфігурації каналів цих моделей наведено в [3].

Оскільки широкого вжитку набули саме моделі ЕО, що здатні регулювати тепловий потік, виникає потреба в оцінці характеристики тепловіддачі від цих приладів. На початку розвитку технології ЕО, їх конструктивні характеристики обирались емпірично [4,5] і сучасні конструкції ЕО відповідають практиці, що склалась на основі багаторічного досвіду. Враховуючи, що останнім часом відбуваються помітні зміни умов, за яких працюють ЕО, – зменшуються допустимі тепловтрати будівель; підвищується термальна маса будівельних конструкцій; використовується додаткова «зарядка» приладу поза межами дії пільгового тарифу – виникає потреба в модернізації традиційних конструкцій ЕО.

Мета. На прикладі типових конструктивних рішень каналів ЕО визначити тепловіддачу від них, а у випадку динамічних ЕО – додатково оцінити втрати тиску при проходженні повітрям каналів. Оскільки в цій роботі увага зосереджена на отриманні ідеалізованих значень тепловіддачі каналів та втрат тиску в них, при моделюванні руху повітря в кладці цегли досліджуваних конструкцій знехтувано наявністю в каналах ЕО монтажних кріплень та електричних нагрівачів, так само як і наявністю інших конструктивних елементів. Також прийнято припущення про відсутність нерівномірності розподілення температури в об'ємі ТАМ. У стінок каналу температура співпадатиме з температурою ТАМ $t_w = t_{ТАМ}$.

Врахування цих та інших факторів, що можуть вплинути на тепловіддачу та втрати тиску в каналах ЕО, буде виконано в подальших роботах. А отримані моделюванням значення будуть слугувати базисом для попереднього конструктивного розрахунку приладу з уточненням його теплових та аеродинамічних характеристик в залежності від прийнятих проектних рішень.

Постановка задачі. Приймаємо температуру повітря, яке надходить до каналів, $t_{пов} = 20^\circ\text{C}$. Оскільки в літературі розглядають перепад температури ТАМ в ЕО від 600°C до 100°C [6,7], проаналізуємо тепловіддачу при температурі ТАМ $t_{ТАМ} = 100, 300$ та 600°C .

Моделювання тепловіддачі та втрат тиску здійснювалось в CFD-програмі (OpenFOAM). Прийнята для аналізу модель розрахунків враховує лише конвективну тепловіддачу від каналів. Це обумовлено тим, що в даному моделюванні температура ТАМ є однаковою для всього об'єму ТАМ і променевий теплообмін між його складовими в такому випадку буде відсутнім. Оскільки при аналізі розглядається лише сухе повітря, яке не містить часток вологи чи пилу, променевий теплообмін між повітрям та поверхнями ТАМ також буде відсутнім. Параметри повітря прийняті з [8]. В подальших моделюваннях буде оцінено вплив променевого теплообміну на тепловіддачу від каналів ЕО.

Виробництво статичних та динамічних ЕО виконується на одних й тих самих підприємствах, тому для уніфікації технологічного процесу потрібно використання однотипних конструкцій. Зокрема це стосується висоти кладки ТАМ, яка в усіх розглянутих випадках складатиме $H_{ТАМ} = 420$ мм. Блок ТАМ, як правило, утворюється з декількох однотипних та повторюваних кладок цеглин як по висоті, так і ширині. Найменший однотипний елемент кладки цеглин будемо називати «комплектom». Набір «комплектів» по висоті блоку ТАМ будемо називати «секцією». Згідно обраної потужності ЕО визначається кількість встановлених поруч одна з одною (по ширині приладу) секцій.

Виконаємо моделювання тепловіддачі від однієї секції ЕО. Для порівняння регульованої тепловіддачі від секцій різної ширини та за різної кількості застосованих секцій n використаємо характеристику $q_{\text{тепл}}$, Вт/м, що показує відношення прийнятої тепловіддачі однієї секції $Q_{\text{сек}}$, Вт, до заданої ширини цієї секції B , мм:

$$q_{\text{тепл}} = K_n \cdot (Q_{\text{сек}}/B), \quad (1)$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує зміну питомої тепловіддачі за кількості секцій n .

Моделювання тепловіддачі каналу статичного ЕО. Кладку цеглин статичного ЕО виконують таки чином, щоб утворювався вертикальний канал для руху повітря. Як правило, це прямокутні у горизонтальному перерізі канали, які характеризуються співвідношенням сторін $S \times W$, де S – глибина каналу, мм; а W – ширина каналу, мм. В якості типового каналу приймаємо канал зі сторонами $S = 10$ мм та $W = 170$ мм. Висоту каналів приймаємо $H_{\text{кан}} = H_{\text{там}} = 420$ мм. Ширину секції B приймаємо такою ж, як ширину цеглини. Як правило, ширина цеглини не надто перевищує значення ширини каналу і в цій роботі приймаємо $B = W + 20$ мм.

Приклади розрахунку тепловіддачі для подібних каналів наведені в [9–13]. Якщо розглядати канал, як дві паралельні пластини, то суттєво на значення тепловіддачі впливатиме лише значення глибини (прийнятої як відстань між пластинами). Тому проаналізуємо тепловіддачу від каналу за зростання глибини каналу в півтора ($S = 15$ мм) та два рази ($S = 20$ мм).

Важливу роль в моделюванні відіграє й те, які саме значення властивостей повітря будуть використані. Як правило, це стосується наступних параметрів: коефіцієнту об'ємного розширення β , K^{-1} ; коефіцієнту кінематичної в'язкості ν , $\text{м}^2/\text{с}$; коефіцієнту теплопровідності λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; та числа Прандтля Pr . В залежності від джерела їх рекомендують вводити в розрахунок опираючись на відомі значення: 1) температури навколишнього повітря $t_{\text{пов}}$, 2) середнього значення між температурою повітря та температурою стінки $t_f = 0,5 \cdot (t_w + t_{\text{пов}})$ та 3) температури стінки t_w (окрім β).

Методику розрахунку тепловіддачі від каналів приймаємо згідно [13]. Значення β буде визначатись за температури навколишнього повітря $T_{\text{пов}}$, К:

$$\beta = 1/T_{\text{пов}}. \quad (2)$$

Інші параметри повітря визначаємо наступним чином: за $t_w = 100$ °С приймаємо їх за температури t_f , а для випадків 300 та 600 °С – за температури t_w .

Характерний розмір для розрахунку тепловіддачі r , м, визначаємо як [13]:

$$r = (2 \cdot A)/\Pi, \quad (3)$$

де A – площа поперечного перерізу каналу, м^2 ;

Π – периметр каналу, м.

Для розглянутого випадку прямокутного каналу A складає:

$$A = S \cdot W, \quad (4)$$

а Π складає:

$$\Pi = 2 \cdot (S + W). \quad (5)$$

Якщо W є значно більшим за S , то розраховуємо ці канали як паралельні за $r = S$.

Тепер визначаємо число Релея Ra :

$$Ra = (\beta \cdot g \cdot (t_w - t_0) \cdot r^3 \cdot Pr) / \nu^2 \quad (6)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

В подальших розрахунках використовується модифіковане число Релея Ra_{mod} :

$$Ra_{\text{mod}} = Ra \cdot (r/H). \quad (7)$$

Числа Нуссельта Nu визначаємо як:

$$Nu = \left[\left(\frac{Ra_{\text{mod}}}{f \cdot Re} \right)^m + \left(D \cdot C_l \cdot Ra_{\text{mod}}^{1/4} \right)^m \right]^{1/m} \quad Ra_{\text{mod}} \leq 10^5 \quad m = -1.5, \quad (8)$$

де $f \cdot Re$ – коригуючий коефіцієнт, що приймається в залежності від форми каналу [14];

D – коригуючий параметр, для повітря $D = 1,2$;

C_l – коригуючий коефіцієнт, що визначає вплив значення Pr на тепловіддачу:

$$C_l = 0,671 / \left(1 + (0,492/Pr)^{9/16} \right)^{4/9}. \quad (9)$$

Використаємо надану в [11] апроксимацію для розрахунку $f \cdot Re$ для каналів за співвідношення $G = (S/W)$:

$$f \cdot Re = 24 \cdot (1 - 1,3553 \cdot G + 1,9467 \cdot G^2 - 1,7012 \cdot G^3 + 0,9564 \cdot G^4 - 0,2537 \cdot G^5). \quad (10)$$

Далі визначаємо середнє значення тепловіддачі від стінок каналу $\bar{\alpha}$, Вт/(м²·К):

$$\bar{\alpha} = (Nu \cdot \lambda) / r, \quad (11)$$

та площу стінок каналу як F , м²:

$$F = H_{\text{кан}} \cdot \Pi. \quad (12)$$

Таким чином тепловіддача каналу $Q_{\text{кан}}$, Вт, а відповідно й секції $Q_{\text{сек}}$, (оскільки за прийнятої конструкції використовується лише один канал на секцію) матиме вигляд:

$$Q_{\text{сек}} = Q_{\text{кан}} = \bar{\alpha} \cdot F \cdot (t_w - t_{\text{пов}}). \quad (13)$$

В даних розрахунках виконаємо спрощення, яке пов'язано з тим, що тепловіддачу буде розраховано як для двох паралельних каналів. Тобто, $r = S$ та $F = 2 \cdot H_{\text{кан}} \cdot W$. Схожий результат забезпечує моделювання тепловіддачі в CFD-програмі, що й показано на рис. 1. За $t_w = 100^\circ\text{C}$ тепловіддача різних по глибині каналів статичних ЕО є практично однаковою. За $t_w = 600^\circ\text{C}$ тепловіддача суттєво відрізняється для каналів глибиною 10 та 15 мм, але відмінність значень для каналів глибиною 15 та 20 мм є вже не такою суттєвою. В діапазоні $t_w = 100 \dots 300^\circ\text{C}$ зміна тепловіддачі від однієї секції має практично лінійний характер. Наведений розрахунок демонструє, що підвищення тепловіддачі за рахунок збільшення глибин каналу є несуттєвим за $t_w = 100^\circ\text{C}$, але з наближенням температури ТАМ до 600°C збільшення глибини каналу з 10 до 15 мм буде призводити до значного підвищення тепловіддачі – що потребуватиме більшої кількості обвідного повітря для підтримання допустимої санітарними нормами верхньої граничної температури повітря на виході з ЕО та зробить регулювання роботи приладу менш плавним.

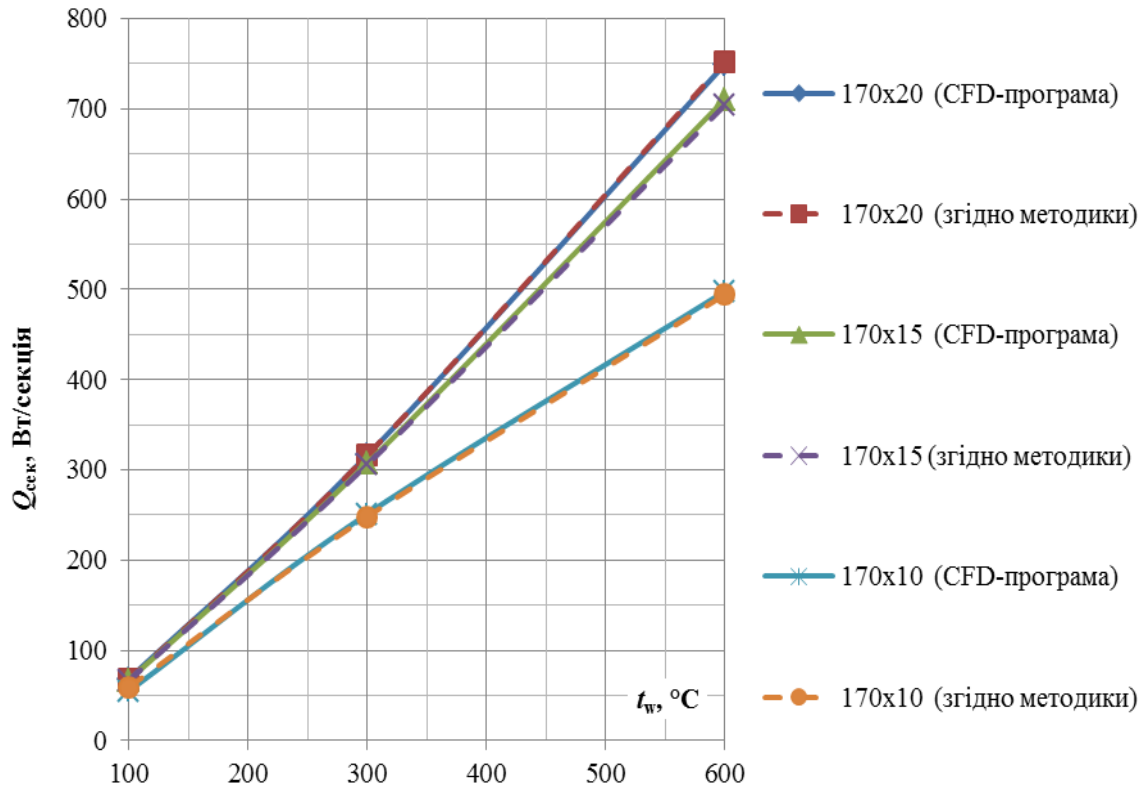


Рис 1. Тепловіддача секції статичних ЕО різної форми в залежності від температури стінки t_w

Модельовання тепловіддачі та втрат тиску для каналу динамічного ЕО. Схеми конфігурації цегли (спрощені за нехтування монтажними елементами і електричними нагрівачами) та характеристики руху повітря в каналах показані на рис.2. Комплект кладки розглянутої конфігурації динамічного ЕО складається з двох цеглин, а секція – з трьох таких комплектів ($n_{\text{компл}} = 3$).

Змодельуємо тепловіддачу та втрати тиску повітря для однієї секції динамічного ЕО. Приймаємо витрату повітря $L_{\text{сек}}$, $\text{м}^3/\text{год}$, на кожну секцію 5, 10 та $15 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{секція})$. Тепловіддачу визначимо за температур ТАМ, прийнятих згідно моделювання (рис. 3). Одночасно з тепловіддачею за тих самих умов визначено й втрати тиску Δp , Па, при проходженні повітрям цих каналів (рис. 4).

В розглянутих каналах рух повітря є дуже нерівномірним і використання відомих залежностей для визначення тепловіддачі за розвиненого потоку та простої конфігурації каналу є неможливим. Тому на даному етапі обмежимося моделюванням в CFD-програмі.

Аналіз даних проведеного моделювання вказує на лінійну залежність тепловіддачі в діапазоні температур ТАМ $100 \dots 300 ^\circ\text{C}$, як і для випадку каналів статичного ЕО. Тепловіддача та втрати тиску за обох моделювань були схожими, а різницю їх значень можна віднести до фактору наближеності моделювання.

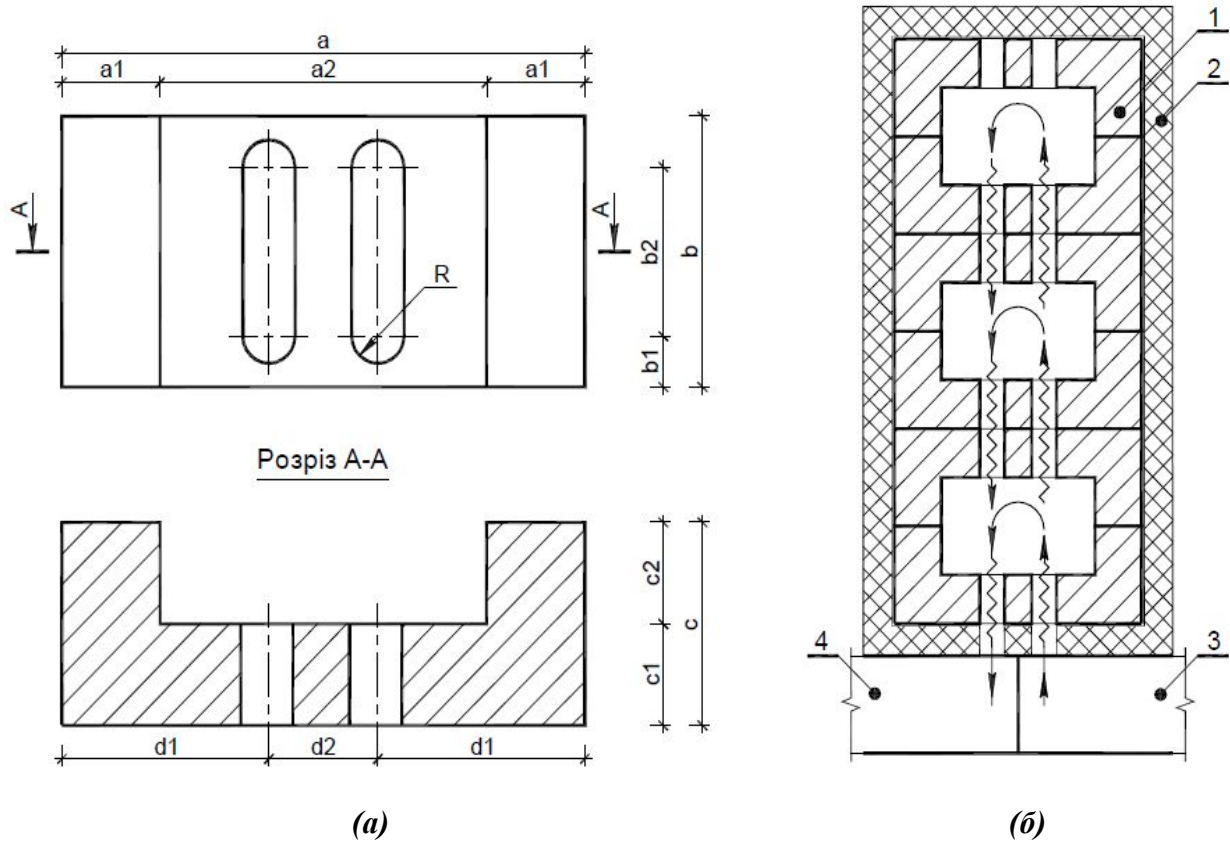


Рис 2. Елементи конструкції блоку ТАМ динамічного ЕО: (а) цегла, (б) секція:

1 – цегла ТАМ; 2 – теплова ізоляція; 3 – подача повітря до блоку ТАМ; 4 – вихід повітря з блоку ТАМ.

Примітка: значення розмірів цеглини наведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Розміри динамічної цегли

Розмір	a	a1	a2	b	b1	b2	c	c1	c2	d1	d2	R
Значення, мм	178	27	124	182	50	82	70	60	10	54	70	9

Моделювання тепловіддачі каналу динамічного ЕО у статичному режимі. В [15] була запропонована схема роботи динамічного ЕО у статичному режимі. Використовуючи наведену конфігурацію цеглин динамічного ЕО (рис. 2), визначимо тепловіддачу від цих каналів в статичному режимі.

Методику розрахунку приймаємо такою ж, що й за моделювання тепловіддачі каналів статичного ЕО. Наближено, нехтуючи заокругленістю каналів, визначаємо тепловіддачу вважаючи канал прямокутним зі співвідношенням сторін $W \times (2R)$. Оскільки між каналами окремих цеглин існують прогалини, висоту повітряного каналу секції приймаємо як $H_{\text{кан}} = H_{\text{ТАМ}} - 2 \cdot c2 \cdot n_{\text{компл}}$. Співвідношення сторін даного каналу наближено приймаємо як $W/(2R) = 4$ і, відповідно, згідно [11] отримуємо $fRe = 18,70$.

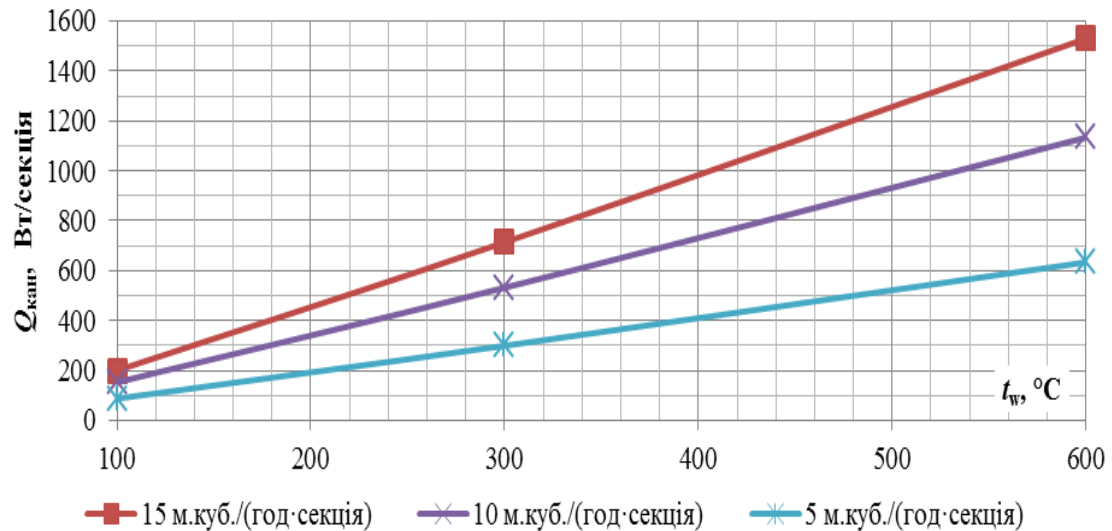


Рис 3. Тепловіддача секції динамічного ЕО в залежності від температури стінки t_w та кількості повітря L , що підводиться до секції

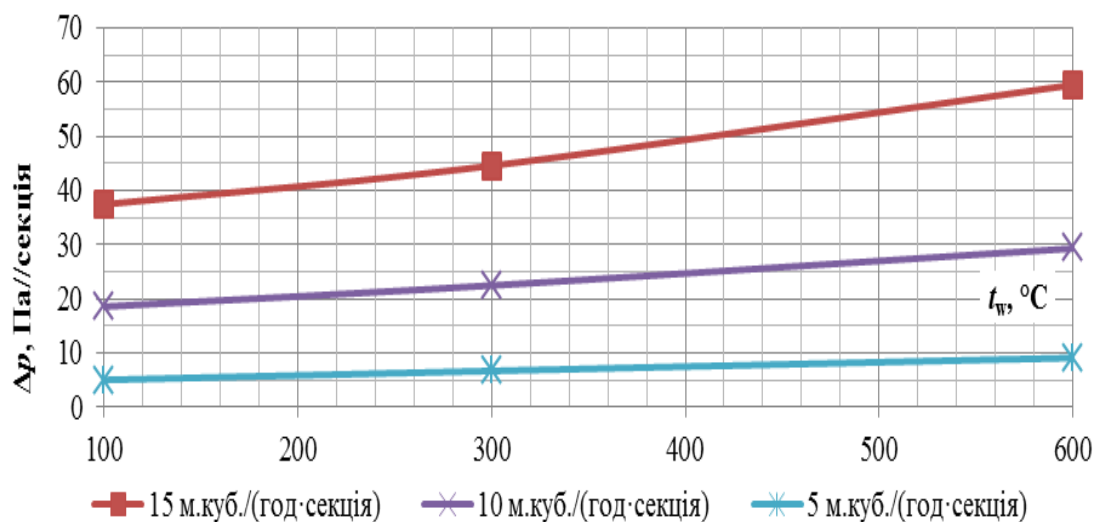


Рис 4. Значення втрат тиску повітря у секції динамічного ЕО в залежності від температури стінки t_w та кількості повітря L , що підводиться до секції

З причин того, що в секції використовується відразу два канали, значення тепловіддачі каналу визначатиметься як:

$$Q_{сек} = 2 \cdot Q_{кан} \quad (14)$$

Значення тепловіддачі від каналів, отримані за використання аналітичних залежностей, співпадають з даними, отриманими CFD-моделюванням для однієї та трьох секцій (рис. 5). Отримані дані можуть значно перевищувати технічно досяжні значення, оскільки доступ повітря до каналів, що розташовані біля задньої стінки ЕО динамічного типу, буде ускладненим внаслідок особливостей конструкції запропонованого приладу, і тому параметри тепловіддачі запропонованої конструкції потребують експериментального уточнення.

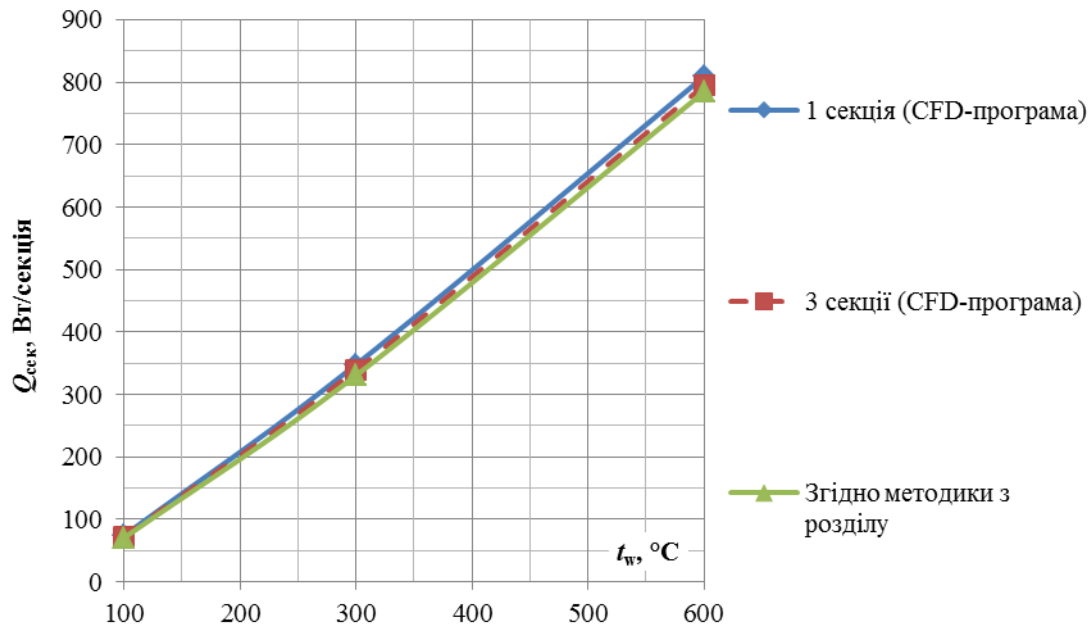


Рис 5. Тепловіддача секції динамічного ЕО за статичного режиму від температури стінки t_w

Аналіз отриманих результатів. Наведені результати продемонстрували, що тепловіддача секцій за температури 100...300 °C має порівняно лінійний характер. Цей діапазон є важливим, оскільки саме в ньому визначають температуру охолодження ТАМ, за якої тепловий потік від приладу стане меншим проектного. Тепловіддача від динамічних ЕО за ширини секції 187 мм більш ніж вдвічі перевищує тепловіддачу від статичних ЕО з секцією 190 мм. З цього можна зробити висновок, що динамічні ЕО забезпечують більший діапазон регулювання тепловіддачі та здатні більш повно використовувати акумульовану теплоту, оскільки мають вище значення теплового потоку.

Висновки:

1. Проведений аналіз виявив впливові фактори щодо характеру тепловіддачі різних конструкцій каналів ЕО. Було продемонстровано, що залежність тепловіддачі від температури ТАМ є практично лінійною в діапазоні значень 100...300 °C. Прийняте в даній роботі спрощення пов'язане з єдиною температурою ТАМ повинно бути перевіреном та оцінено як фактор впливу на тепловіддачу від приладу. Серед причин, які спричиняють нерівномірності розподілу температури в ТАМ, є конфігурація цегли, властивості матеріалів ТАМ, розміщення електричних нагрівачів та їх габарити. Вплив означених причин на тепловіддачу від приладу буде проаналізовано в подальших роботах.

2. Визначення тепловіддачі від приладу має також враховувати тепловіддачу від зовнішніх поверхонь приладу. Ця складова тепловіддачі є нерегульованою. Об'єднавши значення регульованої та нерегульованої тепловіддачі можливо отримати характерне значення тепловіддачі від приладу, що створить умови для більш чіткого уявлення про особливості конструкції приладу, за якого ЕО буде здатним забезпечувати в повній мірі передбачене проектом значення теплового потоку за рахунок виключно акумульованої теплової енергії.

3. В подальшому також планується уточнення отриманих в статті даних з урахуванням впливу додаткових конструктивних елементів: теплової ізоляції блоку ТАМ, монтажних кріплень, нагрівачів, наявності решіток тощо.

Список використаних джерел

1. Малкін, Е. С. Теплоакмулюючі електропечі. Термінологія і класифікація [Текст] / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.
2. Лысак, О. Выбор теплоаккумулирующих электропечей при внедрении в Украине [Текст] / Олег Лысак, Эдуард Малкин // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Częstochowa (Poland) : Politechnika Częstochowska, 2015. – № 1 – С. 117–125. – ISSN 2299-8535.
3. Лисак, О. В. Аналіз конфігурації конвективних каналів теплоакмулюючих електропечей [Текст] / О. В. Лисак, Е. С. Малкін // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: «Технічні науки». – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування, 2015. – Вип. 1. – С. 265–274. – ISSN 2306-5478.
4. Bates, E. Development of transportable thermal-storage space heaters [Text] / E. Bates // Proceedings of the IEE-Part A: Power Engineering. – 1957. – V. 104. – Issue 17. – P. 415-423. – ISSN 0369-8882. – doi: 10.1049/pi-a.1957.0108.
5. Griffith, M. V. Electric thermal-storage heaters [Text] / M. V. Griffith // Electronics and Power. – 1964. – T. 10. – Issue 3. – P. 68-71. – ISSN 0013-5127. – doi: 10.1049/ep.1964.0071.
6. Богословский, В. Н. Отопление : учебник для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканава. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.
7. Кривошеин, И. А. Бытовые электронагревательные приборы и установки : монография / И. А. Кривошеин. – М. : Изд-во МКХ РСФСР, 1963. – 184 с.
8. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд., стер. – Москва : Энергия, 1977. – 343 с.
9. Ellsion, G. N. Thermal Computations for Electronics: Conductive, Radiative, and Convective Air Cooling [Text] / G. N. Ellsion. – Boca Raton, London, New York : CRC Press, 2010. – 416 p. – ISBN 978-1-4398-5017-6.
10. Kraus, A. D. Introduction to Thermal and Fluid Engineering [Text] / A. D. Kraus, J. R. Welty, A. Aziz. – Boca Raton, London, New York : CRC Press, 2011. – 972 p. – ISBN 978-1-4200-8808-3.
11. Rohsenow, W. M. Handbook of heat transfer [Text]. / W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho (eds). – New York : McGraw-Hill, 1998. – 3rd ed. – 1500 p. – ISBN 0-07-053555-8.
12. Bar-Cohen, A. Thermally Optimum Spacing of Vertical, Natural Convection Cooled, Parallel Plates [Text] / A. Bar-Cohen, W. M. Rohsenow // Journal of Heat Transfer. – 1984. – V. 106. – Issue 1. – P. 116-123. – ISSN 0022-1481. – eISSN 1528-8943. – doi:10.1115/1.3246622.
13. Kreith, F. CRC Handbook of Thermal Engineering [Text] / F. Kreith (ed.). – Boca Raton : CRC Press LLC, 2010. – 1200 p. – ISBN 0-8493-9581-X.
14. Elenbaas, W. The dissipation of heat by free convection the inner surface of vertical tubes of different shapes of cross-section [Text] / W. Elenbaas // Physica. – 1942. – V. 9. – Issue 8. – P. 865-874. – doi:10.1016/S0031-8914(42)80062-2.
15. Пат. 102861 України, МПК F24H 7/00 (2015.01). Комбінований статично-динамічний теплонакопичувач / О. В. Лисак – № u201504450; заявл. 06.05.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22/2015.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ ЛЫСАК О.В.

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины

Цель. Представить данные по характеристикам теплоотдачи каналов электротеплоаккумулирующих обогревателей (ЭО) в зависимости от температуры теплоаккумулирующего материала (ТАМ).

Методика. Моделирование было выполнено для каналов статических и динамических ЭО при значениях температуры ТАМ 100, 300 и 600 °С и температуры окружающего воздуха 20 °С.

Результаты. Полученные результаты показали, что изменение теплоотдачи в зависимости от температуры ТАМ имеет сравнительно линейный характер в диапазоне 100...300 °С. При температуре ТАМ 100 °С теплоотдача разных по глубине каналов статических ЭО практически одинакова, но при температуре ТАМ 600 °С она существенно отличается для каналов глубиной 10 и 15 мм. Теплоотдача каналов динамических ЭО зависит от расхода воздуха в них и при использовании принятой в статье конфигурации кирпичей более чем вдвое превышает теплоотдачу каналов статических ЭО при температуре ТАМ 100 °С.

Научная новизна. Продемонстрирован характер теплоотдачи каналов ЭО, для каналов динамических ЭО приведены значения потерь давления.

Практическая значимость. Представленные данные могут служить для обоснования принципов конструирования ЭО и выбора типа ЭО в зависимости от требуемого значения теплового потока прибора в помещении.

Ключевые слова: аккумуляционные системы отопления, теплоаккумулирующие электропечи, электротеплоаккумулирующие электропечи, теплонакопители, теплообмен.

HEAT OUTPUT CONTROL OF A STORAGE HEATER LYSAK O.

Institute of Renewable Energy at National Academy of Sciences of Ukraine

Purpose. This article analyses the data on heat transfer from the airways of a storage heater depending on temperature of thermal storage material (TSM).

Methodology. CFD simulations were performed for airways of static and dynamic storage heaters. The design temperatures of TSM used in these simulations were 100, 300 and 600 °C and the design temperature of ambient air temperature was 20 °C.

Findings. The results showed that heat output from airways has a relatively linear dependence on TSM temperature in the range of 100...300 °C. When TSM temperature is 100 °C, heat output from airways of different configurations is almost equal but when TSM temperature is 600 °C, the heat outputs from airways with depth of 10 and 15 mm differ significantly. Heat output of a dynamic storage heater airway depends on air flow and for shown in this article airway configuration it more than doubles heat output of a static storage heater output when TSM temperature is 100 °C.

Originality. The heat output from the airways of static and dynamic storage heaters were shown. Pressure drop for airways of a dynamic storage heater is also shown.

Practical value. The data can be used to study the principles of storage heater design and to choose a type of a storage heater based on the required value of heat output from unit.

Keywords: storage heating, electric storage heating, storage heaters, heat transfer, airways.

УДК 621.311.24

АЛЕКСІЄВСЬКИЙ Д.Г., ПАНКОВА О.О.
Запорізька державна інженерна академія

МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУР ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ СИСТЕМ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ

Мета. Виявлення перспективних напрямів побудови вітроелектрогенеруючих системи з аеродинамічним мультиплікуванням.

Методика. В основі алгоритму досягнення мети дослідження лежить морфологічний метод аналізу. Порівняння альтернативних варіантів було здійснено за допомогою комплексного критерію оптимальності. Значення вартісних коефіцієнтів визначалися із застосуванням методу експертних оцінок.

Результати. На основі морфологічного аналізу варіантів побудови вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням були отримані рекомендації щодо вибору їх оптимальних структур.

Наукова новизна. В роботі вперше запропоновано комплексний критерій якості вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням, який враховує різноманітні чинники, що впливають на ефективність застосування цих систем та дозволяє отримати методику визначення оптимальної структури ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

Практична значимість. Результати проведеного аналізу можуть бути використані при проектуванні нових систем керування ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

Ключові слова: вітроенергетична установка, віротурбіна, морфологічний аналіз, аеродинамічне мультиплікування, моментне управління ВЕУ, аеродинамічне управління ВЕУ.

Вступ. Вітроелектрогенеруючі системи ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням (aerodynamic multiplication wind power plant - ADMWPP) почали розвиватися відносно недавно [1]. Цей напрям є альтернативним відносно класичної ВЕУ, яка побудована по схемі «віротурбіна – механічний мультиплікатор – генератор» (схему з тихохідним генератором та без мультиплікатора можна, також, певною мірою, віднести до класичної). Роботи в області проектування ADMWPP були присвячені питанням моделювання, аналізу ефективності та питанням управління цими системами [2], [3], [4]. Електромеханічні системи ADMWPP є більш складним об'єктом управління, на відміну від класичної ВЕУ, та потребують нових підходів при синтезі систем управління ними.

Постановка завдання. Розробка більш досконалих способів та алгоритмів керування системами ADMWPP є актуальним завданням. У зв'язку з цим представляється доцільним проведення системного аналізу варіантів побудови структури системи керування ADMWPP. Вирішення цього завдання може бути досягнуто за допомогою морфологічного аналізу варіантів побудови вітроелектрогенеруючих системи з аеродинамічним мультиплікуванням.

Результати дослідження. З точки зору управління, на відміну від класичної ВЕУ, ADMWPP має більшу варіативність.

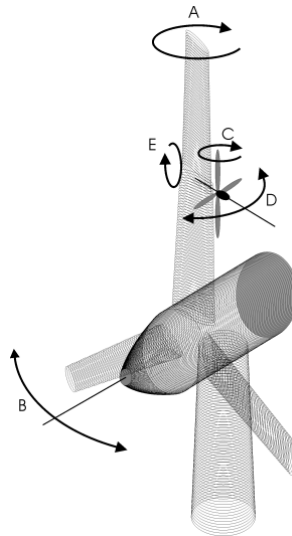


Рис. 1. Способи впливу на стан електромеханічної системи ADMWPP

Вона має наступні входи для впливу на стан електромеханічної системи (рисунок 1):

A - кут встановлення лопатей первинної вітротурбіни,

B - кут відхилення вісі обертання первинної вітротурбіни від вектору первинного повітряного потоку,

C - кут встановлення лопатей вторинної вітротурбіни,

D - кути відхилення вісі обертання вторинних вітротурбін від вектору вторинного повітряного потоку,

E - обертовий момент генераторів.

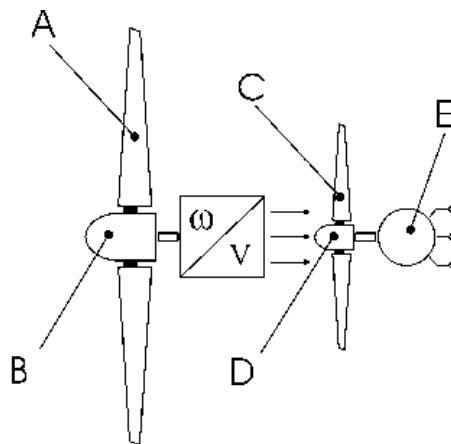


Рис. 2. Умовні позначення морфологічних ознак системи ADMWPP

Розглянемо застосування кожного з вищезазначених способів впливу на стан системи, як морфологічну ознаку. Для наочного представлення варіантів може бути використана мнемосхема, що зображена на рисунку 2.

Наявність відповідної ознаки будемо позначати затемненням відповідного елементу.

Шляхом комбінації морфологічних ознак може бути сформована карта морфологічного аналізу, що зображена на рисунку 3. Вона містить 32 альтернативи.

		C+				C-			
		D+		D-		D+		D-	
		E+	E-	E+	E-	E+	E-	E+	E-
A+	B+								
	B-								
A-	B+								
	B-								

Рис. 3. Карта морфологічного аналізу системи ADMWPP

При формуванні комплексного критерію якості були розглянуті наступні аспекти та чинники, що визначають оптимальність та працездатність застосування тієї чи іншої альтернативи.

1. Застосування певної морфологічної ознаки має відповідну ціну, що позначається на сумарних відносних капітальних витратах.

2. При застосуванні управління виключно за допомогою зміни моменту гальмування, що створюють вторинні вітротурбіни, розміри вторинних вітротурбін повинні бути збільшені, в порівнянні зі схемами, в яких цей спосіб комбінується з іншими способами управління, чи даний спосіб управління взагалі не використовується. Це необхідно для того, щоб мати можливість створювати достатній момент гальмування при значних швидкостях вітрового потоку. Відповідно цей факт позначається на додаткових капітальних витратах.

3. Система повинна бути керованою. (Це твердження є достатньо тривіальним, але при формальному підході, повинно бути враховане).

4. Недоцільно використовувати дублювання аеродинамічного управління, тобто сумісне використання зміни кута встановлення лопатей і зміни кута орієнтації вітротурбін.

5. Недоцільно використовувати дублювання управління вторинними вітротурбінами, тобто сумісне використання аеродинамічного та електромагнітного регулювання для вторинних вітротурбін.

Для формування комплексного критерію введемо допоміжну цілочисельну функцію логічної змінної:

$$trl(x) = \begin{cases} 0 & \text{npu } x = false \\ 1 & \text{npu } x = true \end{cases}, \quad (1)$$

де $x \in \{false, true\}$ - логічна змінна.

Виходячи з вищезазначених чинників та з використанням функції (1) може бути сформульований комплексний критерій якості:

$$W(A, B, C, D, E) = S_A \cdot trl(A) + S_B \cdot trl(B) + S_C \cdot trl(C) + \\ + S_D \cdot trl(D) + S_E \cdot trl(E) + S_{WT2} \cdot trl((\overline{AUE}) \cap (CUDUE)) +$$

$$+ S_{\infty} \text{trl}(\bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap \bar{D} \cap \bar{E} \cap ((A \cap B) \cup (C \cap D)) \cap ((C \cap E) \cup (D \cap E))), \quad (2)$$

де S_A - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кута встановлення лопатей первинної вітротурбіни,

S_B - відносні витрати при застосуванні, для регулювання, обертання вісі первинної вітротурбіни відносно напрямку вітру,

S_C - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кута встановлення лопатей вторинної вітротурбіни,

S_D - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кутів відхилення вісі обертання вторинних вітротурбін від вектору вторинного повітряного потоку,

S_E - відносні витрати при застосуванні електромагнітного управління,

S_{WT2} - відносні додаткові витрати внаслідок збільшення розмірів вторинних вітротурбін,

S_{∞} - заздалегідь велика величина для реалізації функції виключення певної альтернативи з розгляду,

A, B, C, D, E - логічні змінні, що позначають наявність чи відсутність відповідної морфологічної ознаки.

Величини відносних витрат були отримані за допомогою експертних оцінок. За базову величину було взято капітальні витрати на реалізацію управління за допомогою кута встановлення лопатей первинної вітротурбіни.

При застосуванні даного критерію до сформованої сукупності альтернатив були отримані наступні значення комплексного критерію (Табл.).

Після ранжування за ознакою мінімального значення критерію можна виділити групу альтернатив - лідерів: B(0,05), BC(0,25), BD(0,35), C(0,4), BE(0,45), D(0,5), E(0,6), A(1,0).

Варіант B (0,05) - має найменше значення відносних додаткових витрат тому, що використовує вже встановлений механізм орієнтації за вітром. Але при реалізації цього способу (як і інших альтернатив, що мають ознаку B) можуть виникати певні проблеми, пов'язані з наявністю гіроскопічного ефекту при обертанні первинної вітротурбіни, який може, в умовах швидкозмінного вітру, зробити даний спосіб непрацездатним.

Таблиця

Результати розрахунку комплексного критерію ефективності

		C+				C-			
		D+		D-		D+		D-	
		E+	E-	E+	E-	E+	E-	E+	E-
A+	B+	ABCDE	ABCD	ABCE	ABC	ABDE	ABD	ABE	AB
		∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	B-	ACDE	ACD	ACE	AC	ADE	AD	AE	A
		∞	∞	∞	1,2	∞	1,3	1,4	1,0
A-	B+	BCDE	BCD	BCE	BC	BDE	BD	BE	B
		∞	∞	∞	0,25	∞	0,35	0,45	0,05
	B-	CDE	CD	CE	C	DE	D	E	"0"
		∞	∞	∞	0,4	∞	0,5	0,6	∞

У варіанті BE (0,45) доцільно було використовувати електромагнітне регулювання в області оптимального відбору потужності, а зміну кута орієнтації за вітром – для обмеження потужності.

Слід зазначити, що створений на сьогодні варіант AE (1,4) не входить до складу лідерів по мінімізації капітальних витрат, але, при цьому використовує перевірені технічні рішення.

Суттєву відмінність від інших лідерів має варіант E (0,6). Відмінність полягає у відсутності будь-якого механічного способу регулювання. Це має свої переваги не тільки з точки зору капітальних витрат, а й з точки зору експлуатаційних витрат та підвищення експлуатаційної надійності системи.

Висновки. Данні для морфологічного аналізу відображають ситуативну оцінку витрат на теперішній час. Їх значення, безумовно, можуть змінюватися під впливом різноманітних факторів, що обумовлені змінами в рівні розвитку техніки та технології виробництва компонентів ADMWPP.

З розглянутих способів управління ADMWPP на теперішній час, за допомогою фізичного експерименту та математичного моделювання, досліджені тільки варіанти A, AE та E. Інші перспективні способи потребують подальшого розгляду з точки зору їх працездатності та впливу на величину видобутку електроенергії. Результати даної роботи мають сприяти системному погляду на проблему створення нових систем керування для ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням, та намітити напрями подальших досліджень у цій області.

Список використаних джерел

1. Голубенко Н.С. Тенденции развития ветроэнергетики и безмультипликаторные ветровые установки / Н. С. Голубенко, С. И. Довгалюк, А. М. Фельдман, В. А. Цыганов // Нетрадиционная энергетика XXI века: материалы IV Международной конференции. – Крым, Гурзуф. – 2003. – С. 68–74.
2. Голубенко Н.С. Аэродинамические способности безмультипликаторной турбогенераторной схемы ветроэнергетической установки большой мощности / Н.С. Голубенко // Нетрадиционная энергетика XXI века: матер. 4-ой междунар. конф., – Гурзуф. – 2003. – С. 123–132.
3. Миргород В. Ф. Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В. Ф. Миргород // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 3. – С. 67–70.
4. Вишневецкий П.О. Оценка эффективности применения преобразователя частоты для турбогенераторной схемы ВЭУ при работе на малых скоростях ветра / П.О. Вишневецкий, Н.С. Голубенко, С.И. Довгалюк, А.А. Яцур // Нетрадиционная энергетика XXI века. материалы Международной конференции. – Крым, Гурзуф. – 2003. – С. 103–105.
5. Андриенко П.Д. Повышение эффективности ветроэлектрической установки ТГ-750 / П.Д. Андриенко, В.П. Метельский, И.Ю. Немудрый, А.А. Никонова // Вісник Сев. НТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – Севастополь, 2011. – Вип. 119. – С. 109–111.
6. Миргород В.Ф. Моделирование динамических режимов ветроэнергетической установки большой мощности / В.Ф. Миргород, Г.С. Радченко, Н.С. Голубенко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 4(30). – 2006. – С. 96–99.
7. Гвоздева И.М. Преобразование математической модели динамики аэроэнергетической установки к нормальной форме / И.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – №3(19). – 2012. – С.466–458.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ

АЛЕКСЕЕВСКИЙ Д.Г., ПАНКОВА О.О.

Запорожская государственная инженерная академия

Цель. Выявление перспективных направлений построения ветроэлектрогенерирующих систем с аэродинамическим мультиплицированием.

Методика. В основе алгоритма достижения цели исследования лежит морфологический метод анализа. Сравнение альтернативных вариантов было осуществлено с помощью комплексного критерия оптимальности. Значение стоимостных коэффициентов определялись с применением метода экспертных оценок.

Результаты. На основе морфологического анализа вариантов построения ветроэлектрогенерирующих систем с аэродинамическим мультиплицированием были получены рекомендации по выбору их оптимальных структур.

Научная новизна. В работе впервые предложен комплексный критерий качества ветроэлектрогенерирующих системы с аэродинамическим мультиплицированием, учитывающий различные факторы, влияющие на эффективность применения этих систем и позволяет получить методику определения оптимальной структуры ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Практическая значимость. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при проектировании новых систем управления ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветротурбина, морфологический анализ, аэродинамическое мультиплицирование, моментное управление ВЭУ, аэродинамическое управление ВЭУ.

MORPHOLOGIC ANALYSIS OF WIND POWER PLANT WITH AERODYNAMIC MULTIPLICATION

ALEKSEEVSKIY D.G., PANKOVA O.O.

Zaporozhe State Engineering Academy

Purpose. Identification of perspective construction directions of the wind power plant with aerodynamic multiplication.

Methodology. Analysis morphological method is the basis for the research purpose achievement. The alternative types compression was made with the help of complex optimality criterion. Worth coefficient values were determinated using the expert analysis method.

Findings. Optimal structures choice recommendations were received on the basis of construction options morphological analysis of wind power plant with aerodynamic multiplication.

Originality. In the article complex quality criterion of wind power plant with aerodynamic multiplication was suggested for the first time, which takes into account various factors that influence on the efficiency of these systems implementation and allows to get the optimal structure identification methodology of wind power plant with aerodynamic multiplication.

Practical value. Findings of the carried out analysis can be used at the new control systems designing of the wind power plant with aerodynamic multiplication.

Key words: wind power plant, wind turbine, morphologic analysis, aerodynamic multiplication, torque control of wind power system, aerodynamic control of wind power system.

УДК 621.311.001

КАПЛУН В.В.¹, ПАВЛОВ П.А.², ШТЕПА В.Н.¹, КАПЛУН Р.В.¹
Киевский национальный университет технологий и дизайна¹
Полесский государственный университет, Республика Беларусь²

АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель. Получение математических соотношений для расчета с заданной точностью длительности выполнения множества параллельных процессов в микроэнергетической системе с несколькими источниками.

Методика. Для решения поставленных математических задач применены принципы структурирования, конвейеризации, а также методы дискретных систем, теории расписаний, теории графов, линейных диаграмм Ганта и алгебры матриц.

Результаты. В работе исследован асинхронный режим функционирования распределенной микроэнергетической системы, получены математические соотношения для определения минимального общего времени выполнения неоднородных, однородных и одинаково распределенных процессов.

Научная новизна. Впервые исследована математическая модель функционирования микросети, в основу которой положен ресурсно-процессный подход.

Практическая значимость. Для определения минимального общего времени обслуживания microgrid как системы распределенных процессов в асинхронном режиме полученные зависимости служат основой для сравнительного анализа функционирования микроэнергосистемы в синхронных режимах, нахождения оптимального числа обрабатывающих устройств, числа блоков и директивных сроков реализации процессов, получения критериев эффективности и оптимальности структурирования программных ресурсов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения параллельных процессов при распределенной обработке.

Ключевые слова: асинхронный режим, microgrid, микроэнергетическая система, smart grid, структурирование, конвейеризация, программный ресурс, ограниченный (неограниченный) параллелизм, распределенные конкурирующие процессы.

Введение. В связи с широким распространением микросетей (microgrid) актуальными являются проблемы построения и исследования математических моделей микроэнергетических систем (МЭС) с несколькими источниками распределенной генерации, изучения и сравнительного анализа различных режимов их функционирования. Это в свою очередь стимулирует проектирование и создание на основе распределенных МЭС интеллектуальных масштабируемых электротехнических систем (комплексов) с использованием технологии smart grid. Принцип технологии smart grid заключается в модернизации энергосистем с целью повышения надежности, контроля и оптимизации электропотребления всех элементов и участников. Отличительной особенностью данной технологии является интеграция компьютерной системы мониторинга, диагностики и управления, распределенных источников электрической энергии, линий электропередачи, пунктов секционирования, коммутационных аппаратов, распределенных накопителей электрической энергии и конечных потребителей электроэнергии на основе двустороннего коммуникационного обмена [1,2]. Системы microgrid с помощью «интеллекта» смогут в режиме on-line управлять множеством параллельных процессов, что обеспечит оперативность и эластичность к критериям оптимального управления режимами

функционирования, включая различные тарифные зоны внешней сети, уровень генерации возобновляемых источников, контроль и учет электропотребления и др.[3].

Постановка задачи. Настоящая статья является естественным продолжением работы [4], в которой предложен ресурсно–процессный подход для построения математической модели функционирования микроэнергетической системы с взаимно–интегрированными распределенными источниками электроэнергии и компьютерными системами управления с учетом топологии, базовых и смешанных режимов функционирования, контроля генерации и потребления электроэнергии, синхронизации выполнения заданного множества параллельных процессов и использования программного ресурса.

Математическая модель распределенной МЭС. Как и в [4] математическая модель микроэнергетической системы распределенной обработки одновременно взаимодействующих конкурирующих процессов включает в себя p , $p \geq 2$, обрабатывающих устройств (ОУ) МЭС с параллельными процессами, n , $n \geq 2$, распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов, s , $s \geq 2$, блоков структурированного программного ресурса (PR), матрицу $T = [t_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, времен выполнения блоков программного ресурса конкурирующими процессами, параметр $\varepsilon > 0$, характеризующий время, затрачиваемое microgrid на организацию параллельного использования блоков структурированного PR множеством конкурирующих процессов при распределенной обработке.

Предполагается, что все n процессов являются *распределенными*, т. е. все блоки процессов или их часть обрабатываются разными обрабатывающими устройствами, а также используют одну копию структурированного на блоки программного ресурса, причем из физических соображений на множестве блоков установлен линейный порядок их выполнения $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$.

Неоднородные микроэнергосистемы. Асинхронный режим взаимодействия ОУ, процессов и блоков программного ресурса МЭС определяется следующими условиями [3]:

- 1) ни один из блоков программного ресурса не может обрабатываться одновременно более чем одним обрабатывающим устройством;
- 2) ни одно из обрабатывающих устройств не может обрабатывать одновременно более одного блока PR;
- 3) обработка каждого блока программного ресурса осуществляется без прерываний;
- 4) распределение блоков программного ресурса по ОУ для каждого из процессов осуществляется циклически по правилу: блок с номером $j = kp + i$, $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, p}$, $k \geq 0$, распределяется на обрабатывающее устройство с номером i ;
- 5) отсутствуют простои обрабатывающих устройств при условии готовности блоков на выполнение, а также невыполнение блоков при наличии обрабатывающих устройств.

Определение 1. Система n распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов называется *неоднородной*, если времена выполнения блоков PR $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$

зависят от объемов обрабатываемых данных и/или их структуры, т. е. разные для разных процессов [5].

Результаты исследования. Получение математических соотношений для вычисления точных значений общего времени выполнения множества параллельных процессов в различных режимах функционирования МЭС позволит в реальном времени оптимально управлять любыми сегментами микросети, планировать подключение новых объектов, оперативно перераспределять потоки электроэнергии, обрабатывать большие массивы информации.

Обозначим минимальное общее время выполнения n неоднородных распределенных конкурирующих процессов в микроэнергетической системе с p обрабатывающими устройствами в асинхронном режиме, с учетом введенного выше параметра ε , через $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$. Для вычисления $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ рассмотрим случаи *неограниченного* ($2 \leq s \leq p$) и *ограниченного* ($s > p$) параллелизма.

В случае *неограниченного* параллелизма, т. е. когда число блоков структурированного программного ресурса не превосходит числа ОУ, можно считать, что каждый Q_j -й блок закреплен за j -м обрабатывающим устройством, $j = \overline{1, s}$. Тогда для обработки n процессов достаточно использовать $p = s$ ОУ, а остальные $p - s$ будут не задействованы.

Пусть $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$ – $n \times s$ -матрица времен выполнения блоков PR каждым из i -х процессов с учетом параметра ε . Тогда если установить взаимно однозначное соответствие между процессами и требованиями, блоками и приборами, то матрица времен выполнения блоков программного ресурса $[t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, будет совпадать с матрицей времен обслуживания n требований s приборами в одномаршрутной задаче Беллмана–Джонсона [6]. Поэтому для вычисления минимального общего времени $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс в микроэнергетической системе с $p \geq 2$ ОУ с учетом параметра $\varepsilon > 0$ можно воспользоваться функционалом этой задачи, который в нашем случае будет иметь вид:

$$T_n^{ac}(s, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_{is}^\varepsilon \right], \quad (1)$$

где $t_{ij}^\varepsilon = t_{ij} + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, а $u_1, u_2, \dots, u_{s-1}$ – целые положительные числа.

В случае, когда $s = p$, функционал Беллмана–Джонсона (1) будет иметь вид:

$$T_n^{ac}(p, n, p, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{p-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{p-1}}^n t_{ip}^\varepsilon \right].$$

При создании компьютерных систем управления microgrid лучше использовать метод, который позволяет решать задачу определения минимального общего времени $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения неоднородных распределенных конкурирующих процессов в асинхронном режиме значительно эффективнее.

По заданным n , s и матрице времен выполнения блоков программного ресурса $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, строим сетевой вершинно-взвешенный граф G_1^{ac} , который содержащий ns вершин, расположенных в узлах прямоугольной $n \times s$ -решетки (рис.1).

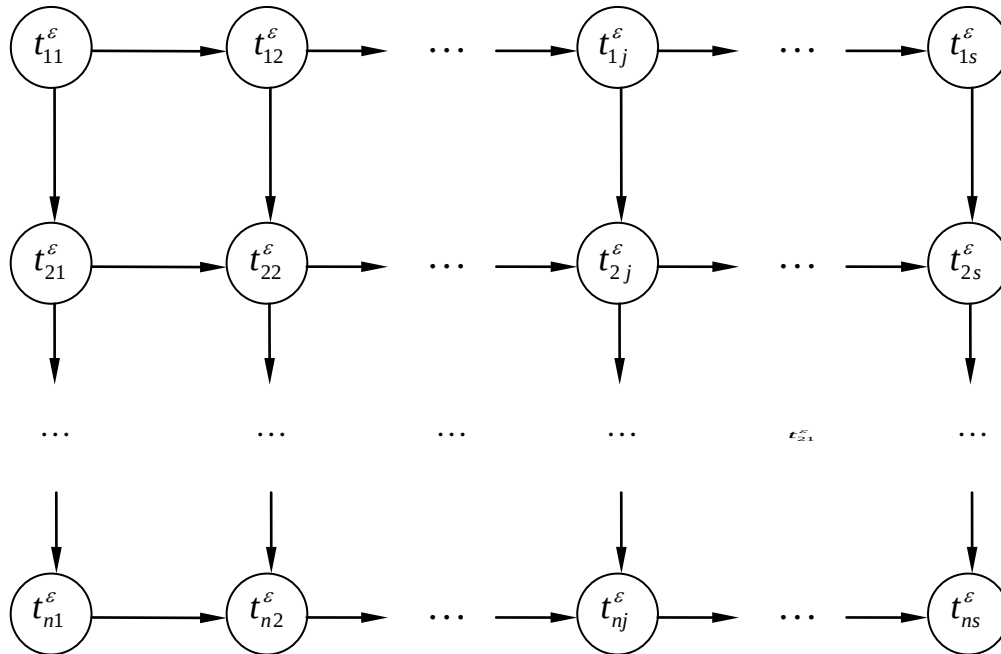


Рис.1. Сетевой вершинно-взвешенный граф G_1^{ac}

Каждой вершине графа G_1^{ac} соответствует значение t_{ij}^ε , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, причем t_{11}^ε – начальная вершина, t_{ns}^ε – конечная. Дуги в графе G_1^{ac} отражают линейный порядок выполнения блоков Q_j , $j = \overline{1, s}$, программного ресурса каждым из процессов, а также линейный порядок использования одних и тех же блоков разными процессами.

Таким образом, имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Минимальное общее время выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс с временами выполнения блоков, задаваемыми матрицей $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, в микроэнергетической системе с $p \geq 2$ обрабатывающими устройствами в асинхронном режиме в случае $2 \leq s \leq p$, определяется длиной критического пути в сетевом вершинно-взвешенном графе G_1^{ac} из начальной вершины t_{11}^ε в конечную t_{ns}^ε .

Пример. Используя алгоритм нахождения критического пути в сетевом вершинно-взвешенном графе G_1^{ac} , найти минимальное общее время $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения системы распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов с параметрами $p = 5$,

$n = 4, s = 3, \varepsilon = 0,5$. Времена выполнения блоков программного ресурса $Q_j, j = \overline{1,3}$, с

учетом ε заданы матрицей $T^\varepsilon = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 4 \\ 2 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & 3 \\ 4 & 1 & 2 \end{bmatrix}$.

Строим сетевой вершинно–взвешенный граф G_1^{ac} (рис.2).

Длина критического пути в графе равна 15, которая и определяет минимальное общее время выполнения неоднородных распределенных конкурирующих процессов.

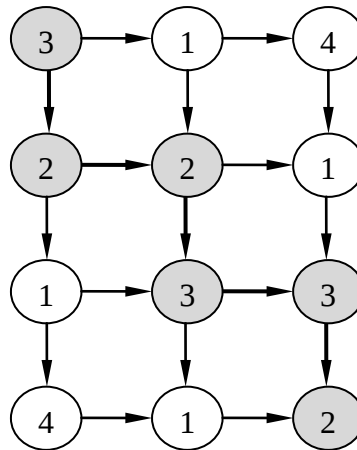


Рис.2. Граф G_1^{ac}

Рассмотрим случай *ограниченного* параллелизма, т. е. когда $s > p, s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p$. В этом случае имеет место теорема.

Теорема 2. Минимальное общее время $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих линейно структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс с временами выполнения блоков, задаваемыми матрицей $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}$, в МЭС с $p \geq 2$ ОУ и дополнительными системными расходами $\varepsilon > 0$, в асинхронном режиме в случае $s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p$, определяется длиной критического пути из начальной вершины t_{11}^ε в конечную вершину $t_{(k+1)n, (k+1)p}^\varepsilon$ сетевого вершинно–взвешенного графа G_2^{ac} (рис.3).

Доказательство. Все множество из s блоков разобьем на $k + 1$ группу по p блоков в каждой, за исключением $(k + 1)$ –й группы, которая будет содержать r блоков. Тогда с учетом параметра ε исходную матрицу времен выполнения блоков $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, kp + r}$, разбиваем на $(k + 1)$ –у подматрицу $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k + 1}$, размерностью $n \times p$ каждая, за исключением последней T_{k+1}^ε , которая будет содержать при s не кратном p только r столбцов, а остальные $p - r$ столбцов будут нулевыми.

По каждой из подматриц $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k + 1}$, строим $(k + 1)$ –у линейную диаграмму Ганта, каждая из которых отображает во времени выполнение очередных p блоков

структуризованного програмного ресурса на p оброблюючих пристроях всіма n процесами (рис.5, $p = 3$, $n = 4$, $s = 8$). При цьому, якщо $r \neq 0$, то $(k+1)$ -я діаграма буде відображати виконання останніх r блоків на p оброблюючих пристроях.

Очевидно, що якщо виконання чергової групи з p блоків починати тільки після повного завершення виконання попередньої групи, то загальне сумарне час виконання всіх n процесів в цьому випадку буде визначатися як сума довжин критичних шляхів в кожній з послідовно йдучих несовмещенних діаграм Ганта, задаваних прямою суммою матриць T_l^e , $l = \overline{1, k+1}$.

Однак, це час можна суттєво скоротити, якщо використати прийом накладання послідовних діаграм Ганта по осі часу справа наліво. При цьому накладання здійснюється поблоково, починаючи з другої діаграми, на максимально можливу величину таким чином, щоб не порушувалися технологічні умови, визначаючі асинхронний режим взаємодії процесів, ОУ і блоків PR.

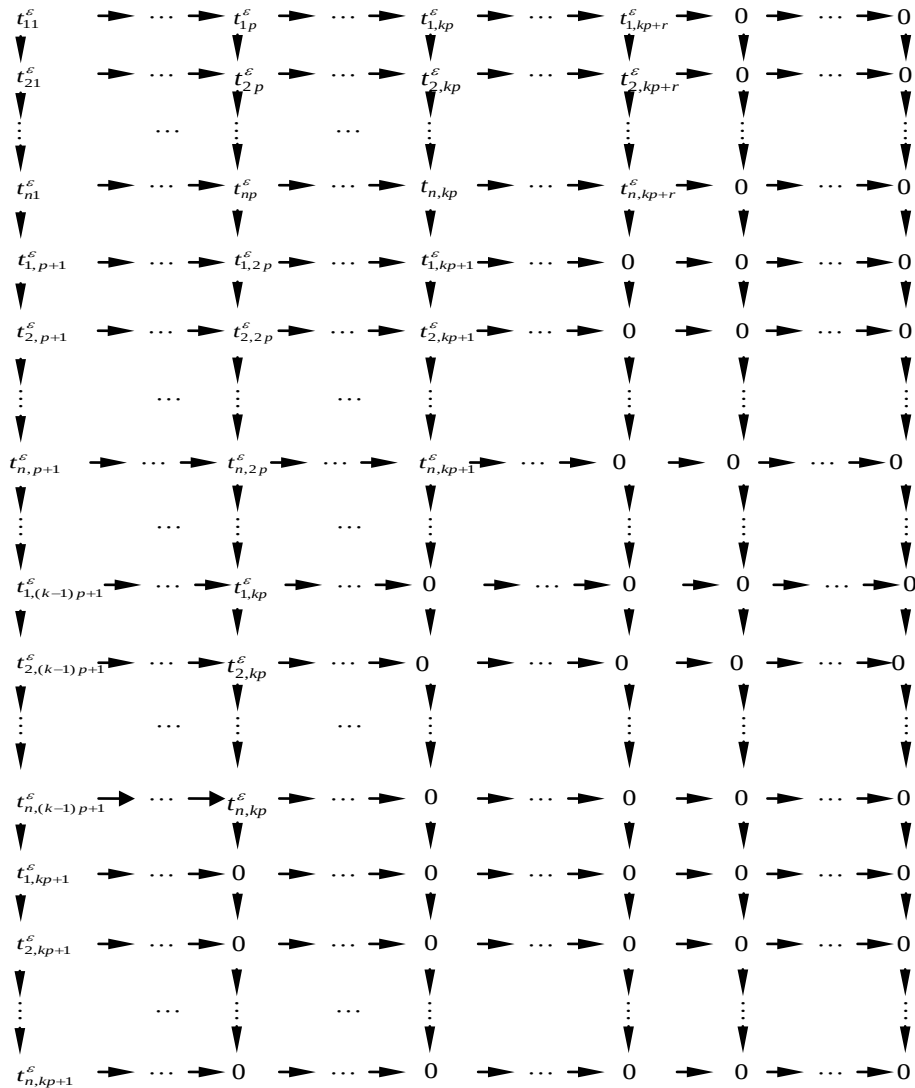


Рис.3. Сетевой вершинно-взвешенный граф G_2^{ac}

В результате совмещения получим результирующую совмещенную диаграмму Ганта, которая будет отображать выполнение $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s = kp + r$ блоков программный ресурс в МЭС с $p \geq 2$ обрабатывающими устройствами (рис.5).

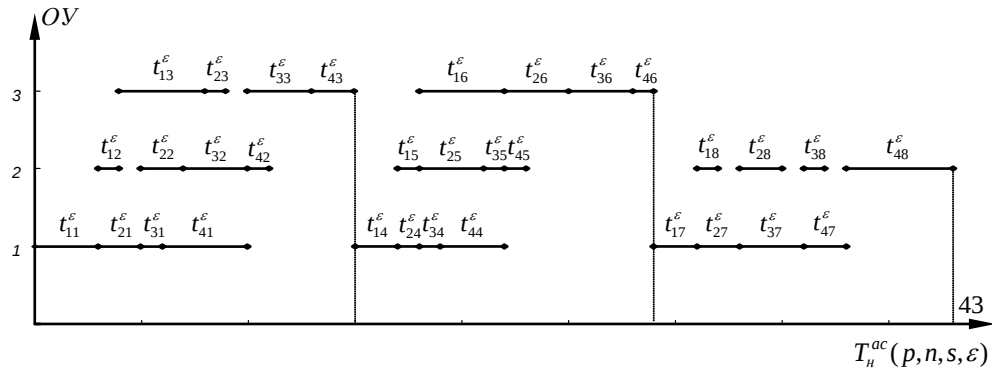


Рис. 4. Несовмещенная диаграмма Ганта

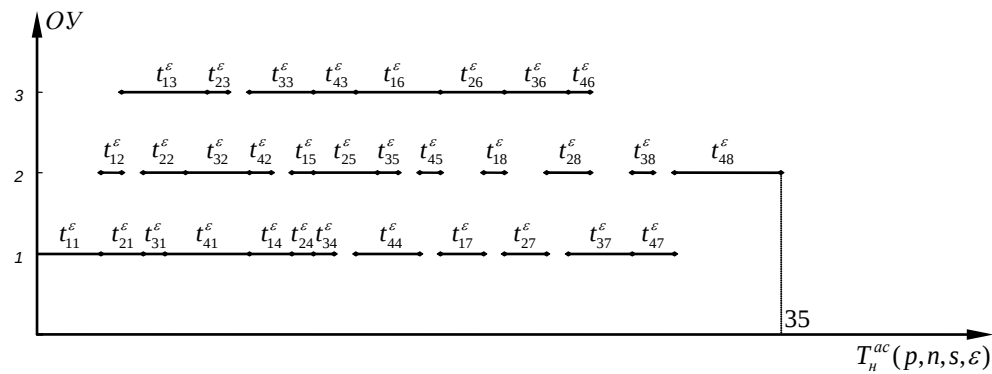


Рис. 5. Совмещенная диаграмма Ганта

Полученная структура результирующей совмещенной диаграммы Ганта будет полностью определяться матрицей T^* (2) времен выполнения блоков программного ресурса и состоять из подматриц $T_1^\varepsilon, T_2^\varepsilon, \dots, T_{k+1}^\varepsilon$ размерностью $n \times p$ каждая. При этом подматрицы $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k+1}$, в результирующей матрице T^* располагаются таким образом, чтобы не нарушался характер взаимодействия как блоков программного ресурса, выполняемых одним и тем же процессом, так и блоков, выполняемых на одном и том же ОУ. Первая строка матрицы T^* будет состоять из подматриц $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k+1}$, что отражает характер взаимодействия блоков программного ресурса внутри каждого из n процессов.

$$T^* = \begin{bmatrix} T_1^\varepsilon & T_2^\varepsilon & T_3^\varepsilon & \cdots & T_k^\varepsilon & T_{k+1}^\varepsilon \\ T_2^\varepsilon & T_3^\varepsilon & T_4^\varepsilon & \cdots & T_{k+1}^\varepsilon & 0 \\ T_3^\varepsilon & T_4^\varepsilon & T_5^\varepsilon & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ T_k^\varepsilon & T_{k+1}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ T_{k+1}^\varepsilon & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где T_l^ε и T_{k+1}^ε матрицы вида:

$$T_l^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{1,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{1,p}^\varepsilon \\ t_{2,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{2,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{2,p}^\varepsilon \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{n,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{n,p}^\varepsilon \end{bmatrix}, \quad l = \overline{1, k}, \quad T_{k+1}^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,kp+1}^\varepsilon & t_{1,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{1,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \\ t_{2,kp+1}^\varepsilon & t_{2,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{2,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,kp+1}^\varepsilon & t_{n,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{n,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}.$$

Каждый шаг совмещения диаграмм определяется соответствующим смещением подматриц T_l^ε , $l = \overline{2, k+1}$, таким образом, что очередная строка, состоящая из этих подматриц, смещалась справа налево на максимальную величину, сохраняющую линейный порядок выполнения блоков программного ресурса на одном и том же обрабатываемом устройстве. С учетом того, что все подматрицы T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$, имеют одну и ту же размерность $n \times p$, величина смещения на каждом шаге будет равна p . Вместо смещенной на каждом шаге самой правой матрицы ставятся нули. Выполнив таким образом k шагов смещений, получим структуру результирующей матрицы T^* , соответствующую окончательно совмещенной диаграмме Ганта. Причем в матрице T^* будут учтены как все горизонтальные связи между блоками, так и все вертикальные, а также связи между блоками из разных диаграмм Ганта.

Отметим, что результирующая матрица T^* будет иметь размерность $(k+1)n \times (k+1)p$. Матрица T^* будет блочной, симметричной, верхней диагональной относительно второй диагонали, типа Ганкелевой порядка $k+1$.

Далее построим сетевой вершинно-взвешенный граф G_2^{ac} (рис.4) с весами, задаваемыми матрицей T^* . Вершины этого графа будут расположены в узлах прямоугольной $(k+1)n \times (k+1)p$ -решетки.

Как и в случае $s \leq p$, общее время $T_n^{ac}(p, n, s = kp + r, \varepsilon)$ выполнения n неоднородных распределенных конкурирующих процессов определяется длиной критического пути из начальной вершины t_{11}^ε в конечную $t_{(k+1)n, (k+1)p}^\varepsilon$. Теорема доказана.

Однородные микроэнергосистемы.

Определение 2. Систему распределенных конкурирующих процессов будем называть *однородной*, если времена выполнения Q_j -го блока PR каждым из i -х процессов равны, т. е. $t_{ij} = t_j$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$.

Пусть $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$ – длительности выполнения каждого из блоков Q_j , $j = \overline{1, s}$, программного ресурса с учетом накладных расходов ε , $t_j^\varepsilon = t_j + \varepsilon$, $j = \overline{1, s}$. Обозначим длительность выполнения всего PR каждым из процессов через $T_\varepsilon^s = \sum_{j=1}^s t_j^s$. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 3. Минимальное общее время выполнения n однородных распределенных конкурирующих процессов, $n \geq 2$, использующих структурированный на s блоков

программный ресурс, $s \geq 2$, с временами выполнения блоков $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$, $\sum_{j=1}^s t_j^\varepsilon = T_\varepsilon^s$, в МЭС с p одинаковыми обрабатывающими устройствами, $p \geq 2$, в случае $2 \leq s \leq p$, в асинхронном режиме составляет величину $T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ равную

$$T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = T_\varepsilon^s + (n-1) \max_{1 \leq j \leq s} t_j^\varepsilon.$$

Доказательство. Функционал (1) в случае однородной распределенной microgrid примет следующий вид:

$$T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_1^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_2^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_s^\varepsilon \right] = T_\varepsilon^s + (n-1) \max_{1 \leq j \leq s} t_j^\varepsilon,$$

что и доказывает теорему.

Матрица времен выполнения блоков программного ресурса в этом случае будет иметь размерность $n \times s$ и состоять из n одинаковых строк, т.е. будет иметь вид:

$$T^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \\ t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \end{bmatrix}.$$

В случае, когда $s > p$, $s = kp$, матрица времен выполнения блоков программного ресурса строится аналогично, как и матрица (2). Отличие состоит в том, что в каждой из подматриц T_l^ε , $l = \overline{1, k}$, матрицы (2) все строки совпадают. Если $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$, то последняя подматрица T_{k+1}^ε соответствующей матрицы времен выполнения блоков структурированного программного ресурса будет содержать $p - r$ нулевых столбцов.

Тогда, по аналогии с теоремой 2, общее время $T_o^{ac}(p, n, s > p, \varepsilon)$ выполнения множества однородных распределенных конкурирующих процессов определяется длиной критического пути из начальной вершины в конечную соответствующего сетевого графа.

Определение 3. Структурирование программного ресурса на s блоков с временами выполнения $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$, $\sum_{j=1}^s t_j^\varepsilon = T_\varepsilon^s$, будем называть *равномерным*, если $t_1^\varepsilon = t_2^\varepsilon = \dots = t_s^\varepsilon = t^\varepsilon$.

Следствие. В случае равномерного структурирования для вычисления минимального общего времени выполнения n распределенных конкурирующих процессов имеют место формулы:

$$T_p^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} (n+s-1)t^\varepsilon, & \text{если } p \geq \min\{n, s\}, \\ (kn+p-1)t^\varepsilon, & \text{если } p < \min\{n, s\} \text{ и } s = kp, \\ [(k+1)n+r-1]t^\varepsilon, & \text{если } p < \min\{n, s\} \text{ и } s = kp+r, \quad k \geq 1, 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Одинаково распределенные микроэнергосистемы.

Определение 4. Систему конкурирующих процессов будем называть *одинаково распределенной*, если времена выполнения блоков t_{ij} PR каждым из i -х процессов

совпадают и равны t_i^ε для всех $i = \overline{1, n}$, т. е. справедлива цепочка равенств $t_{i1}^\varepsilon = t_{i2}^\varepsilon = \dots = t_{is}^\varepsilon = t_i^\varepsilon$ для всех $i = \overline{1, n}$.

Обозначим через $T_\varepsilon^n = \sum_{i=1}^n t_i^\varepsilon$ – суммарное время выполнения каждого из блоков Q_j ,

$j = \overline{1, s}$, всеми n процессами, $t_i^\varepsilon = t_i + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$. Тогда справедлива следующая теорема.

Теорема 4. Минимальное общее время выполнения $n \geq 2$ одинаково распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс в микроэнергосистеме с $p \geq 2$ одинаковыми обрабатывающими устройствами и дополнительными системными расходами $\varepsilon > 0$, в асинхронном режиме составляет величину $T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$, равную

$$T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} T_\varepsilon^n + (s-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{при } s \leq p \text{ и } T_\varepsilon^n \leq p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, \\ kT_\varepsilon^n + (p-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{если } T_\varepsilon^n > p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon \text{ и } s = kp, \quad k > 1, \\ (k+1)T_\varepsilon^n + (r-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{если } T_\varepsilon^n > p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon \text{ и } s = kp + r, \quad k \geq 1, 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Доказательство. Для доказательства рассмотрим сначала случай, когда число ОУ является достаточным, т.е. число блоков программного ресурса $s \leq p$. Тогда элементы матрицы времен выполнения блоков программного ресурса $[t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, будут иметь вид $t_{ij}^\varepsilon = t_i^\varepsilon$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, и будут совпадать с соответствующими элементами матрицы времен обслуживания требований приборами в одномаршрутной задаче Беллмана–Джонсона. Поэтому для вычисления минимального общего времени $T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения одинаково распределенных конкурирующих процессов можно воспользоваться функционалом этой задачи, который в наших обозначениях примет вид:

$$T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_i^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_i^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_i^\varepsilon \right] = T_\varepsilon^n + (s-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon.$$

Рассмотрим далее случай, когда $s = kp$, $k > 1$. Будем предполагать, что ОУ универсальны. Тогда соответствующая матрица времен выполнения блоков программного ресурса будет иметь размерность $kn \times p$ и состоять из k одинаковых ненулевых подматриц $[t_{ij}^\varepsilon]_{n \times p}$. Вычисление общего времени $T_{op}^{ac}(p, n, s = kp, \varepsilon)$ в этом случае с помощью функционала задачи Беллмана–Джонсона приводит к формуле:

$$T_{op}^{ac}(p, n, kp, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{p-1} \leq kn} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_i^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_i^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{p-1}}^{kn} t_i^\varepsilon \right] = kT_\varepsilon^n + (p-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon.$$

В случае, когда $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$ соответствующая матрица времен выполнения блоков программного ресурса размерности $(k+1)n \times p$ будет иметь в $(k+1)$ -й подматрице $p-r$ нулевых столбцов. Вычисление общего времени с помощью функционала задачи Беллмана–Джонсона приводит к третьей формуле теоремы 4. Теорема доказана.

Выводы. Доказанные в этой работе теоремы 1–4 и полученные математические соотношения позволяют находить с заданной точностью значения минимального общего

время выполнения множества распределенных конкурирующих процессов для асинхронного режима с использованием аналитического и алгоритмического подхода на основе вершинно–взвешенных графов. Характер полученных зависимостей позволяет также явно учитывать параметр, характеризующий накладные расходы времени, связанные с затратами на реализацию механизмов управления параллельными процессами при распределенной обработке. Полученные формулы служат основой для решения задач оптимизации числа обрабатывающих устройств, блоков PR, получения критериев эффективности и оптимальности структурирования программных ресурсов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения параллельных процессов при распределенной обработке.

Список использованной литературы

1. European Commission, “European smartgrids technology platform - vision and strategy for europe’s electricity networks of the future,” Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Tech. Rep. EUR 22040, 2006, available at http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf.
2. “Sinergie: Synergie van intelligentie en energie - in elektriciteitsnetten van de toekomst -,” Delft University of Technology, Netherlands, Tech. Rep. EOSLT04034, May 2007, in Dutch.
3. Kozyrskiy V., Kaplun V. Analysis of streams in local systems with distributed generation by methods of graph theory // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture. – 2011. – №57, pp. 109–112.
4. Каплун В.В., Павлов П.А., Штепа В.Н. Ресурсно–процессный подход к построению математической модели микроэнергетической системы // Вестник Киевского национального университета технологий и дизайна. – 2010. – №2(96). – С. 48–60.
5. Павлов П.А., Коваленко Н.С. Математическое моделирование параллельных процессов. – Germany: Lambert Academic Publishing. – 2011. – 246 с.
6. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. М., 1989. – 328 с.

АСИНХРОННИЙ РЕЖИМ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

КАПЛУН В.В.¹, ПАВЛОВ П.А.², ШТЕПА В.Н.¹, КАПЛУН Р.В.¹

Київський національний університет технологій та дизайну¹

Полесский государственный университет, Республика Беларусь²

Мета. Одержання математичних співвідношень для розрахунку з заданою точністю тривалості виконання множини паралельних процесів в мікроенергосистемі з декількома джерелами.

Методика. Для вирішення поставлених математичних завдань використані принципи структуривання, конвеєризації, а також методи дискретних систем, теорії розкладів, теорії графів, лінійних діаграм Ганта та алгебри матриць.

Результати. В статті досліджений асинхронний режим функціонування мікроенергетичної системи з декількома джерелами, одержані математичні співвідношення для визначення мінімальної загальної тривалості виконання неоднорідних, однорідних та однаково розподілених процесів.

Наукова новизна. Вперше досліджена математична модель функціонування мікромережі, а основу якої покладений ресурсно-процесний підхід.

Практична цінність. Для визначення мінімальної загальної тривалості обслуговування microgrid як системи розподілених процесів в асинхронному режимі одержані залежності є основою для порівняльного аналізу функціонування мікроенергетичної системи в синхронних режимах, знаходження оптимальної кількості пристроїв обробки, кількості блоків і (або) директивних термінів реалізації процесів, визначення критеріїв ефективності і оптимальності структурування програмних ресурсів, дослідження різних змішаних режимів організації виконання паралельних процесів про розподіленій обробці.

Ключові слова: асинхронний режим, microgrid, мікроенергетична система, smart grid, структурування, конвеєризація, програмний ресурс, обмежений (необмежений) паралелізм, розподілені конкуруючі процеси.

ASYNCHRONOUS FUNCTIONING MODE OF MICROPOWER SYSTEM

KAPLUN V.V.¹, PAVLOV P.A.², SHTEPA V.N.¹, KAPLUN R.V.¹

Kyiv National University of Technologies & Design¹

Polesky State University, Republic of Belarus²

Purpose. Obtaining mathematical relationships to calculate a given accuracy duration of the plurality of parallel processes in microgrid with multiple sources.

Methods. To solve the mathematical problems used the principles of structuring, pipelining, as well as the methods of discrete systems, scheduling theory, graph theory, linear Gantt charts and matrix algebra.

Results. We investigated asynchronous micro grid operation of a distributed system, derived mathematical relationships to determine the minimum total execution time of heterogeneous and homogeneous identically distributed processes.

Originality. The first time investigated the mathematical model of the functioning of microgrids, which was based on the resource and process approach.

The practical significance. To use for determination of the minimum total time of service microgrid as a system of distributed processes asynchronously received according serve as a basis for comparative analysis micro grid operation in synchronous mode, finding the optimal number of processing units, the number of units and (or) the deadlines of realization processes, obtaining the criteria of efficiency and optimal structuring software resources, the study of all kinds of mixed modes of organization of parallel processes in distributed processing.

Keywords: asynchronous mode, micro grid, smart grid, structuring, pipelining, a software resource limited (unlimited) parallelism, distributed competing processes.

УДК 681.5.015

КОВРИГО Ю.М., САКОВ Р.П., БУНКЕ О.С.
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РІВНЯ В ПРОМІЖНОМУ БУНКЕРІ ПИЛУ ПАРОВОГО КОТЛА ТПП-210А

Мета. Розробка аналітичної моделі рівня проміжного бункеру пилу для використання у системах регулювання.

Методика. Для розробки використовувався аналіз конструктивних властивостей бункеру пилу, застосовувались рівняння матеріального балансу, моделі у вигляді передаточних функцій.

Результати. Розроблено аналітичну модель рівня проміжного бункеру пилу парового котла ТПП-210А, що працює в системі пилоподачі з високою концентрацією під тиском. Залежність рівня від матеріальних потоків виявилась нелінійною при незначній завантаженості бункеру.

Наукова новизна. Вперше розроблено аналітичну модель рівня проміжного бункеру вугільного пилу котла ТПП-210А.

Практична значимість. Модель може використовуватися для розробки високоефективних систем регулювання пилоподачі.

Ключові слова: пилоподача, аналітична модель, котел ТПП-210А, промбункер пилу.

Вступ. Темою дослідження є розробка аналітичної моделі рівня пилу в проміжному бункері пилу парового котла ТПП-210А Трипільської ТЕЦ (ТрТЕЦ), на якій встановлено 4 даних котлоагрегати потужністю по 310 МВт кожний. Котли виконані по схемі дубль-блоку і система пилоподачі виконана окремо на кожний блок котлоагрегату. Системи пилоподачі на ТрТЕЦ модернізовані: замість штатної системи з лопатевими пиложивильниками встановлено систему пилоподачі з високою концентрацією під тиском (ПВКТ) з аераційними пиложивильниками. Ґрунтовний опис встановленої системи та діючі розроблені системи автоматичного регулювання наведені в [1], [2].

Система ПВКТ добре себе зарекомендувала, але тим не менш пилоподача залишається складним об'єктом автоматизації, для підвищення ефективності якого пропонується використовувати сучасні системи керування, такі як регулятори з селекторами [3], регулятори з захистом від інтегрального насичення [4], адаптивні [5] та інтелектуальні регулятори [6], відмовостійкі системи управління, системи управління з можливістю реконфігурації, тощо. Для синтезу та налаштування нових систем керування необхідна наявність аналітичної чи експериментальної моделі цього об'єкта.

Постановка задачі. На сьогодні не існує динамічних моделей рівня в проміжному бункеру пилу котла ТПП-210А, тому ціллю роботи є створення адекватної та придатної для практичного застосування математичної моделі. Дослідження системи ПВКТ з аераційними пиложивильниками показало, що рівень пилу в проміжному бункері впливає на її динаміку. В [1], [2] приводяться експериментальні залежності амплітуди пульсацій витрати аеросуміші в залежності від рівня в проміжному бункері пилу при різних значеннях тиску повітря на аерацію. Для дослідження роботи системи пило подачі та проведення імітаційного моделювання роботи автоматичних систем керування, необхідні моделі проміжного бункеру

пилу і аераційного пилосживильника, розробка яких є актуальною науково-практичною задачею.

Результати досліджень. Проміжний бункер пилу для котла ТПП-210А представляє собою 3 притоки від шарових барабанних млинів Ш50-А номінальною потужністю 50 т/год та 12 витоків: аераційні пилосживильники номінальною потужністю 12600 кг/год. Робота вугільних млинів може бути зупинена: при досягненні певного рівня пилу у бункері млин вводиться в резерв. Проміжний бункер пилу працює під розрідженням 0,25-0,3 кПа.

Структурна схема моделі проміжного бункера пилу котла ТПП-210А представлена на (Рис. 1).

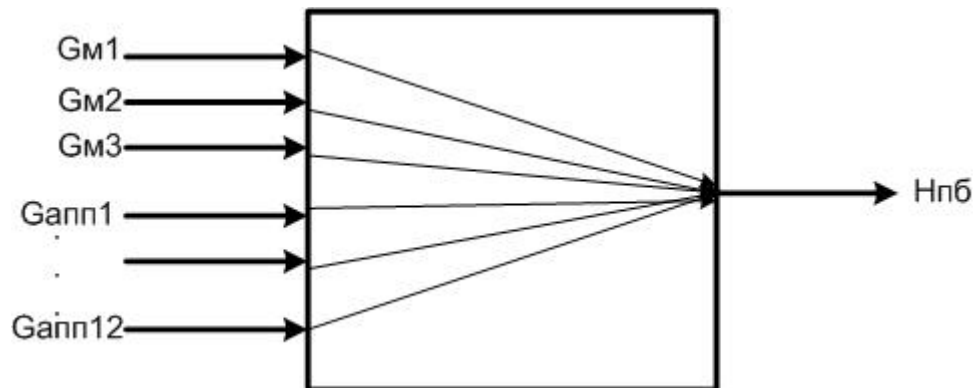


Рис. 1. Структурна схема моделі рівня в проміжному бункері пилу

де, G_{m1} , G_{m2} , G_{m3} – витрата пилу з шарових баробаних млинів, кг/с;
 $G_{aпп1} \dots G_{aпп12}$ – витрата пилу з аераційних пилосживильників, кг/с.

Масу пилу, що знаходиться в проміжному бункері пилу можна описати наступною формулою:

$$m(t) = \rho_n V(t) \quad (1)$$

де, $m(t)$ – маса пилу в проміжному бункері в момент часу t ,

ρ_n – насипна густина пилу,

$V(t)$ – об'єм пилу в проміжному бункері в момент часу t .

Для того, щоб ця формула була справедлива приймаються наступні припущення:

- насипна густина пилу рівномірна в усьому об'ємі пиловий маси в проміжному бункері пилу,
- в процесі роботи проміжного бункеру пилу можливе зависання вугілля з утворення пилових склепінь з наступним їх обвалом, але моделювання цієї ситуації не береться до розгляду в даній роботі,
- не враховується інерція руху пилу в проміжному бункері,
- рівномірне розподілення пилу в площині проміжного бункеру.

Проміжний бункер пилу має представляє собою фігуру складної форми. Об'єм пилу в проміжному бункері в загальному виді буде визначатися наступною формулою:

$$V(t) = \int_{h(0)}^{h(t)} S(h) dh \quad (2)$$

де, $h(0)$ та $h(t)$ – рівень на нульовій відмітці та поточний рівень в проміжному бункері пилу,

$S(h)$ – площа поперечного перерізу проміжного бункеру пилу, що залежить від висоти. Функція $S(h)$ кусково-лінійна.

Підставивши формулу (2) в формулу (1), отримаємо:

$$m(t) = \rho_n \int_{h(0)}^{h(t)} S(h) dh \quad (3)$$

З іншого боку, масу в проміжному бункері пилу можна виразити за допомогою рівняння матеріального балансу:

$$m(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^{n=3} G_n^m + \int_0^t \sum_{i=1}^{m=12} G_m^{ann} + A \quad (4)$$

де, G_n^m – масова витрата з n-го шарового млина,

G_m^{ann} – масова витрата m-го АПЖ,

A – маса пилу в момент часу $t=0$.

Виходячи з формул (2), (3) можна побудувати модель рівня в проміжному бункері пилу (Рис. 2).

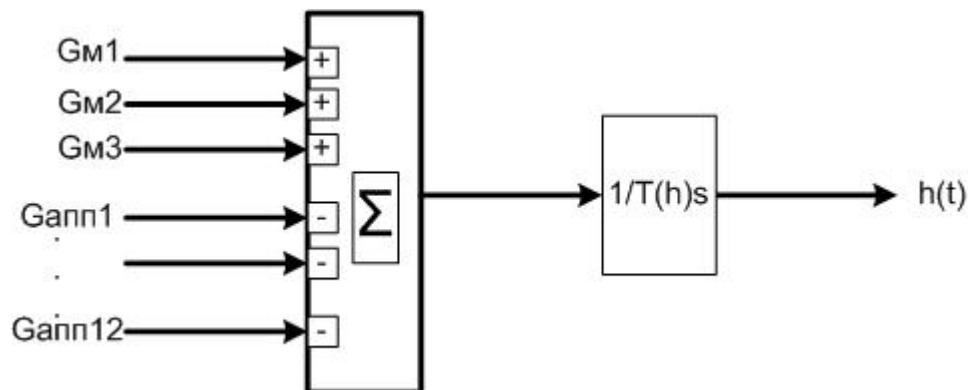


Рис 2. Модель рівня в проміжному бункері пилу

де, коефіцієнт $T(h)$ – час інтегрування, що визначається насипною густиною пиловугільної суміші та поперечним перерізом проміжного бункеру пилу на поточній висоті пилу. Насипна густина пиловугільної суміші коливається в межах 500-700 кг/м³ [7]. Форма проміжного бункеру пилу має конфігурацію зображену на (Рис. 3):

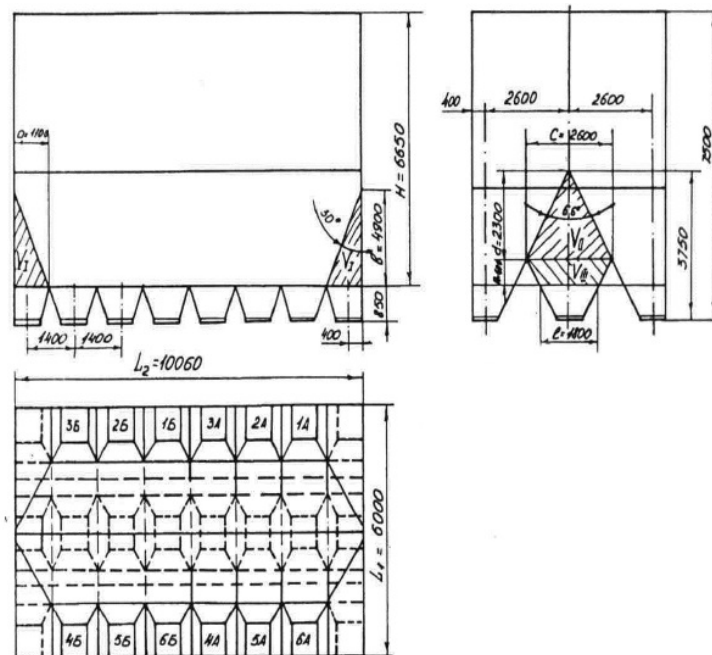


Рис 3. Геометричні розміри проміжного бункеру пилу [1]

Площа поперечного перерізу бункеру визначається за формулою (5):

$$S_{\text{ПБ}} = \begin{cases} (13,7h + 18,5)\text{м}^2, & \text{при } 0 \leq h \leq 2,9 \text{ м} \\ (2,7h + 50,4)\text{м}^2, & \text{при } 2,9 \leq h \leq 4,9 \text{ м} \\ 60,6 \text{ м}^2, & \text{при } 4,9 \leq h \leq 5,8 \text{ м} \end{cases} \quad (5)$$

де, $S_{\text{ПБ}}$ – площа поперечного перерізу проміжного бункера пилу,

h – висота пилу у проміжному бункері. Нульовий рівень прийнято на відмітці 0,85 м.

Тоді, T буде визначатися за формулою (6):

$$T = \begin{cases} (13,7h + 18,5) \rho, & \text{при } 0 \leq h \leq 2,9 \text{ м} \\ (2,7h + 50,4) \rho, & \text{при } 2,9 \leq h \leq 4,9 \text{ м} \\ 60,6 \rho, & \text{при } 4,9 \leq h \leq 5,8 \text{ м} \end{cases} \quad (6)$$

Отримана модель рівня пилу в проміжному бункері є нелінійною, оскільки коефіцієнт T залежить від h при висоті пилу до 4,9 м. Крім того значення ρ_n залежить від властивостей пилу (якість помолу, вологість, тип вугілля, тощо), що поступає в проміжний бункер.

Висновки. Допускаючи деякі спрощення, в роботі розроблено аналітичну нелінійну модель рівня в проміжному бункері пилу, що в подальшому буде застосована для синтезу ефективної системи регулювання пилеподачі. Подальшим етапом дослідження може бути розробка комплексної моделі пилеподачі, що буде включати моделі витрати пилу від барабанних млинів, витрати пилу через клапан АПЖ, витрати (тиску) повітря на аерацію та на транспорт пилу, а також вторинного повітря.

Список використаної літератури

1. Кесова Л.А. Разработка, исследование, внедрение и опыт эксплуатации системы высококонцентрированной пылеподачи (под давлением) котлов ТПП-210А Трипольской ТЭС / Л.А. Кесова, Г.А. Довготелес, Н.И. Котельников и др. – К.: О-во «Знание» Украины, 2001. – 94 с.
2. Кесова Л. А. Оптимизация режимов работы аэрационных пылепитателей котлов тепловых электростанций [Текст] / Л. А. Кесова [и др.] // Энергетика та електрифікація. - 2014. - № 5. - С. 15-20.
3. Хобин В. А. Регулятор переменной структуры для объектов технологического типа. ААЭКС, №1(13), 2004 г.
4. Фоменко Б. В. Підвищення ефективності систем автоматичного регулювання за рахунок врахування обмежень керованого сигналу / Б. В. Фоменко, О. В. Степанець, О. С. Бунке // Вестник национального технического университета "ХПИ", Тематический выпуск "Новые решения в современных технологиях". 2010. № 57. С. 177-183.
5. Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. Наука, Санкт-Петербург, 2000, 562 с.
6. Atsushi C., Hiroshi M. A Study of Fuzzy Adaptive Control on Supercritical Coal-fired Thermal Power Plant. // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. 2000. VOL. 66. NO.643. – pp. 765-770.
7. Эстеркин Р. И. Промышленные котельные установки Ленинград, "Энергоатомиздат", 1985., 400 с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УРОВНЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ БУНКЕРЕ ПЫЛИ ПАРОВОГО КОТЛА ТПП-210А

КОВРИГО Ю.М., САКОВ Р.П., БУНКЕ А.С.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

Цель. Разработка аналитической модели уровня промежуточного бункера пыли для систем регулирования.

Методика. Для разработки использовался анализ конструктивных свойств бункера пыли, применялись уравнения материального баланса, модели в виде передаточных функций.

Результаты. Разработана аналитическая модель уровня промежуточного бункера пыли парового котла ТПП-210А, работающего в системе пылеподачи с высокой концентрацией под давлением. Зависимость уровня от материальных потоков оказалась нелинейной при незначительной загруженности бункера.

Научная новизна. Впервые разработана аналитическая модель уровня промежуточного бункера угольной пыли котла ТПП-210А.

Практическая значимость. Модель может использоваться для разработки высокоэффективных систем регулирования пылеподачи.

Ключевые слова: пылеподача, аналитическая модель, котел ТПП-210А, промбункер пыли.

ANALYTICAL MODEL OF COIL DUST LEVEL FOR INTERMEDIATE HOPPER OF STEAM BOILER TPP-210A

KOVRIGO YU. M., SAKOV R.P., BUNKE A.S.

National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute»

Purpose. The development of an analytical model of the intermediate coil dust hopper level.

Methodology. Structural analysis of the dust hopper properties was used, also a mass balance equation model in the form of transfer functions.

Findings. The analytical model of the coil dust level for intermediate hopper of boiler TPP-210A that operating as a part of dust supply system with a high concentration under pressure was developed. The non-linear dependence of the level from material flows turned out on hopper's low load level.

Originality. For the first time an analytical model of the coal level in the intermediate hopper was developed.

Practical value. The model can be used to develop high-performance control systems for dust supply.

Keywords: dust supply, analytical model, TPP-210A boiler, intermediate dust hopper.

УДК 621.314

ШАВБОЛКІН О.О.

Київський національний університет технологій та дизайну

ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ПОНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Мета. Удосконалення функціональних можливостей перетворювального агрегату з покращеними енергетичними показниками.

Методика. Синтез структури силових кіл і системи керування перетворювального агрегату для комбінованої системи електроживлення з двома поновлювальними джерелами за паралельною роботою з централізованою мережею на основі аналізу електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими пристроями з використанням комп'ютерного моделювання.

Результати. Визначені можливості реалізації режимів функціонування системи, розроблено її структуру з підвищувальними перетворювачами поновлювальних джерел, виходи яких з'єднані з входом проміжного підвищувального перетворювача на вході інвертора; обґрунтовано систему керування, що підпорядкована регулятору напруги, функція якого визначається режимом роботи; розроблено комп'ютерну модель перетворювального агрегату з джерелами, мережею і навантаженням.

Наукова новизна. Запропоновано трирівневий релейний регулятор, удосконалено систему з трьома джерелами без акумуляторної батареї.

Практична значимість. Отримані рішення є основою для проектування комбінованих систем малої потужності з поновлювальними джерелами енергії.

Ключові слова: комбінована система електроживлення, поновлювані джерела енергії, інвертор напруги в режимі джерела струму, релейний регулятор струму, трирівневий релейний регулятор, регулятор напруги, автономний режим, моделювання.

Вступ. Актуальність розробки обумовлена потребами широкого впровадження локальних систем з поновлювальними джерелами енергії (ПДЕ) в умовах дії в Україні «зелених» тарифів [1] і міжнародних стандартів якості електроенергії [2], коли поряд з питанням генерування електроенергії стає питання забезпечення її якості. Удосконалення і запровадження систем з ПДЕ сприяє енергетичній безпеці України. Такі системи знаходять використання для житлових та офісних будівель, малих підприємств та інших локальних об'єктів. Питання щодо автономних систем електроживлення (АСЕ) з ПДЕ практично вирішено. Вітро-сонячні електростанції серійно випускаються багатьма виробниками [3].

Комбіновані системи електроживлення (КСЕ) [4] містять декілька різних ПДЕ, які через перетворювальний агрегат (ПА) з мережевим автономним інвертором напруги (МАІН) підключені до споживача і централізованої мережі (ЦМ). Об'єкти, зазвичай, є віддаленими від розподільчих пунктів і використовують існуючі ЦМ з обмеженою пропускну здатністю. Сучасне навантаження споживає реактивну потужність, має нелінійний характер і генерує вищі гармоніки. Підвищення коефіцієнту потужності χ на затискачах ЦМ зменшить втрати енергії і суттєво підвищить пропускну здатність мережі.

Постановка задачі. Існуючі структури КСЕ аналогічні АСЕ і використовують ведений мережею МАІН в режимі джерела синусоїдальної напруги. За наявності потужної акумуляторної батареї (АКБ) мають автономний режим (у разі відключення ЦМ), за відсутності АКБ – ні. Виключення з КСЕ потужних АКБ, які мають малий термін

експлуатації і значну вартість, дозволить зменшити вартість КСЕ і термін їх окупності. Але слід враховувати і підтримання комфортних умов споживача локального об'єкту у нештатних режимах.

В сучасних розробках основна увага приділяється суміщенню МАІН функції фільтро-компенсуючого пристрою (ФКП). В [5] питання розглядається щодо установи, яка працює паралельно з ЦМ і не має автономного режиму роботи. В [6] для системи з сонячною батареєю (СБ) передбачена робота у «нічному» режимі роботи, коли МАІН використовується як ФКП для навантаження об'єкту. В [7] розглядається КСЕ, яка працює паралельно з ЦМ і в автономному режимі з використанням АКБ і без неї. Проте ряд питань декларується і вивчено недостатньо. Це стосується керування МАІН у автономному режимі, реалізації їм функції безперервного живлення. Недостатньо вивчені питання розбудови структури ПА і системи керування за можливості реалізації різних режимів функціонування ПА КСЕ.

Результати дослідження. Почнемо з розгляду режимів функціонування перетворювального агрегату КСЕ і визначення можливостей їх реалізації:

1. Робота паралельно з ЦМ з функцією ФКП. Якщо генерована активна потужність ПДЕ $P_{ПДЕ}$ перевищує потужність навантаження P_H має місце передавання енергії у ЦМ, у протилежному випадку недостатня активна потужність споживається з ЦМ. За цього на затисках ЦМ підтримується коефіцієнт потужності $\chi=1$.

2. Робота з ЦМ за $P_{ПДЕ}=0$. Підтримується $\chi=1$ і ПА не передає активну потужність.

3. Автономний режим ПА на навантаження (у разі відключення ЦМ) за $P_{ПДЕ} > 0$.

3.1. У разі використання в ПА АКБ значної ємності. Якщо $P_{ПДЕ} > P_H$ має місце заряджання АКБ. За повного заряду АКБ (100%) виникає потреба зменшення $P_{ПДЕ}$. Якщо $P_{ПДЕ} < P_H$, то недостатня потужність споживається з АКБ і має місце її розряджання.

3.2. За відсутності АКБ. Якщо $P_{ПДЕ} > P_H$ є потреба регулювання (зменшення) $P_{ПДЕ}$. Якщо $P_{ПДЕ} < P_H$ виникає питання обмеження P_H . Це можливо шляхом відключення певного навантаження і регулюванням $P_{ПДЕ}$ для підтримання балансу енергії. Можна запропонувати регулювання P_H за рахунок змінювання напруги у припустимих межах $\pm 10\%$, що дає можливість отримати потужність навантаження $(0.8 \div 1.2) P$ відносно поточного значення.

3.3. У разі використання «резервної» АКБ мінімальної ємності. За цього реалізація питань п. 3.2 спрощується підключенням АКБ для скидання надлишкової енергії або відбирання недостатньої.

4. Аварійний автономний режим за відсутності живлення ЦМ і генерації ПДЕ, коли за використанням «резервної» АКБ здійснюється безперебійне живлення окремих споживачів.

Отже, повноцінне функціонування КСЕ можливо забезпечити без АКБ з ємністю, яка розрахована на максимальне навантаження, і має використовуватися лише у режимах 3 і 4. Доцільним виглядає варіант КСЕ з використанням «резервної» АКБ, що виключає потребу у додатковому джерелі безперебійного живлення.

Розглянемо ПА КСЕ, що працює на однофазну ЦМ з використанням СБ на максимальну потужність 3 кВт і вітрогенератору (ВГ) типу EuroWind 2 з максимальною потужністю 3 кВт. У ВГ застосовано трифазний синхронний генератор з постійними магнітами. ВГ працює за швидкістю вітру $2 \div 12$ м/с і за номінальною швидкістю має вихідну напругу 120 В. Напруга ВГ пропорційна швидкості і змінюється від 20 до 120 В. СБ

складається з 12 панелей потужністю 250 Вт і напругою близько 30 В за максимальної освітленості. Напруга СБ залежно від освітленості теж суттєво змінюється.

Запропонована структура силових кіл ПА наведена на рис.1,а, схема підключення МАІН до ЦМ і навантаження на рис.1,б. Маємо два кола постійного струму: спільне для ПДЕ утворюють їх імпульсні перетворювачі ІП1, ІП2 (ВГ підключено до ІП2 через трифазний випрямляч - В), що за виходом з'єднані паралельно і вхідне МАІН. Для функціонування МАІН з функцією ФКП необхідно підтримувати на його вході напругу $U_d \geq 1.1U_{1m}$ (U_{1m} - амплітуда напруги ЦМ). Для цього в схему введено підвищувальний ІП3. З урахуванням змінювання напруги ПДЕ доцільно використовувати підвищувальні перетворювачі. Для підвищення напруги СБ з'єднуємо сонячні панелі у 2 паралельні гілки по шість панелей послідовно з максимальною напругою близько 180 В. Резервна АКБ підключена через знижувальний ІП4, що забезпечує її заряджання і у разі $P_{ПДЕ} = 0$, за потреби, подає живлення на ІП3 безпосередньо. ІП1 і ІП2 мають релейні регулятори вхідного струму, що забезпечує керований відбір потрібної (максимальної) потужності від ПДЕ. ІП3 має релейний регулятор

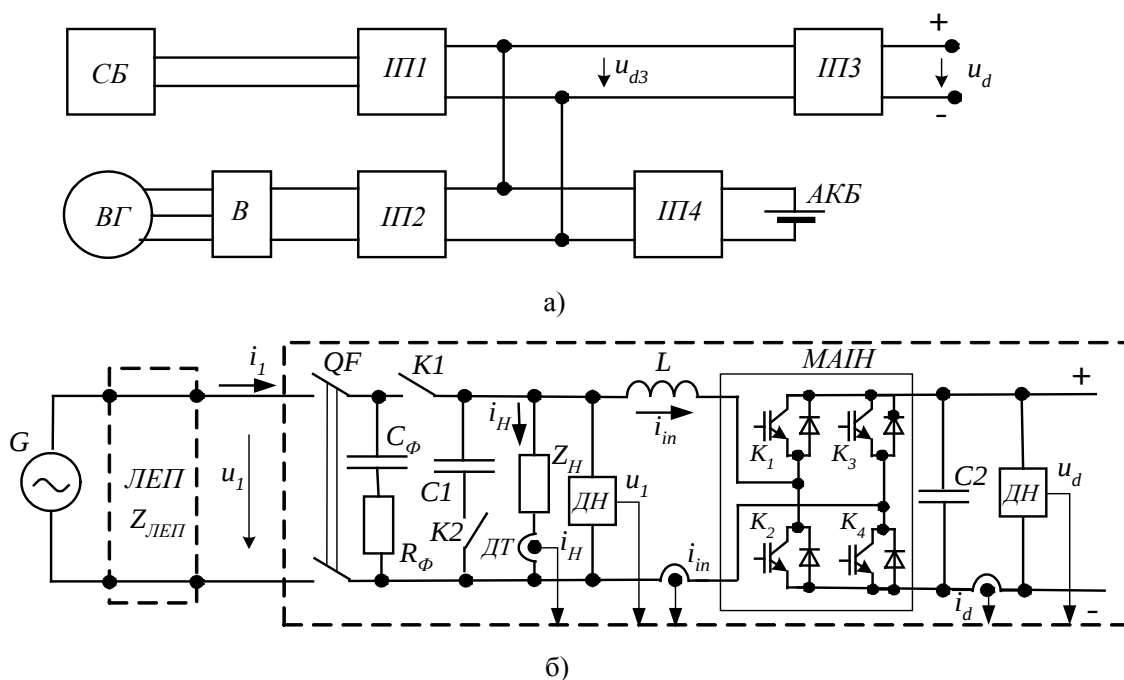


Рис. 1. Структурна схема силових кіл ПА (а),
підключення МАІН до ЦМ і навантаження (б)

вхідного струму (РРС), завдання якого $I_{зad} \leq \frac{P_{ПДЕ}}{U_{ПДЕМАХ}}$ ($U_{ПДЕМАХ}$ - напруга ПДЕ, яка на даний момент є найбільшою) або визначається регулятором напруги (РН).

Запропонована структура кола підключення МАІН (рис.1,б) містить: ЦМ (джерело змінного струму G, лінію електропередавання (ЛЕП) з опором $Z_{ЛЕП}$), однофазний мостовий МАІН на чотирьох ключах $K_1 \div K_4$ (IGBT зі зворотним діодом), автоматичний вимикач QF, контактор K1 для підключення до ЦМ, контактор K2 для підключення конденсатора C1, навантаження Z_H , реактор L, конденсатор на вході МАІН C2, датчики напруги u_1 , u_d , датчики

струму i_H , i_{in} , i_d . Для придушення високочастотних гармонік встановлено фільтр (R_ϕ, C_ϕ). Використання у вихідних колах МАІН конденсатору у разі роботи з ЦМ є недоречним, адже напруга ЦМ є синусоїдальною, і призводить до додаткового навантаження МАІН за струмом. До того ж, наявність ємності у колі з індуктивністю може спричинити резонанс.

МАІН використовується у режимі джерела змінного струму з РРС. Для зменшення втрат енергії на перемикання ключів МАІН запропоновано використати трирівневий РРС, який має додатковий релейний елемент (РЕ) з рівнем спрацьовування $\delta_I = (1.2 \div 1.5)\delta$ (δ - задане відхилення РРС), що забезпечує реалізацію однополярної модуляції [8].

Робота МАІН паралельно ЦМ. Задане значення струму i_{in}^* для МАІН визначається рівнянням $I_{1m} \sin \omega t = i_H + i_{in}$. За умови балансу потужності у колі, напруга U_d має бути постійною, що забезпечується пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором напруги РН, який визначає значення I_{1m} . Отже МАІН працює, як ведений мережею, за функцією $\sin \omega t$, що визначається згідно u_1 . Ця ж структура працює і у разі роботи МАІН з ЦМ за $P_{ПДЕ} = 0$, коли МАІН забезпечує лише функцію ФКП.

Автономний режим роботи. У разі зникнення напруги ЦМ контактор К1 відключається. Для забезпечення синусоїдальної форми напруги навантаження контактором К2 підключається конденсатор $C1$ і МАІН працює з LC фільтром. Для формування миттєвого значення напруги МАІН u_1 запропонована двоконтурна система регулювання з зовнішнім пропорційно-інтегральним РН і внутрішнім контуром струму з РРС. Завдання напруги формується генератором синусоїдальної напруги. Така побудова системи регулювання дозволяє виключити викривлення форми напруги у разі нелінійного навантаження, здійснити обмеження вихідного струму МАІН, що потрібно для виключення пошкодження ключів у перехідних режимах роботи. Також можливо регулювання амплітуди напруги U_{1m} і, відповідно, потужності навантаження. Підтримання напруги U_d у цьому разі забезпечує ПІ регулятор напруги, що визначає завдання $I_{зад}$ для РРС перетворювача ПЗ.

Результати комп'ютерного моделювання. Моделювання здійснювалось для системи, що відповідає рис.1. Розглядалась робота МАІН на активно-індуктивне і нелінійне навантаження. В якості нелінійного навантаження використано випрямляч з вихідним ємнісним фільтром. ПДЕ розглядались спрощено, як джерела напруги, що навантажені відповідними ПІ.

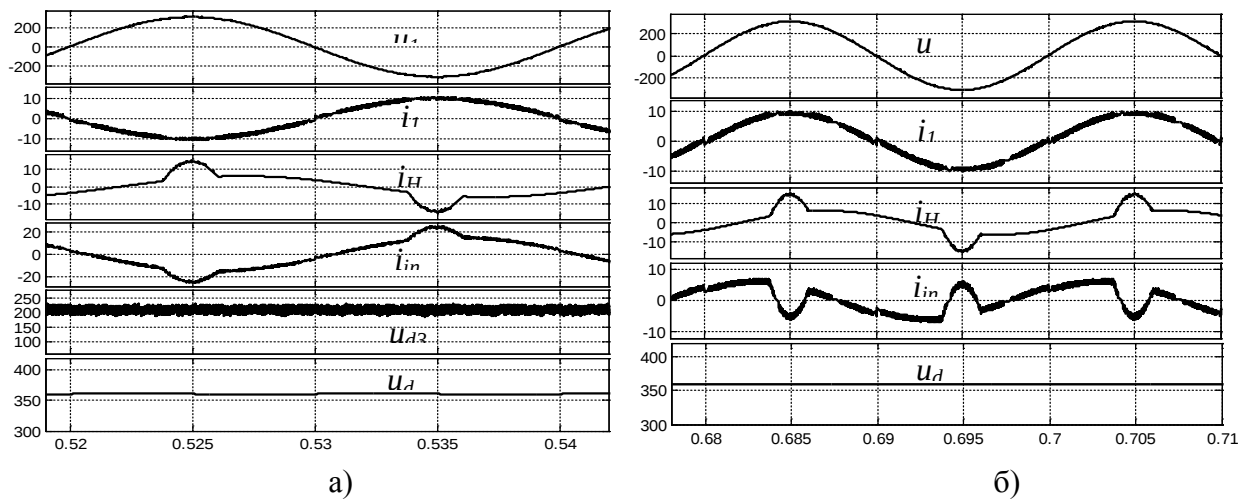


Рис. 2. Робота МАІН паралельно з ЦМ (а) і за відсутності генерації ПДЕ (б)

На рис.2,а наведені осцилограми напруги і струмів для режиму роботи МАІН паралельно з ЦМ. За цього напруга $U_1 = 220$ В, індуктивність реактору $L = 2$ мГн, постійна напруга на вході МАІН $U_d = 360$ В, $U_{CB} = 90$ В, $I_{CB} = 10$ А, $U_{BG} = 120$ В, $I_{BG} = 20$ А, $U_{d3} = 210$ В.

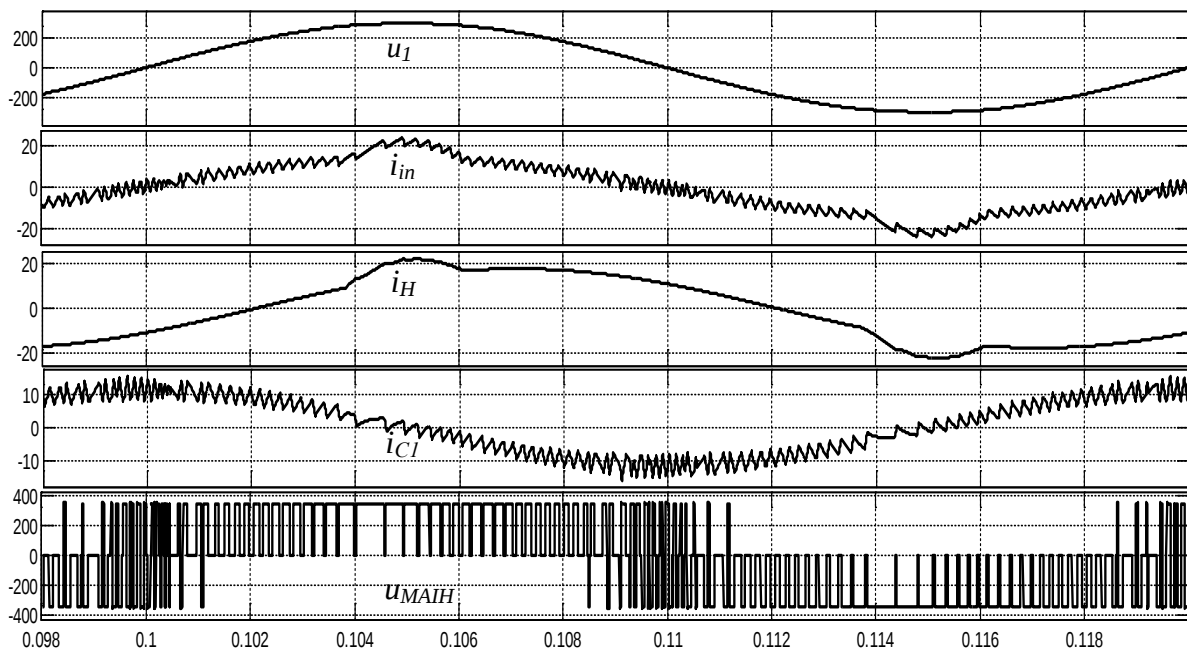


Рис. 3. Осцилограми напруги і струмів у автономному режимі роботи МАІН

Потужність $P_{ПДЕ} > P_H$ і має місце генерування енергії у ЦМ. На рис.2,б наведені осцилограми напруги і струмів за $P_{ПДЕ} = 0$. У цьому разі має місце споживання з ЦМ лише активної потужності. На (рис.3) наведені осцилограми напруги і струмів для автономного

режиму роботи МАІН за дещо завищеним значенням відхилення δ для РРС. За цього $C_1 = 100$ мкФ. Високочастотні складові струму МАІН замикаються через конденсатор. Можна побачити, що МАІН здійснює однополярну модуляцію напруги.

Висновки. Запропоновані принципи керування однофазним мостовим МАІН у режимі джерела струму дозволяють забезпечити роботу КСЕ по відношенню до ЦМ з χ близьким до 1, як у разі лінійного, так і нелінійного навантаження з одночасною генерацією електроенергії у ЦМ. За цього здійснюється однополярне формування напруги і практично у два рази зменшується кількість перемикачів ключів. Запропонована структура силових кіл і системи керування ПА дозволяє здійснити реалізацію різних режимів функціонування КСЕ за відсутності АКБ у ланці постійного струму.

Подальшим розвитком роботи є дослідження і удосконалення системи керування щодо забезпечення балансу потужності у автономному режимі.

Список використаної літератури

1. Постанова НКРЕКП. Про встановлення "зелених" тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств. № 2046 від 20.07.2015.
2. IEEE Standard 519-1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, Jun. 1992.
3. Офіційний сайт «BEKAR. Ветро-солнечная система» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу - : <http://www.ra-energo.ru/vetro/>.
4. Каплун В. В. Комбіновані системи електроживлення з поновлюваними джерелами енергії [Текст] / В. В. Каплун, В. В. Козирський, А. В. Петренко – К.: ЦТІ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 330с.: іл.134.
5. Tsao-Tsung Ma. Power quality enhancement in micro-grids using multifunctional DG inverters. International multiconference of Engineers and Computer Scientists, 2012 Vol II, Hong Kong. 2012 - pp.996-1001.
6. Sung-Hun Ko. A Grid-Connected Photovoltaic System with Direct Coupled Power Quality Control / Sung-Hun Ko, Seong-Ryong Lee, Hooman Dehbonei, C.V. Nayar // IEEE Transactions, 2006.- pp.5203-5208.
7. Каплун В. В. Удосконалення перетворювального агрегату комбінованої системи електроживлення з поновлювальними джерелами енергії. В. В. Каплун, О. О. Шавьолкін / «Електротехнічні та комп'ютерні системи» № 22 (98), Наука і техніка, 2016.- С.165-169.
8. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник / О. О. Шавьолкін; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 403 с.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АГРЕГАТ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЕЛЕКТРОПИТАНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ШАВЁЛКИН А.А,

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование функциональных возможностей преобразовательного агрегата с улучшенными энергетическими показателями.

Методика. Синтез структуры силовых цепей и системы управления преобразовательного агрегата для комбинированной системы электропитания с двумя

возобновляемыми источниками при параллельной работе с централизованной сетью на основе анализа электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми устройствами с использованием компьютерного моделирования.

Результаты. Определены возможности реализации режимов функционирования системы, разработана ее структура с повышающими преобразователями возобновляемых источников, выходы которых соединены с входом промежуточного повышающего преобразователя на входе инвертора; обоснована система управления, подчиненная регулятору напряжения, функция которого определяется режимом работы; разработана компьютерная модель преобразовательного агрегата с источниками, сетью и нагрузкой.

Научная новизна. Предложено трехуровневый релейный регулятор, усовершенствована система с тремя источниками без аккумуляторной батареи.

Практическая значимость. Полученные решения являются основой для проектирования комбинированных систем малой мощности с возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: *комбинированная система электропитания, возобновляемые источники энергии, инвертор напряжения в режиме источника тока, релейный регулятор тока, трехуровневый релейный регулятор, регулятор напряжения, автономный режим, моделирование.*

CONVERTER UNIT OF COMBINED POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

SHAVELKIN A.A.

Kiev National University of Technologies and Design

Purpose. Improving the functionality of the converter unit, which has improved energy indicators.

Methodology. Synthesis of structures of power circuits and control system of converter unit for the combined power system with two renewable sources in parallel operation of the unit with a centralized network, which is based on the analysis of electromagnetic processes in electrical circuits with semiconductor devices and using computer simulation.

Findings. Are determined possibility of realization the system operating modes, there is designed its structure with the step-up converters for renewable sources, the outputs of which are connected to the input of an intermediate step-up converter to the inverter input; It has proposed control system, which is subordinate to the voltage regulator, the function of which is determined by the mode of operation; developed a computer model of the converter unit with the sources, the network and the load.

Originality. The three-level control relay has invented, improved system with three sources without battery.

Practical value. The resulting solutions are the basis for the design of the combined low-power supply system with using renewable energy sources

Keywords: *the combined system of power supply, renewable energy, current controlled voltage source inverter, hysteresis current controller, a three-level hysteresis controller, voltage controller, autonomous mode, modeling.*

UDC 621.548.5:533.69 (045)

SINEGLAZOV V., ZIGANSHIN A.
National aviation university

EFFECTIVE DARRIEUS H-ROTOR WITH OPTIMAL PITCH ANGLES OF BLADES

Purpose. To create the computational method to determine optimal pitch angles of straight blades for the Darrieus rotor.

Methodology. Method to determine optimal pitch angles to increase the efficiency of the Darrieus H-rotor.

Findings. Torque and power characteristics of Darrieus H-rotor versus tip speed ratio and pitch angles.

Originality. Optimal pitch angles for all the work conditions of the rotor were obtained.

Practical value. It was shown that the controlling of the blades deflection can provide to create and increase the starting torque and also to enlarge the rotor efficiency.

Key words: aerodynamics, controlled pitch angles, Darrieus rotor, wind turbine.

Introduction. It is well known that the Darrieus rotor is rather efficient among vertical axis wind turbines. But it is not self starting at low wind speed and there is a problem of having excessive runaway in strong wind. This paper conducts with the controlled ways of providing the Darrieus rotor with the self starting, cutting of the runaway and further increase of its efficiency.

Definition of objective. Two principal views of blades control (passive and active) are distinguished. At passive blades control each turbine blade has turn possibility due to crosspiece and, depending on a site of this axis on chord blade, aerodynamic (or inertial) forces will try to turn the blade towards the reduction of angle of attack. If putting any elastic catchers of blade turn on crosspiece a possibility arises to passively regulate an angle of attack of blade depending on turbine rotation speed. The detailed review of such devices is presented in [1], as well as results of tests, models and the natural samples. An active pitch control presumes optimal individual angles of attack for every blade. There is presented vector chart (Fig.1) for determining the local angle α of attack for a blade and incident wind speed U with the wind speed upstream U_∞ and with the rotational one ωR [2].

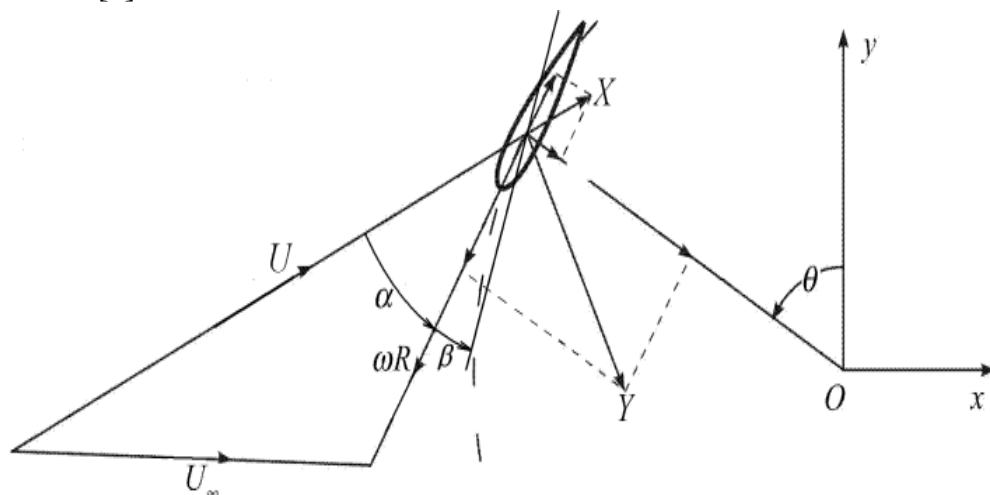


Fig.1. Vector chart of velocities and forces acting the blade. θ is the azimuth angle of the blade, ω is the angular velocity of the rotor, R is the rotor radius, β is the pitch angle

It may be written from the vector triangle of speed (Fig.1):

$$U^2 = U_{\infty}^2 + (\omega R)^2 + 2U_{\infty} \omega R \cos \theta, \quad \frac{U_{\infty}}{\sin \alpha} = \frac{U}{\sin \theta}.$$

Introducing dimensionless values for the incident wind speed U and the rotational one ωR respectively:

$$\bar{U} = \frac{U}{U_{\infty}}, \quad \lambda = \frac{\omega R}{U_{\infty}},$$

we have the more compact formulae:

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}^2 &= \lambda^2 + 2\lambda \cos \theta + 1, \\ \sin \alpha &= \frac{1}{\bar{U}} \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Dependence of the local angle α of attack for the non-deflected blade versus the tip speed ratio (TSR) λ is calculated and the azimuth angle θ using the formulae (1) is presented in (Fig.2):

As it is seen from this diagram the angles of attack have not always the optimal values and they ought to be properly reduced.

Torque of the blade versus azimuth angle θ :

$$M(\theta) = (Y \sin \alpha - X \cos \alpha) R. \quad (2)$$

Taking into account the pitch angle β (Fig.1) the formula (2) is transformed to the form:

$$M(\theta) = [Y \sin(\alpha + \beta) - X \cos(\alpha + \beta)] R.$$

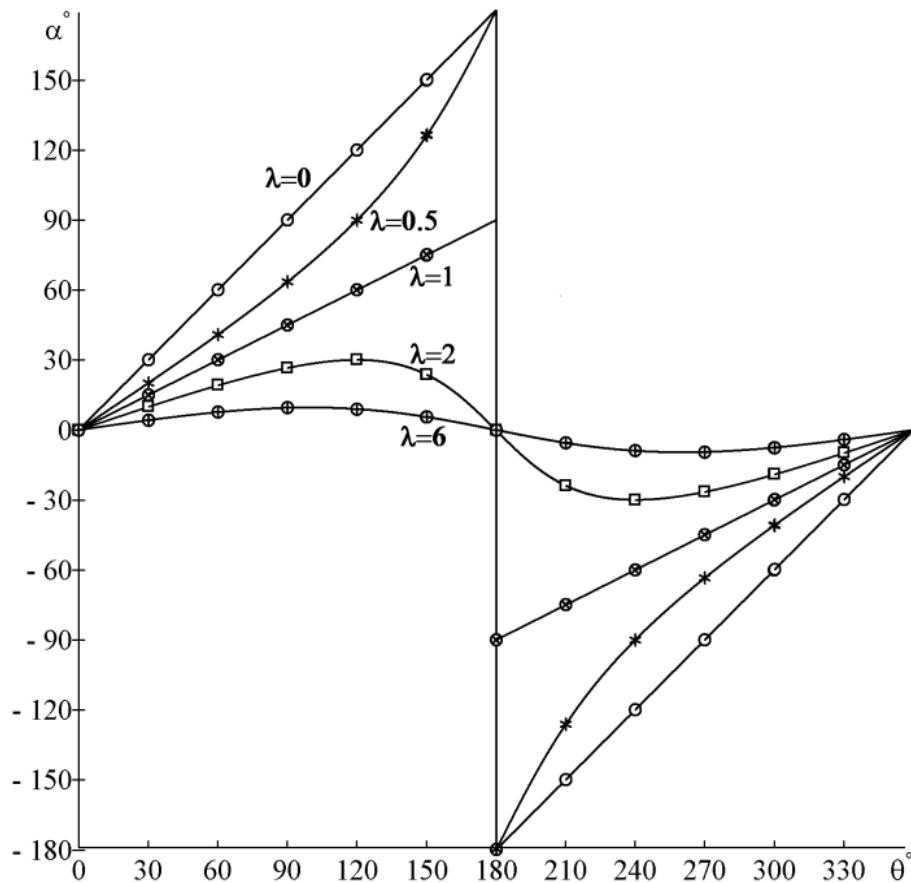


Fig.2. Angles of attack

Moving to the dimensionless form we obtain the torque coefficient for the blade:

$$C_M(\theta) = [C_Y \sin(\alpha + \beta) - C_X \cos(\alpha + \beta)] \bar{R} / \bar{U}^2,$$

where $\bar{R} = R/L_{REF}$ is the dimensionless radius;

L_{REF} is the characteristic dimension (usually it is the rotor diameter D).

Thus averaged torque and power coefficients for the rotor are respectively:

$$\left. \begin{aligned} C_T &= \frac{i}{2\pi} \int_0^{2\pi} C_M(\theta) d\theta, \\ C_P &= C_T \lambda, \end{aligned} \right\}$$

where i is the number of blades.

It is necessary to find pitch angles β to enhance the efficiency C_P over the whole range of service wind speed with:

$$\left. \begin{aligned} &\max_{\beta} C_P, \\ &0 < \lambda < \lambda_{\max}, 0 < \theta < 2\pi. \end{aligned} \right\}$$

Trapezium method is used to determine the torque coefficient C_T and the power one C_P .

The dependence of the optimal pitch angles β_{opt} throughout the full range of azimuth angles θ of blades position for various values of TSR λ is presented in (Fig.3) for the NACA 0018 airfoil.

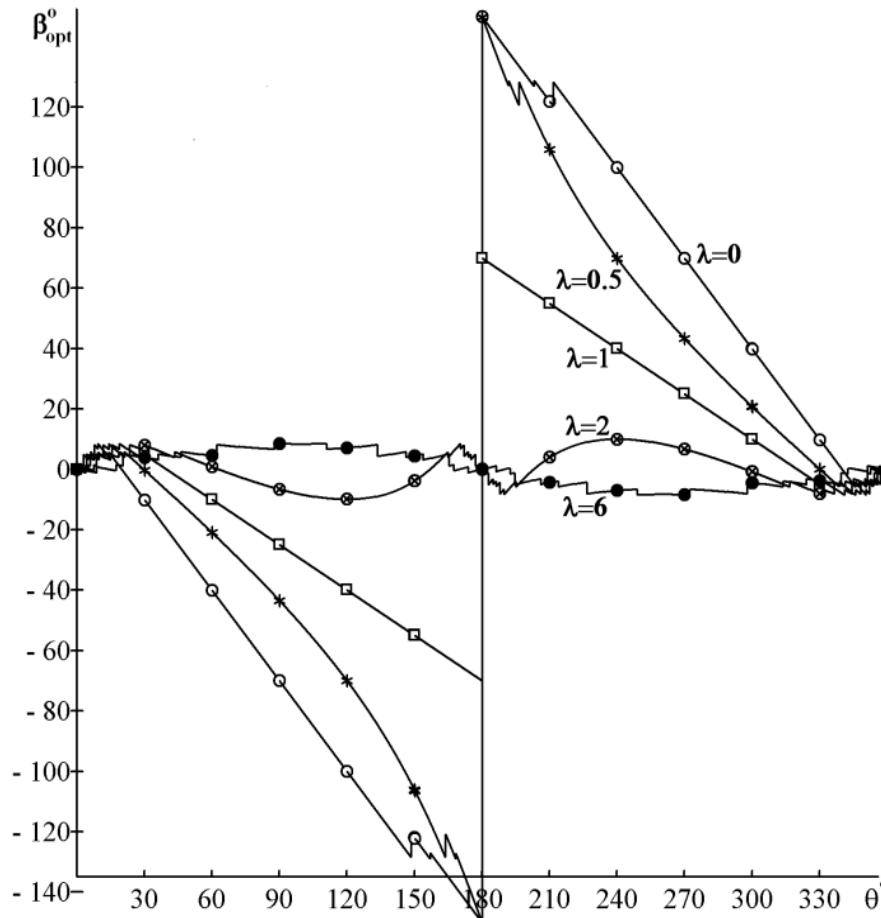


Fig.3. Optimal pitch angles

Naturally we have obtained the values of the actual angles of attack ($\alpha + \beta$) in the range where the airflow is without separation.

At low values of tip speed ratio λ the blade oscillations with the big angular amplitude of β are more effective, and at higher values λ the oscillations with the small angular amplitude of β are efficient. It agrees with the test results in wind tunnels [3-5].

In (Fig.4) and (Fig.5) the curves of torque and power coefficients versus TSR λ for the fixed and the controlled pitch angles β are presented.

It must be noted from the picture (Fig.4) that controlling the pitch angles generates the starting torque which was absent before. The phenomenon of the torque coefficient curve falling at the beginning of motion (Fig.4) may be explained with the impairing of blades work due to very low values of the incident wind speed in the range of azimuth angles from 90 to 270 degrees where the wind speed is greater than the rotational one.

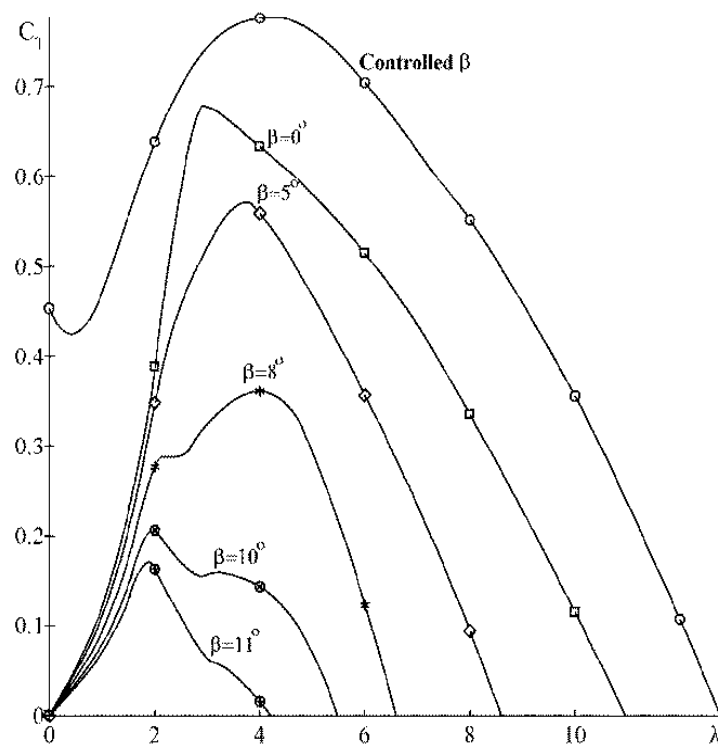


Fig.4. Torque coefficient

As it is seen from the curves the best non-controlled pitch angle equals to zero. Thus we may conclude that if we fix the blades it is very important to make it accurately. A case when we control the pitch angles only by TSR has not shown in (Fig.4) and (Fig.5) because of it is practically coincided with the curve for the case of $\beta = 0$. Thus we may resume that there is no sense to control pitch angles only by TSR.

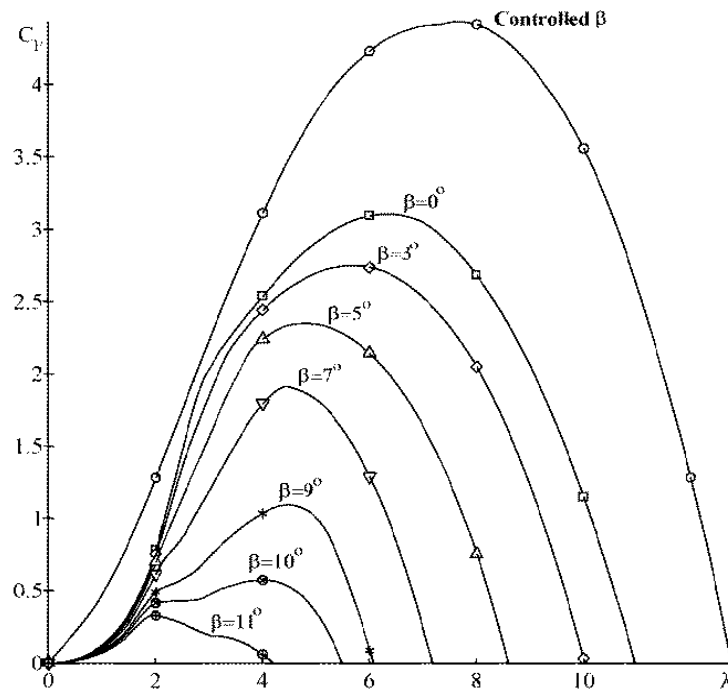


Fig.5. Power coefficient

Expressions for calculate the rotor torque and power coefficients via TSR λ and pitch angles β of the blades for the whole range of azimuth location θ of blades have been obtained.

The suitable computer aided algorithm was produced to determine the optimal values of pitch angles β_{opt} throughout the full range of azimuth angles θ of blades position for various values of tip speed ratio λ .

Controlling the blades deflection provides:

- to create and increase the starting torque coefficient C_T (which was absolutely absent earlier) at low wind speed that leads to decreasing of the cut in wind speed;
- to enlarge the rotor efficiency C_p at exploitation range of wind speeds (up to 40% of increasing for the value of TSR $\lambda = 6$);
- to impair the work of rotor with zero rotation with the zero torque coefficient C_T to avoid its damage at excessive strong wind;
- to increase the cut off (autorotational) value of TSR λ .

Thus controlling of pitch angles widens the work range of the rotor TSR. Controlling of the pitch angles may be successfully used in tidal and water wave energies where it takes place alternating to and from the coast stream direction apart from the rotation of the rotor itself. The values of the optimal pitch angles diminish with the increasing of the TSR.

Conclusions. Further investigations must be made taking into account the interference between the rotor blades and damping with the rotation ω of the blades.

It is probable controlling of the pitch angles of blades may essentially diminish:

- the appearance of vortices and turbulence in the downstream airflow, that would improve efficiency of the leeward side blades;
- the aerodynamic load on the rotor shaft.

References

1. Kirke B.K. Evaluation of self-starting vertical axis wind turbines for stand-alone applications. PhD thesis, Griffith University, Australia, 1998.
2. Oler, J.W., Strickland, J.H., Graham, G.H. Dynamic stall regulator of the Darrieus turbine // SAND 83-7029. Texas technical university. 1983, P. 154.
3. Grylls W., Dale B. Sarre P. A. Theoretical and experimental investigation into the variable pitch vertical axis wind turbine. Second International Symposium on Wind Energy Systems. Amsterdam, Netherlands (Oct. 3-6, 1978), pp. 101–118, 1978.
4. Brulle R.V. Giromill wind tunnel tests and analysis. proceedings of the third wind energy workshop. (Sep. 19-21, 1977) Washington, DC, pp. 775–793, 1977.
5. Strickland J.H. The darrieus turbine: a performance prediction model using multiple streamtubes. SAND 75-0431, 1975.

ЭФФЕКТИВНЫЙ Н-РОТОР ДАРЬЕ С ОПТИМАЛЬНЫМИ УГЛАМИ ОТКЛОНЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ

СИНЕГЛАЗОВ В.М., ЗИГАНШИН А.А.

Национальный авиационный университет

Цель. Создать численный метод для определения оптимальных углов отклонения прямых лопастей Н-ротора Дарье.

Методика. Метод определения оптимальных углов отклонения для увеличения эффективности Н-ротора Дарье.

Результаты. Характеристики крутящего момента и мощности Н-ротора Дарье в зависимости от быстроходности и углов отклонения лопастей.

Научная новизна. Получены оптимальные углы отклонения для всех режимов работы ротора.

Практическая значимость. Было показано, что управление отклонением лопастей может обеспечить создание и увеличение пускового момента и также повысить эффективность работы ротора.

Ключевые слова: аэродинамика, управление отклонением, ротор Дарье, ветровая турбина.

ЕФЕКТИВНИЙ Н-РОТОР ДАР'Є З ОПТИМАЛЬНИМИ КУТАМИ ВІДХИЛЕННЯ ЛОПАСТЕЙ

СИНЕГЛАЗОВ В.М., ЗИГАНШИН А.А.

Національний авіаційний університет

Мета. Створити числовий метод для визначення оптимальних кутів відхилення прямих лопастей ротора Дар'є.

Методика. Метод визначення оптимальних кутів відхилення для покращення ефективності Н-ротора Дар'є.

Результати. Характеристики крутного моменту і потужності Н-ротора Дар'є в залежності від швидкохідності та кутів відхилення лопастей.

Наукова новизна. Отримано оптимальні кути відхилення для усіх режимів роботи ротора.

Практична значимість. Було показано, що керування відхиленням лопастей може забезпечити створення і збільшення пускового моменту та підвищити ефективність роботи ротора.

Ключові слова: аеродинаміка, керування відхиленням, ротор Дар'є, вітрова турбіна.

УДК 658.260

МИКОЛЮК О.А.

Хмельницький національний університет

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ: МІКРОРІВЕНЬ

Мета. Дослідження основних аспектів формування енергетичної безпеки, факторів впливу на її забезпечення на рівні підприємства.

Методика. Використання методів аналізу та синтезу, порівняння, методу узагальнення, системного підходу.

Результати. Досліджено суть і значення енергетичної безпеки як стану забезпечення держави енергоресурсами для реалізації відтворюваних процесів у національній економіці та стану безпеки енергетичного комплексу України.

Наукова новизна. Підходи щодо визначення факторів та основних напрямів підвищення енергетичної безпеки.

Практична значимість. Результати дослідження мають бути використані при обґрунтуванні практичних кроків формування енергетичної безпеки підприємства.

Ключові слова: енергетична безпека, фактори впливу, енергоринок, конкуренція, енергоресурси.

Вступ. Сьогодення української держави тісно пов'язане з проблемами безпеки, від успішного та вчасного вирішення яких залежить стабільність та стійкість вітчизняної економіки, її здатність до розвитку та життєдіяльність усієї держави.

Здійснення господарської діяльності в умовах постійної динаміки енергоринку, глобалізації економіки, зростання конкуренції ставить перед вітчизняними підприємствами вимоги щодо оперативного захисту своїх економічних інтересів. Система енергетичної безпеки підприємства набуває першочерговості у системі стратегічного управління підприємством.

Враховуючи необхідність забезпечення належного рівня енергоефективності промислової продукції, проведення зваженої обґрунтованої політики в області енергетичної безпеки підприємства актуальності набувають завдання пов'язані з формуванням комплексу факторів та напрямків збалансованості управлінських рішень щодо енергетичної складової безпеки підприємства.

Зважаючи на посилену увагу до проблем енергетичної безпеки на рівні держави дана проблематика розглядається багатьма науковцями, серед яких праці: Ю. Архангельського, З. Варналія, В. Геєця, М. Гончара, Б. Данилишина, М. Долішнього, С. Дорогунцова, Ф. Заставного, М. Куліка, Б.Синякевичата інших. Результати їх досліджень охоплюють широке коло питань зазначеної проблеми. У той же час багато питань щодо забезпечення енергетичної безпеки підприємств як теоретичного, так і прикладного характеру залишаються не вирішеними.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз та дослідження основних факторів та напрямків забезпечення енергетичної безпеки на рівні підприємства.

Результати дослідження. Вперше про проблеми енергетичної безпеки у країнах СНД зайшла мова на початку 90-х - як однієї зі складових економічної безпеки. В свою чергу економічна безпека вимагає наявності у держави достатніх ресурсів для реалізації відтворюваних, самовдосконалювальних процесів у всіх сферах прикладання суспільно

корисної праці, забезпечення незалежності національної економіки, забезпечення стабільності суспільного ладу та можливостей самостійно формувати та здійснювати внутрішню та зовнішню політику [2; 4].

Економічна безпека сьогодні є однією з найважливіших частин національної безпеки України і нерозривно пов'язана із іншою складовою національної безпеки, а саме енергетичною безпекою [5; 8].

Енергетична безпека як одна із складових національної безпеки проявляється по перше як стан забезпечення держави енергоресурсами для реалізації відтворюваних процесів у національній економіці, що гарантують її повноцінну життєдіяльність і, по друге, як стан безпеки енергетичного комплексу України.

У науковій літературі є досить велика кількість визначень енергетичної безпеки [1-3], проте найбільш доцільним є розуміння категорії «енергетична безпека» як стану захищеності життєво важливих «енергетичних інтересів» особистості, суспільства, держави від внутрішніх та зовнішніх загроз, що забезпечує безперебійне задоволення споживачів економічно доступними ПЕР прийнятної якості за нормальних умов та в надзвичайних ситуаціях [6-9]. В свою чергу, сутність енергетичної безпеки підприємства, на думку Т.Б. Надтоки та О.В. Амеліницької, полягає у ступені захищеності підприємства, його енергопостачання від зовнішніх та внутрішніх загроз в умовах нормального функціонування з урахуванням перспективи розвитку, а також ступеня енергозабезпечення мінімально необхідних потреб в енергії в надзвичайній ситуації [10-11].

Виходячи із ряду проведених досліджень наукових праць нами сформовано погляд на енергетичну безпеку, що характеризується рядом факторів та напрямками її забезпечення. (рис 1.)

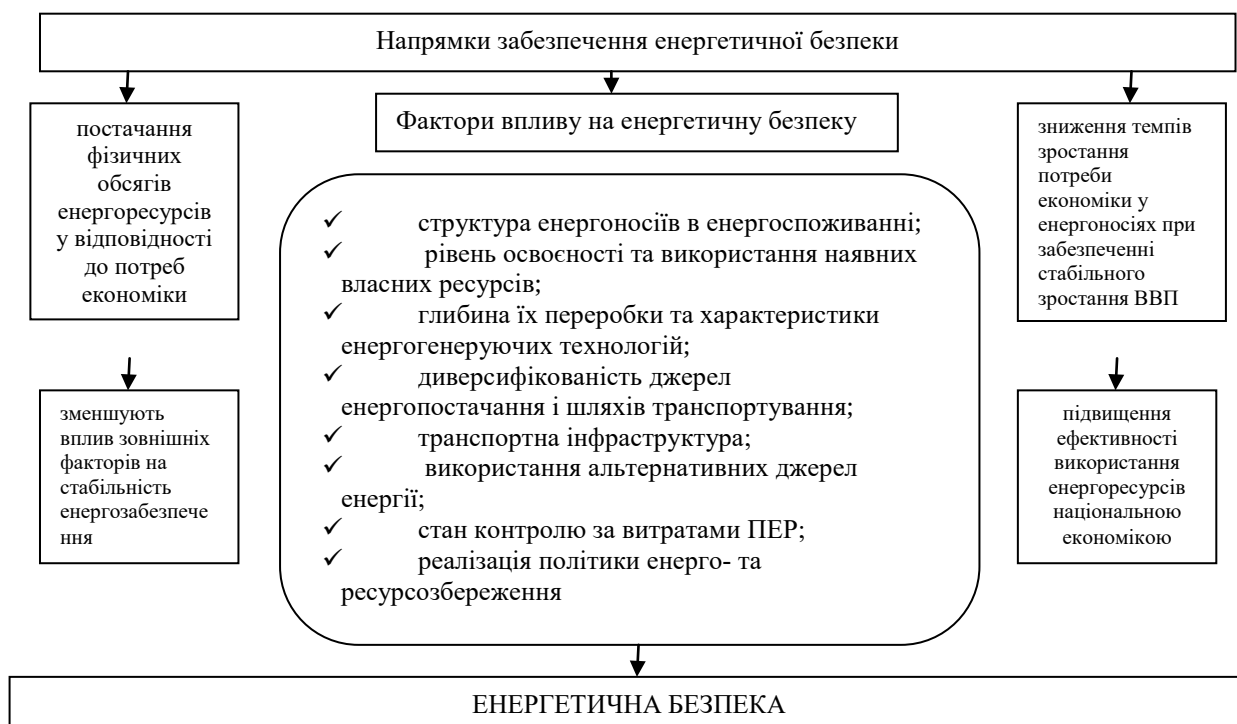


Рис. 1. Фактори впливу та напрямки забезпечення енергетичної безпеки

Наведені напрями також сприяють зміцненню економічної безпеки держави. Кожен із приведених напрямів має свої пріоритети.

До факторів, які зумовлюють напрямки та пріоритети енергетичної безпеки держави належать наступні управлінські рішення (табл.1).

Таблиця 1.

Реалізація напрямків забезпечення енергетичної безпеки

Напрямки забезпечення енергетичної безпеки	Управлінське рішення щодо реалізації напрямку
Постачання енергоресурсів у відповідності до потреб економіки	максимальне використання наявних власних енергоресурсів та джерел енергії шляхом інтенсифікації власних обсягів видобутку, поглиблення глибини переробки, нових технологій перетворення енергії, використання вторинних енергоресурсів
	унікнення монопольної залежності поставок енергоносіїв (практично монопольні поставки нафти, газу ядерного палива) через диверсифікацію джерел імпорту енергоносіїв та шляхів транспортування
	модернізації основних фондів, у першу чергу підприємств ПЕК (рівень зношеності основних фондів ПЕК складає біля 60%)
	розроблення сукупності заходів для забезпечення життєдіяльності економіки на випадок не передбачуваних обставин у ПЕК чи з поставками ПЕР
ниження темпів зростання потреби економіки у енергоносіях при забезпеченні стабільного зростання ВВП	зміна структури промислового виробництва шляхом зменшення питомої ваги енерго- та ресурсоємних галузей
	комплексна модернізація та переозброєння господарських комплексів України на основі енергозбереження, впровадження найновіших енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мереж
	зміну структури промислового виробництва шляхом зменшення питомої ваги енерго- та ресурсоємних галузей
	зменшення марнотратного та безгосподарного використання ПЕР та вторинних енергоресурсів
	розширення використання альтернативних джерел енергії; формування у населення держави енергозберігаючого світогляду

**Примітка. Сформовано автором на основі [10]*

Таким чином, аналіз пріоритетів обох напрямів забезпечення енергетичної безпеки вказує на енергозбереження як ключовий напрям прикладання зусиль держави.

Кожна держава при формуванні пріоритетів свого розвитку, має враховувати фактори, що загрожують її національній безпеці. Таким чином, зважаючи на необхідність забезпечення економічної безпеки держави, при формуванні програм соціально-економічного розвитку мають враховуватись також фактори, що впливають на енергетичну безпеку держави.

Структура економіки України характеризується значною часткою матеріало- та енергоємних галузей, в результаті чого досягнення рівня енергоємності ВВП розвинених країн, в структурі економіки яких домінує сфера послуг та наукомісткі галузі виробництва, без структурної перебудови української економіки, є неможливим. Враховуючи прогнозований потенціал зниження споживання енергії за рахунок ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що засвідчені в розрахунках і

висновках Енергетичної стратегії України на період до 2030 року та подальшу перспективу [5], складає 51,3%. Реалізація потенціалу дасть можливість знизити споживання ПЕР, що дозволить зменшити залежність від імпорту енергоносіїв.

Отже, проблема ефективного використання енергоресурсів за своєю стратегічною важливістю не поступається проблемі диверсифікації джерел їх постачання, оскільки наслідком низькоефективного споживання ПЕР є висока собівартість виробленої продукції, робіт (послуг), що зумовлює зниження рівня конкурентоздатності національної економіки.

За даними Державної служби статистики України підприємствами й організаціями всіх видів економічної діяльності у 2015р. використано 109,8 млн.т умов.палив первинних і вторинних видів (з урахуванням обсягів реалізації населенню), що на 14% менше, ніж у попередньому році (рис. 2).

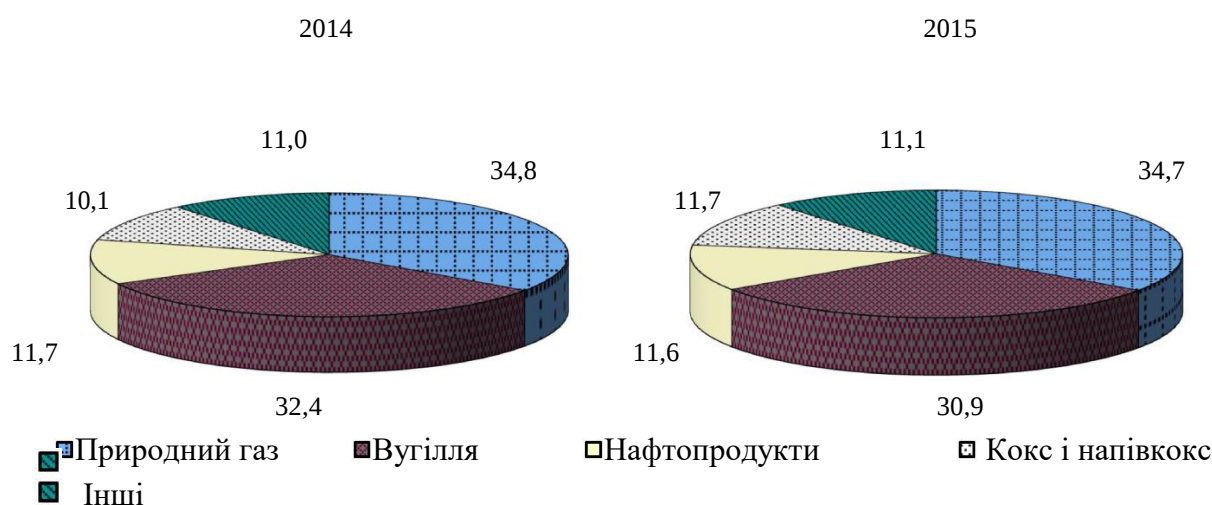


Рис. 2. Використання енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти у 2014-2015 роках, у %¹

¹ Без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м.Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції.

У структурі використаного палива 34,7% припадало на природний газ, 30,9% – на вугілля, 11,7% – на кокс і напівкокс, 11,6% – на нафтопродукти. Порівняно з 2014р. у структурі використання палива відбулись незначні зміни: збільшилась частка коксу та напівкоксу на 1,6 в.п. при одночасному зменшенні використання вугілля на 1,5 в.п.

У 2015р. в розподілі палива за напрямками споживання на перетворення в інші види палива та енергію припадало 50%, на витрати в цілях кінцевого споживання – 45%, на неенергетичні потреби – 4%, втрати при розподілі, транспортуванні та зберіганні склали майже 1%.

Основна частка у структурі витрат палива на перетворення припадала на вугілля – 71%, природний газ – 20% (у 2014р. – відповідно 55% та 24%). У 2015р. зменшилися порівняно з попереднім роком обсяги використання вугілля на 16%, природного газу – на 15 %; нафтопродуктів у цілому – на 14%, з них: бензину моторного – на 24%, газойлів (палива дизельного) – на 11%, водночас збільшилося використання мазутів паливних важких – в 2,5 раза, бітуму нафтового – на 18%.

Основними споживачами природного газу були підприємства та організації 10 регіонів, обсяги використання яких (з урахуванням обсягів реалізації населенню) становили 69% від загальних обсягів по Україні.

У розподілі використання палива за видами економічної діяльності зменшилися обсяги його споживання проти 2014 р. підприємствами й організаціями [11]:

- транспорту та зв'язку – на 22%, з них природного газу – на 36%, бензину моторного – на 22%, бутану і пропану скраплених – на 17%;

- промисловості – на 13%, з них бензину моторного – на 18%, вугілля – на 16%, природного газу – на 12%, газойлів – на 11%, олив та мастил нафтових, дистилятів нафтових важких – на 7% при одночасному збільшенні використання мазутів паливних важких – в 2,2 рази;

- будівництва на 6%, з них нафти, включаючи газовий конденсат – на 22%, олив та мастил нафтових, дистилятів нафтових важких – на 16%, бензину моторного та газойлів – відповідно на 8% та 7%, при одночасному збільшенні використання вугілля – на 68%, природного газу – на 37%;

- сільського господарства – на 2%, з них мазутів паливних важких – на 63%, природного газу – на 10%, бутану і пропану скраплених – на 16%, бензину моторного – на 7%, при збільшенні використання вугілля – на 15%, брикетів паливних – на 11%.



Рис. 3. Розподіл використання палива за видами економічної діяльності, у %

У 2015р. загальний обсяг реалізації підприємствами й організаціями палива населенню становив 20,1 млн.т умов.палив, що на 4% менше, ніж у попередньому році. Порівняно з 2014р. зменшилися обсяги реалізації населенню бензину моторного – на 26%, газойлів – на 24%, природного газу – на 15% та бутану і пропану скраплених – на 4% . Водночас збільшився обсяг реалізації населенню брикетів паливних – на 14% та вугілля – на 6%. У структурі реалізованого палива населенню суттєвих змін не відбулось, традиційно найбільше використання припало на природний газ (68%), бензин моторний (13%) та газойлі (10%).

Таким чином, можна стверджувати, що ефективність функціонування підприємства в умовах нестабільності та перехідної економіки значною мірою залежить від формування

енергетичної безпеки, яку загалом можна розглядати як невід'ємну частину системи управління промисловістю, спрямовану на протидію зовнішнім та внутрішнім загрозам його функціонування [8, 11].

Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2030 р., енергетична безпека є невід'ємною складовою економічної і національної безпеки, необхідною умовою існування і розвитку держави. Енергетична безпека України – це спроможність держави забезпечити ефективне використання власної паливно-енергетичної бази, здійснити оптимальну диверсифікацію джерел і шляхів постачання в Україну енергоносіїв для забезпечення життєдіяльності населення та функціонування національної економіки в режимі звичайного, надзвичайного та стану війни, попередити різкі цінові коливання на паливно-енергетичні ресурси або ж створити умови для безболісної адаптації національної економіки до нових цін на ці ресурси на світових ринках.

Енергетична безпека передбачає досягнення стану технічно надійного, стабільного, економічно ефективного та екологічно безпечного забезпечення енергетичними ресурсами економіки і соціальної сфери держави [8].

Висновки. Таким чином, в результаті вивчення сутності енергетичної безпеки на макрорівні можна зробити висновок, що одним її завданням є створення умов для ефективної діяльності підприємства, досягнення цілей бізнесу в умовах конкуренції та господарського ризику, шляхом своєчасного виявлення факторів на напрямків її забезпечення. Крім того, важливою умовою забезпечення енергетичної безпеки має бути чітке усвідомлення інтегрованості енергетичного ринку та необхідності об'єктивної та широкої поінформованості щодо ситуації на ньому. Також необхідно забезпечувати надійність та певну гарантованість енергопостачання через систему резервів, стратегічних запасів, інші способи регулювання нестабільності.

Список використаних джерел

1. Виклики для енергетичної безпеки України: сучасний стан-2010: Аналітична записка [Електронний ресурс] / Міжнародний центр перспективних досліджень. – Режим доступу: http://www.icps.com.ua/files/articles/58/24/Energy_Strategy_ukr.
2. Дербенцев В.Д., Бондаренко Г.В. Методологічні аспекти кількісної оцінки енергетичної безпеки економіки України // Моделювання та інформаційні системи в економіці. Зб. наук. праць. Вип. 79. – К.: КНЕУ, 2009.
3. Державна служба статистики України. Економічна статистика / Економічна діяльність / Діяльність підприємств. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukrstat.org/uk/operativ/menu/menu_u/size.htm
4. Енергетична безпека України: оцінка та напрямки забезпечення / За ред. Ю.В. Продана, Б.С. Стогнія. — К.: ОЕП "ГРІФРЕ", 2008. — 400 с.
5. Енергетична стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України №145 від 15 березня 2006 р. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc.
6. Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава [Електронний ресурс]: Програма економічних реформ на 2010 – 2014 роки / Комітет з економічних реформ при Президентові України. – Режим доступу: http://www.president.gov.ua/docs/Programa_reform.
7. Земляний М.Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки. Концептуальні підходи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.db.niss.gov.ua/docs/energy/EnSecZeml.pdf.

8. Козаченко Г. В. Економічна безпека підприємства: сутність та механізм забезпечення : монографія / Г. В. Козаченко, В. П. Пономарьов, О. М. Ляшенко. – К. : Лібра, 2003. – 280 с.

9. Річний звіт – 2015: [Електронний ресурс] / Національний банк України. – С. 29.– Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua>.

10. Суходоля О.М. Енергоємність валового внутрішнього продукту: тенденції та чинники впливу / Суходоля О.М. // Зб.наук. пр. Національної академії державного управління при Президентові України. – 2003. – № 2. – С. 140–149.

11. Стогній Б.С. Енергетична безпека України. Світові та національні виклики / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. - К.: Українські енциклопедичні знання, 2006. — 408 с.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: МИКРОУРОВЕНЬ

МИКОЛЮК О.А.

Хмельницкий национальный университет

Цель. Исследование основных аспектов формирования энергетической безопасности, факторов влияния на ее обеспечение на уровне предприятия.

Методика. Методика исследования предусматривает использование методов анализа и синтеза, сравнения, метода обобщения, системного подхода.

Результаты. Исследована суть и значение энергетической безопасности как состояния обеспечения государства энергоресурсами для реализации воспроизводимых процессов в национальной экономике и состояния безопасности энергетического комплекса Украины.

Научная новизна. Подходы к определению факторов и основных направлений повышения энергетической безопасности.

Практическая значимость. Результаты исследования использованы при обоснования практических шагов формирования энергетической безопасности предприятия.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, факторы влияния, энергорынок, конкуренция, энергоресурсы.

THEORETICAL-METHODICAL BASES OF FORMATION ENERGY SECURITY: MICROLEVEL

MIKOLYUK O.A.

Khmelnytsky national university

Goal. The aim of this paper is to study the basic aspects of the formation of energy security, the factors affecting its software at the enterprise level.

Methods. Method of research involves the use of methods of analysis and synthesis, comparison, generalization of the method, system approach.

Results. We investigated the nature and importance of energy security as a condition of providing energy state to implement repeatable processes in the national economy and security state of the energy sector of Ukraine.

Scientific novelty. Practical recommendations for the definition of the factors and the main directions of energy security.

Practical significance. The results will help to address policy issues in the field of energy security of the enterprise.

Keywords: energy security, impact factors, the energy market, competition, energy.

УДК 677.055

ПЛЕШКО С.А., КОВАЛЬОВ Ю. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

НАПРУЖЕННЯ В СТЕРЖНІ ГОЛКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ КО, ЗУМОВЛЕНІ ІНЕРЦІЙНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

Мета. Аналіз напружень, що виникають в голках круглов'язальної машини, зумовлених інерційними навантаженнями.

Методика. Використані сучасні методи теорії динаміки напружень в стержнях перемінного профілю.

Результати. Розроблено метод розрахунку напружень в стержні штампованої голки круглов'язальної машини типу КО, зумовлених інерційними навантаженнями. Запропоновано алгоритм визначення напружень, що виникають у характерних ділянках стержня голки. В результаті виконаних розрахунків та аналізу напружень, що виникають в стержні голки круглов'язальної машини типу КО, встановлено наступне: максимальні напруження в голці від інерційних навантажень виникають на границі ділянок хвостовика та сусіднього з ним стержня; напруження на всіх ділянках стержня голки змінюються зі зміною довжини ділянки стержня лінійно; напруження в зоні гачка голки від інерційних навантажень практично дорівнює нулеві; збільшення величини збурюючої сили, прикладеної до голки в зоні п'ятки, викликає збільшення напружень у всіх ділянках стержня; залежність напружень від збурюючої сили для всіх ділянок стержня голки є лінійною.

Наукова новизна. Розробка теорії динаміки напружень в стержні голки в'язальної машини, зумовлених інерційними навантаженнями.

Практична значимість. Розробка інженерного методу та алгоритму розрахунку напружень в стержні голки круглов'язальної машини типу КО, що виникають при взаємодії її з клинами механізму в'язання.

Ключові слова: голка в'язальної машини, динамічні процеси в голці, інерційні навантаження голки, напруження в голці, зумовлені інерційними навантаженнями.

Вступ. В процесі роботи круглов'язальної машини голки піддаються значним навантаженням, що є основної причиною їх відмов [1-5]. Дослідження [1] показують, що ударні явища, що виникають при взаємодії голок з клинами в'язальних систем, є основною причиною руйнувань голок. Ударні навантаження в в'язальних системах можуть бути ліквідовані шляхом використання безударних клинів. Однак, і в цьому випадку в стержні голки виникають напруження, викликані інерційними навантаженнями, зумовленими специфікою роботи в'язальних машин. Тому проблема досліджень напружень в голках в'язальних машин, зумовлених інерційними навантаженнями є актуальною та своєчасною.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання впливу напружень, що виникають в голках в'язальних машин, на довговічність їх роботи, завданням досліджень є розрахунок напружень в голці круглов'язальної машини типу КО, зумовлених інерційними навантаженнями.

Результати дослідження. Визначимо напруження, що виникають у голці поз. 0-388 при роботі круглов'язальної машини КО-2.

Вихідні дані:

- діаметр циліндра машини $D = 0,45$ м;
- лінійна швидкість циліндра $V = 1,0$ м/с;
- кількість в'язальних систем $Z = 50$;

- розміри голки (рис. 1, 2), м: $l_1 = 28 \cdot 10^{-3}$; $l_2 = 35 \cdot 10^{-3}$; $l_3 = 22,4 \cdot 10^{-3}$;
 $x_1 = (0 \dots 28) \cdot 10^{-3}$; $x_2 = (0 \dots 35) \cdot 10^{-3}$; $x_3 = (0 \dots 22,4) \cdot 10^{-3}$;
- площа перетину ділянок голки, m^2 : $F_1 = 1,9 \cdot 10^{-6}$; $F_2 = 0,8 \cdot 10^{-6}$; $F_3 = 0,4 \cdot 10^{-6}$;
- маса голки $m = 0,713 \cdot 10^{-3}$ кг.

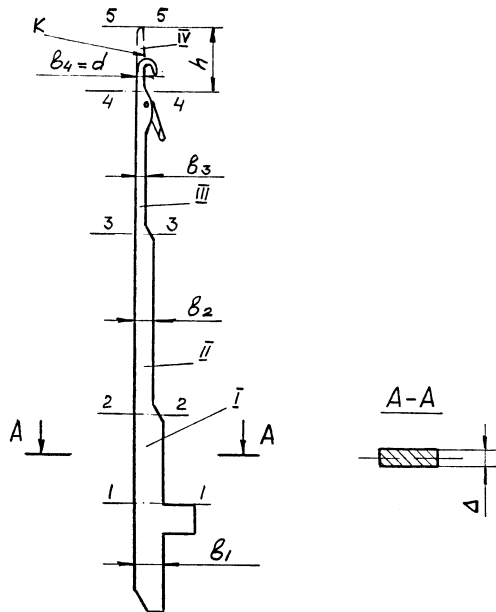


Рис. 1. Схема штампованої голки (позиція 0-388) круглов'язальної машини типу КО: b_i – ширина i -ої ділянки стержня; Δ – товщина голки

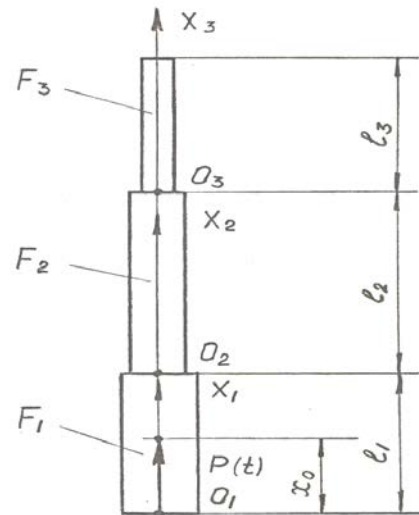


Рис. 2. Розрахункова схема до визначення напружень у голці поз. 0388, зумовлених інерційними навантаженнями

Визначаємо циклічну частоту збуджуючої сили, що діє на голку:

$$\omega = \frac{nz}{60} = \frac{vz}{\pi D} = \frac{1,0 \cdot 50}{3,14 \cdot 0,45} = 35,38 c^{-1}.$$

Враховуючи, що для матеріалу голки $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\rho = 0,795 \cdot 10^4$ кг/м³,

знаходимо [5]: $\alpha^2 = 26,41 \cdot 10^6$ м²/с².

Використовуючи рівняння (2) [5], маємо:

$$Q(t) = \frac{d^2 s_0}{dt^2} m = w m,$$

де w – прискорення голки.

З огляду на те, що конструкція клинів машини МС-9 близька до конструкції клинів з ділянками профілю, обкресленими по дугах кіл, можна прийняти $w = 200g$ [1].

Тоді: $Q(t) = 200 \cdot 9,81 \cdot 0,713 \cdot 10^{-3} = 1,4$ Н.

Враховуючи (12) [5], можна записати:

$$P = 1,4 \text{ Н}; \quad P(t) = 1,4 \cos 35,38t.$$

З виразу (16) [5] знаходимо:

$$\alpha = 6,885 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}; \quad c = 0,0743 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}; \quad b = 0,0035 \cdot 10^{-3}.$$

Використовуючи (21) [5], одержимо:

$$\Delta = 1,552 \cdot 10^{-3}; \quad \Delta_1 = -2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Постійні інтегрування знаходимо з рівняння (20) [5]:

$$A_i = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{1,55^2 \cdot 10^{-3}} = -1,546 \text{ м};$$

$$B_1 = 0; \quad A_2 = -1,546 \text{ м}; \quad B_2 = -0,502 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$A_3 = -1,546 \text{ м}; \quad B_3 = -0,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Напруження, що виникають у голці, згідно з (23) [5] та з урахуванням (24) [5], становлять:

для першої ділянки стержня голки:

а) для $x_1 \leq x_0$ $\sigma_1 = -EA_1 \alpha \sin \alpha x_1 \cos \omega t$;

після підстановки вихідних даних маємо:

$$\sigma_{1\max} = 22,35 \cdot 10^8 \sin 6,885 \cdot 10^{-3} x_1 \text{ Па};$$

при $x_1 = 0$ $\sigma_{1\max} = 0$;

при $x_1 = x_0 = 13 \cdot 10^{-3}$ $\sigma_{1\max} = 19,89 \cdot 10^4 \text{ Па};$

б) для $x_1 > x_0$ $\sigma_{1\max} = -E[\alpha A_1 \sin \alpha x_1 + b \cos \alpha(x_1 - x_0)]$;

оскільки $x_1 - x_0 = (0 \dots 15) 10^{-3} \text{ м}$, $\alpha = 6,885 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, $\cos(x_1 - x_0) \approx 1$, маємо:

$$\sigma_{1\max} = 73,5 \cdot 10^4 - 22,35 \cdot 10^8 \sin 6,885 \cdot 10^{-3} x_1 \text{ Па};$$

при $x_1 = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $\sigma_{1\max} = 53,61 \cdot 10^4 \text{ Па};$

при $x_1 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $\sigma_{1\max} = 30,37 \cdot 10^4 \text{ Па};$

для другої ділянки голки:

$$\sigma_{2\max} = \alpha E(-A_2 \sin \alpha x_2 + B_2 \cos \alpha x_2);$$

підставляючи вихідні дані та враховуючи, що $\cos \alpha x_2 \approx 1$, одержуємо:

$$\sigma_{2\max} = 72,57 \cdot 10^4 - 22,35 \cdot 10^8 \sin 6,885 \cdot 10^{-3} x_2 \text{ Па};$$

при $x_2 = 0$; $\sigma_{2\max} = 72,57 \cdot 10^4 \text{ Па};$

при $x_2 = 35 \cdot 10^{-3} \text{ м};$ $\sigma_{2\max} = 18,71 \cdot 10^4 \text{ Па};$

для третьої ділянки стержня голки:

$$\sigma_{3\max} = \alpha E(-A_3 \sin \alpha x_3 + B_3 \cos \alpha x_3);$$

підставивши вихідні дані, маємо:

$$\sigma_{3\max} = 37,6 \cdot 10^4 - 22,35 \cdot 10^8 \sin 6,885 \cdot 10^{-3} x_3 \text{ Па};$$

при $x_3 = 0$ $\sigma_{3\max} = 37,6 \cdot 10^4 \text{ Па};$

при $x_3 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $\sigma_{3\max} = 3,2 \cdot 10^4 \text{ Па}.$

Як алгоритм визначення напружень, що виникають у характерних ділянках стержня голки, можна рекомендувати :

Вихідні дані:

- діаметр циліндра машини D , м;
- лінійна швидкість циліндра машини V , м/с;
- кількість в'язальних систем Z ;
- параметри голки (рис. 2) l_1, l_2, l_3 , м; x_0 ; $x_1 = 0 \dots l_1$; $x_2 = 0 \dots l_2$; $x_3 = 0 \dots l_3$, м;
- площа перетину ділянок голки F_1, F_2, F_3 , м²;
- маса голки m , кг;
- модуль пружності матеріалу голки E , Н/м²;
- масова погонна щільність матеріалу голки ρ , кг/м³;
- прискорення голки w , м/с².

Порядок розрахунку:

1. З рівняння $\omega = \frac{nz}{60} = \frac{vz}{\pi D}$ знаходимо циклічну частоту збурюючої сили.

2. Знаходимо параметр a^2 з умови $a^2 = \frac{E}{\rho}$.

3. Використовуючи рівняння $P(t) = Q(t) = mw$, знаходимо максимум збурюючої сили P .

4. По (16) [5] знаходимо параметри α, b і c .

5. Використовуючи умови (21) [5], визначаємо параметри Δ , Δ_1 .

6. Знаходимо з рівнянь (20) [5] постійні інтегрування A_1, B_1, A_2, B_2 , і A_3, B_3 .

7. По рівнянню (23) [5] визначаємо напруження в характерних перетинах ділянок стержня голки:

перша ділянка стержня голки:

а) для $x_1 \leq x_0$ $\sigma_1 = -EA_1 \alpha \sin \alpha x_1$;

б) для $x_1 \geq x_0$ $\sigma_1 = -E[\alpha A_1 \sin \alpha x_1 + b \cos \alpha(x_1 - x_0)]$;

друга ділянка стержня голки:

$$\sigma_2 = \alpha E(-A_2 \sin \alpha x_2 + B_2 \cos \alpha x_2);$$

третя ділянка стержня голки:

$$\sigma_3 = \alpha E(-A_3 \sin \alpha x_3 + B_3 \cos \alpha x_3);$$

Рішення задачі по знаходженню напружень, що виникають у стержні голки, доцільно виконувати за допомогою ПК.

Розглянемо питання визначення величини напружень, що виникають у характерних ділянках стержня голки поз. 0-388 круглов'язальної машини КО-2, а також вплив основних параметрів в'язальної системи (величина збурюючої сили, швидкість в'язання) на величину напружень у голці.

Завдання розрахунку полягає в наступному:

1. Одержати результати:

$\sigma_1 = f(x_1); \quad \sigma_2 = f(x_2); \quad \sigma_3 = f(x_3)$ при кроці варіювання $\Delta x_1 = 2,8 \cdot 10^{-3}$; $\Delta x_2 = 3,5 \cdot 10^{-3}$; $\Delta x_3 = 2,24 \cdot 10^{-3}$ м для вихідних параметрів з урахуванням, що $P = 1,4$ Н.

2. Одержати результати:

$\sigma_1 = f(x_1); \quad \sigma_2 = f(x_2); \quad \sigma_3 = f(x_3)$ при наступних значеннях збурюючої сили $P = (5...50)$ Н при кроці варіювання $\Delta P = 5$ Н.

3. Одержати результати:

$\sigma_1 = f(x_1); \quad \sigma_2 = f(x_2); \quad \sigma_3 = f(x_3)$ при різних значеннях циклічної частоти (швидкість машини) збурюючої сили; межа зміни частоти $\omega = 20...60 \text{ с}^{-1}$, інтервал варіювання $\Delta \omega = 5 \text{ с}^{-1}$.

Взаємозв'язок між параметрами ω в v (швидкість машини) виражається умовою: $\omega = 35,386 v$.

Результати розрахунку напружень, що виникають у голці поз. 0-388 при роботі круглов'язальної машини КО-2, виконані на ПК, представлені на рис. 3. Як видно з отриманих результатів, максимальні напруження в голці виникають на ділянці l_2 при $x_2 = 0$. При цьому $\sigma_2 = \sigma_{2\max} = 71,98 \cdot 10^4$ Па. Залежності $\sigma_1 = f(x_1); \quad \sigma_2 = f(x_2); \quad \sigma_3 = f(x_3)$ є лінійними. На ділянці I при $x_1 \leq x_0$ напруження σ_1 зростає від 0 до кінцевої величини; на ділянці I при $x_1 \geq x_0$ і на ділянках II, III напруження зі збільшенням параметрів відповідно x_1, x_2, x_3 убыває.

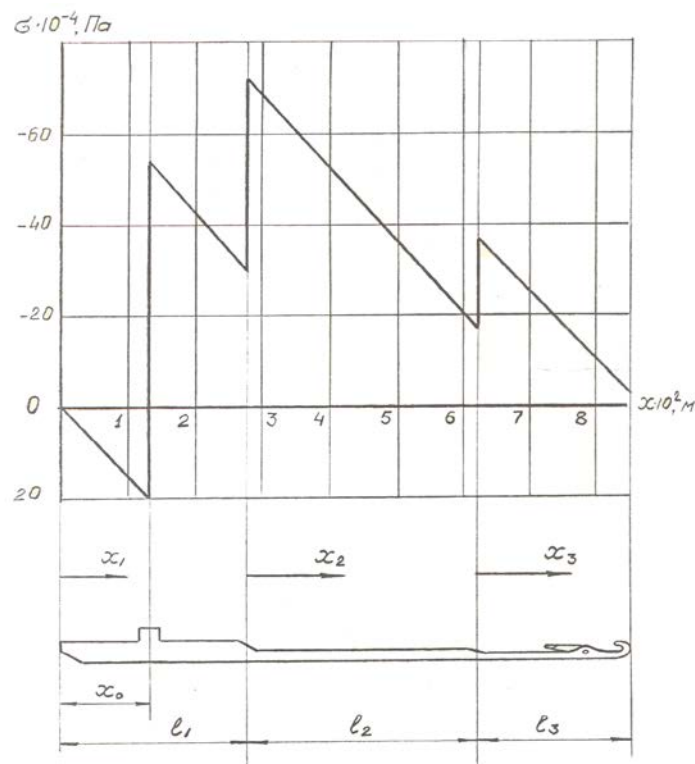


Рис. 3. Епюра напружень, що виникають у голці поз. 0-388 від інерційних навантажень

Результати обчислень впливу збурюючої сили на величину напружень у стержні голки поз. 0-388 (діапазон варіювання величини сили P в межах 5...50 Н; інтервал варіювання 5 Н) представлені на (рис. 4).

Аналізуючи отримані результати, приходимо до висновку, що збільшення збурюючої сили P приводить до зростання напружень у голці. На (рис. 4) представлена графічна залежність впливу сили P на величину напружень в характерних перетинах стержня голки:

$$\sigma_{2max}; \sigma_{1(x=14 \cdot 10^{-3} \text{ м})}; \sigma_{3max}.$$

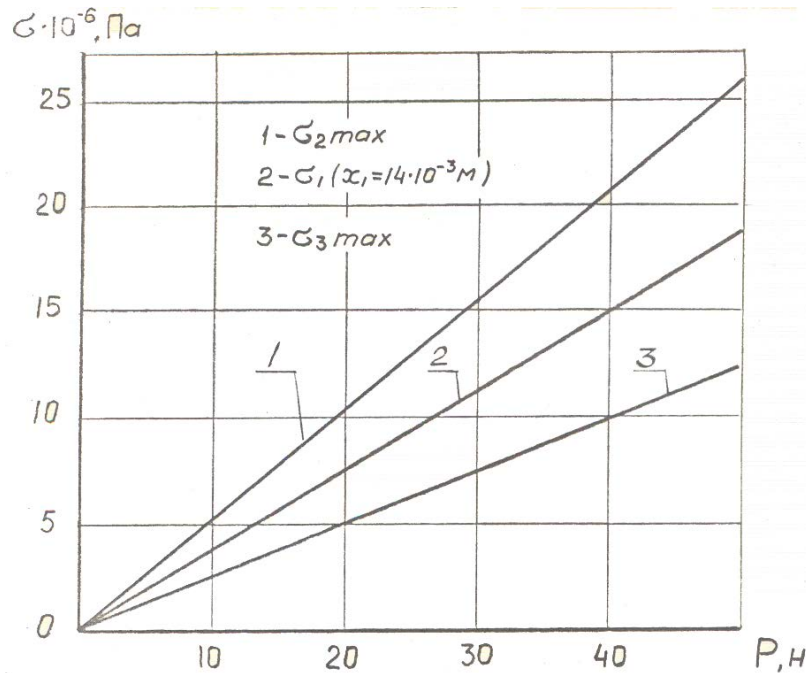


Рис. 4. Вплив збурюючої сили на напруження в голці

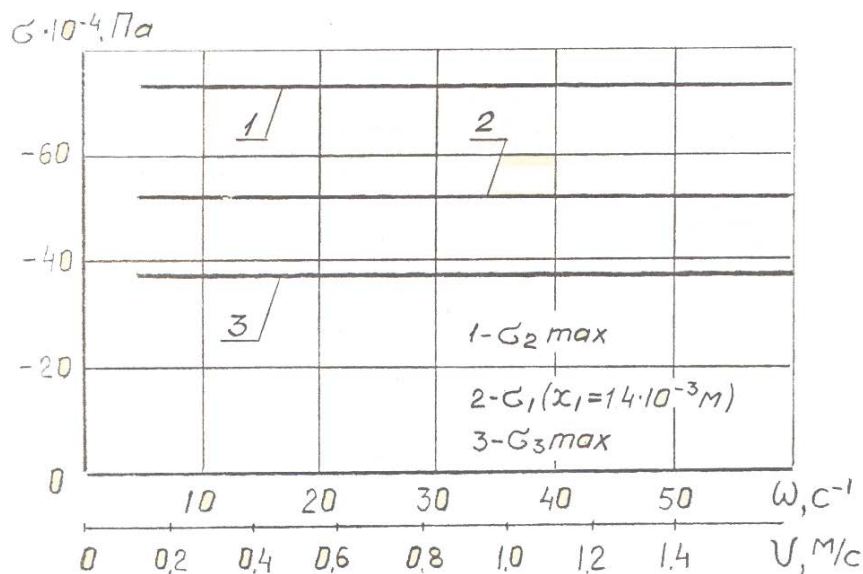


Рис. 5. Вплив циклічної частоти ω збурюючої сили
(v - швидкість циліндра машини) на напруження в голці

Як видно з (рис. 4), залежність напружень в стержні голки від збурюючої сили для всіх ділянок голки є лінійною.

Результати обчислень по визначенню впливу циклічної частоти збурюючої сили (швидкості машини) на напруження в голці представлені на (рис. 5).

Як показує аналіз, частота збурювання (швидкість машини) у межах досліджуваного інтервалу параметра ω практично не впливає на напруження в стержні голки.

Висновки. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- максимальні напруження в голці від інерційних навантажень виникають на границі ділянок стержнів I і II (рис. 3);
- напруження на всіх ділянках стержня голки змінюються зі зміною довжини ділянки стержня лінійно;
- напруження в зоні гачка голки від інерційних навантажень практично дорівнює нулеві;
- збільшення величини збурюючої сили, прикладеної до голки в зоні п'ятки, викликає збільшення напружень у всіх ділянках стержня;
- залежність напружень від збурюючої сили для всіх ділянок стержня голки є лінійною;
- циклічна частота збурюючої сили (швидкість машини) практично не впливає на напруження в стержні голки, обумовлені інерційними явищами.

Список використаної літератури

1. Піна Б.Ф. Динаміка механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2008. – 416 с.
2. Піна Б.Ф., Місяць В.П. Зниження динамічних напружень у голці в'язальної машини // Вісник КНУТД. – 2011. – № 2. – С. 36-39.
3. Плешко С.А., Піна Б.Ф. Підвищення довговічності роботи голок в'язальних машин // Вісник КНУТД. – 2014. – № 4 (78). – С. 221-226.
4. Плешко С.А., Піна Б.Ф. Вплив жорсткості пари голка-клин на напруження, що виникають в стержні в'язальної голки при ударі об клин // Вісник ХНУ. – 2015. – № 2. – С. 41-44.
5. Піна Б.Ф., Плешко С.А., Ковальов Ю.А. Динамічні процеси в голці в'язальної машини, зумовлені інерційними навантаженнями // Вісник КНУТД. – 2016. – № 2 (84). – С. 32-41.

НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕРЖНЕ ИГЛЫ КРУГЛОВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ ТИПА КО, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИНЕРЦИОННЫМИ НАГРУЗКАМИ ПЛЕШКО С.А., КОВАЛЕВ Ю.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Анализ напряжений, возникающих в иглах кругловязальной машины, вызываемые инерционными нагрузками.

Методика. Используются современные методы теории динамики напряжений в стержнях переменного профиля.

Результаты. Разработан метод расчета напряжений в стержне штампованной иглы кругловязальные машины типа КО, вызванных инерционными нагрузками. Предложен

алгоритм определения напряжений, возникающих в характерных участках стержня иглы. В результате выполненных расчетов и анализа напряжений, возникающих в стержне иглы кругловязальной машины типа КО, установлено следующее: максимальные напряжения в игле от инерционных нагрузок возникают на границе участков хвостовика и соседнего с ним стержня; напряжения на всех участках стержня иглы меняются с изменением длины участка стержня линейно; напряжение в зоне крючка иглы от инерционных нагрузок практически равно нулю; увеличение величины возмущающей силы, приложенной к игле в зоне пятки, вызывает увеличение напряжений во всех участках стержня; зависимость напряжений от возмущающей силы для всех участков стержня иглы является линейной.

Научная новизна. Разработка теории динамики напряжений в стержне иглы вязальной машины, обусловленных инерционными нагрузками.

Практическая значимость. Разработка инженерного метода и алгоритма расчета напряжений в стержне иглы кругловязальной машины типа КО, возникающих при взаимодействии ее с клиньями механизма вязания.

Ключевые слова: игла вязальной машины, динамические процессы в игле, инерционные нагрузки иглы, напряжения в игле, вызываемые инерционными нагрузками.

STRESSES IN THE ROD NEEDLES CIRCULAR KNITTING MACHINES KO TYPE CAUSED INERTIAL LOADS

PLESHKO S.A., KOVALEV Y.A.

Kiev National University of Technology and Design

The Aim. Analysis of stresses in the circular machine needles, caused by inertial loads.

Methods. The use of modern methods of the theory of the dynamics of stress in the bars of variable profile.

The Results. A stress analysis method in the rod pressed needle circular knitting machines such as KO caused by inertial loads. An algorithm for determining the stresses arising in specific areas of the needle bar. As a result of the calculations and analysis of the stresses arising in the rod-type circular knitting machine needle QoS set as follows: the maximum stresses in the tip of inertial loads occur at the boundary portions of the shank and the adjoining rod; stress in all areas of the needle bar vary with the length of the linear portion of the rod; voltage in the region from the needle hook inertial loads almost equal to zero; increase of the exciting force applied to the needle in the heel area, causes an increase in stress in all parts of the rod; dependence of the stress from the disturbing force to all parts of the needle bar is linear.

Scientific novelty. The development of the theory of the dynamics of stress in the rod of the needle knitting machine, due to inertia loads.

The practical significance. Development of the engineering method and stress analysis algorithm in the needle shaft circular machine type KO, arising from its interaction with wedges of knitting machinery.

Key words: needle knitting machine, dynamic processes in the needle, the needle inertial load, the voltage at the needle caused by inertial loads.

УДК 687.053.661.2

ДВОРЖАК В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ
ШВЕЙНИХ МАШИН ЗІ СТРУКТУРНИМИ ГРУПАМИ
ТРЕТЬОГО КЛАСУ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ З ДВОМА
ПОСТУПАЛЬНИМИ ПАРАМИ**

Мета. Вдосконалення методів проектування цільових механізмів технологічних машин легкої промисловості із застосуванням прикладних CAD-програм.

Методика. Використаний чисельний метод векторного розрахунку типових механізмів технологічних машин легкої промисловості.

Результати. Отримані математичні моделі, що описують функції положення рухомих ланок та характерних точок механізму третього класу третього порядку з двома поступальними парами. Виконано схемотехнічне моделювання механізму голки швейної машини для виконання стібків типу 304 (zigzag) в прикладній програмі Mathcad. Побудовані графіки похибки відтворення траєкторій характерними точками механізму, графіки візуалізації та анімації кінематичної схеми механізму в прикладній програмі Mathcad.

Наукова новизна. Запропонований метод аналітичного дослідження шарнірно-важільних механізмів третього класу третього порядку з двома поступальними парами на основі чисельного розв'язку векторних рівнянь кінематики, за допомогою якого створені математичні моделі та проведено схемотехнічне комп'ютерне моделювання механізму голки швейної машини для виконання стібків типу 304 в прикладній CAD-програмі Mathcad.

Практична значимість роботи полягає у використанні одержаних результатів досліджень при проектуванні та кінематичному дослідженні цільових механізмів швейних машин.

Ключові слова: аналіз і моделювання механізмів, структурна група Ассура III класу, механізм коливального руху голки, швейна машина, zigzag.

Вступ. Удосконалення існуючого та створення нового технологічного обладнання легкої промисловості пов'язано зі створенням функціонально-досконалих його механізмів, визначенням основних кінематичних параметрів ланок цих механізмів, дослідженням траєкторій характерних точок, законів руху робочих органів тощо.

Для забезпечення складних законів руху робочим органам декотрих технологічних машин легкої промисловості та складних траєкторій характерних точок їхніх механізмів, зокрема і швейних машин, застосовуються багатоланкові важільні механізми вищих класів. Але використання в машині механізмів вищих класів значно ускладнює розрахунки. Існуючі аналітичні методи дослідження механізмів третього класу досить громіздкі [1], тому доцільно користуватися наближеними методами, які можуть бути успішно реалізовані із використанням сучасних прикладних CAD-програм [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], що дозволить автоматизувати сам процес дослідження та значно підвищити точність результатів.

Постановка завдання. У теперішній час моделювання є основою при проведенні досліджень майже в усіх областях науки і техніки. При проектуванні механізмів технологічних машин важливого значення набуває математичне моделювання, яке, використовуючи досягнення комп'ютерних прикладних CAD-програм, дає можливість застосовувати аналітичні та чисельні методи розв'язку задач синтезу та аналізу механізмів машин на сучасному рівні та з будь-якою точністю визначати геометричні, кінематичні та

динамічні параметри механізму, а також встановлювати взаємозв'язок між цими параметрами. Тому розробка методів комп'ютерного моделювання механізмів технологічних машин та застосування для цього сучасних прикладних комп'ютерних програм є своєчасним завданням.

Завданням цього дослідження є створення математичних моделей, які описують функції положення рухомих ланок та характерних точок механізму третього класу третього порядку з двома поступальними парами, який застосований для коливального руху робочого органу (голки) швейної машини для виконання стібків типу 304, на основі чисельного розв'язку векторних рівнянь кінематики; створення програмного коду на основі вказаних математичних залежностей; проведення схемотехнічного моделювання кінематичної схеми з побудовою графіків візуалізації та анімації в прикладній програмі Mahcad.

Результати дослідження. Для дослідження механізму введемо праву систему координат (ПСК). Вісь X ПСК спрямуємо вздовж осі головного вала ліворуч, як зображено на рис. 1, вісь Y – вертикально вгору, а вісь Z спрямуємо так, щоб утворилась права система координат (на рис. 1 вісь Z спрямовується на спостерігача). Початок координат виберемо в точці P_1 – в центрі обертання ведучої ланки механізму коливального руху робочого органу.

В якості ведучої ланки механізму коливального руху можуть використовуватися ексцентрики, три-, чотири-, або п'ятицентрові кулачки й інші програмоносії [2]. Для розрахунку приймемо, що ведучою ланкою вказаного механізму є ексцентрик, який зобразимо на схемі на рис. 1 умовно у вигляді кривошипа 1.

Ланки механізму представляються векторами та позначаються $P_{i,j}$ (індекси i та j вказують відповідно на точки початку та кінця вектора-ланки). Характерні точки механізму, такі як центри обертальних кінематичних пар, робочі точки, центри мас тощо, представляються векторами та позначаються P_i (індекс i тут вказує на номер точки радіус-вектора в обраній ПСК).

Структура механізму, що досліджується, детально описується в роботі [2]. Робочий орган механізму отримує складний рух, який складається зі зворотно-поступального та коливального рухів. Механізм коливального руху робочого органу розміщується в площині XU ПСК, механізм зворотно-поступального руху робочого органу розміщується в площині YZ ПСК. Розрахункова схема механізму (рис. 1), що досліджується, складається з вектора кривошипа $P_{1,2}$, який в механізмі обертається проти годинникової стрілки. До кривошипа $P_{1,2}$ приєднується триповідкова група Асура третього класу 2-3-4-5 з вектором повідком $P_{5,4}$, базисною ланкою 2-3-4, яка в точках P_2 та P_3 утворює обертальні кінематичні пари з повзунами 4 та 5, а в точці P_4 обертальну кінематичну пару зі своїм повідком 5-4. Повідок 5-4 представляє собою кулісу коромислового типу, яка забезпечує коливальний рух робочого органу. Кут $U_{3,2,4}$ визначає взаємне положення векторів $P_{2,3}$ та $P_{3,4}$ базисної ланки. Положення напрямної повзуна 4 змінюється при роботі механізму та визначається вектором $P_{2,3}$. Положення напрямної повзуна 5 визначається точкою P_{N1} та кутом α_1 її нахилу до осі X ПСК. Зміною кута нахилу α_1 в механізмі забезпечується зміна розмаху коливань вектора $P_{5,4}$ відносно точки P_5 . Стояки механізму задаються точками P_1 та P_5 .

Робоча точка механізму P_{G5} належить вектору-ланці $P_{G4,5}$. Зворотно-поступальний рух робочий орган одержує від типового кривошипно-повзунного механізму, який на рис. 1 позначений векторами-ланками кривошипом $P_{G1,2}$ та шатуном $P_{G2,3}$ з повзуном-голководом

P_{G3} . Передача зворотно-поступального руху робочому органу здійснюється повідком, який зображується на схемі вектором-ланкою змінної величини P_{G3_4} . Призначення інших векторів, що позначені на розрахунковій схемі на рис. 1, описуються далі в ході розрахунку.

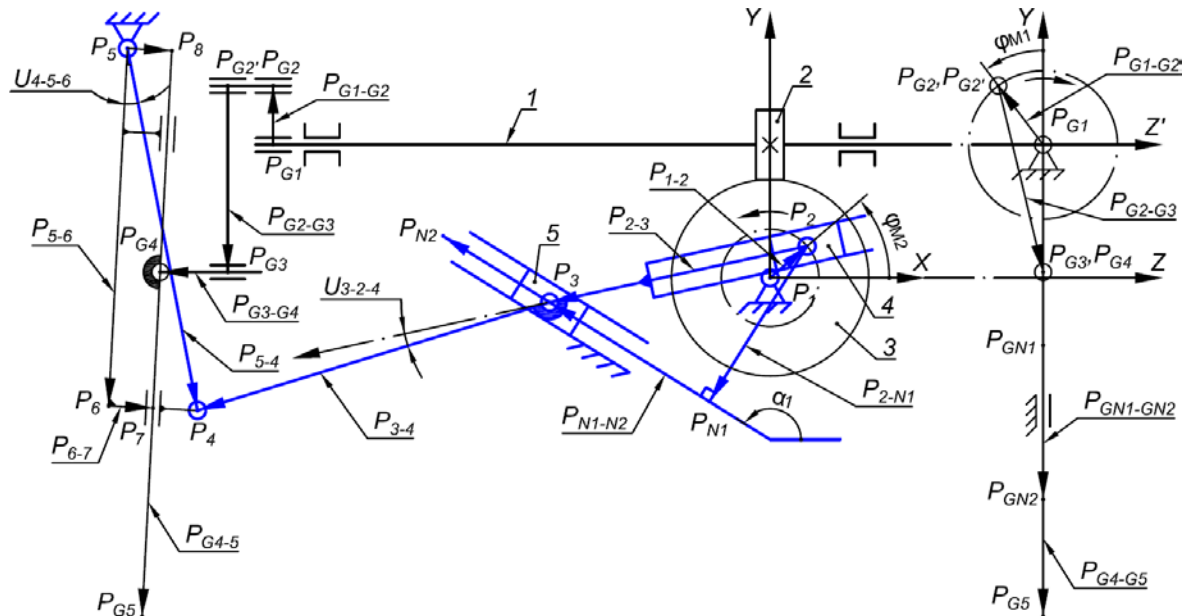


Рис. 1. Розрахункова схема для дослідження механізму третього класу третього порядку з двома поступальними парами (на прикладі механізму коливального руху голки швейної машини для виконання стібків типу 304)

Для завдання поворотів векторів-ланок механізму в Mathcad визначимо матриці повороту вектора відносно осей X та Z [12]:

$$R_X(\alpha_X) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_X) & -\sin(\alpha_X) \\ 0 & \sin(\alpha_X) & \cos(\alpha_X) \end{pmatrix}; \quad R_Z(\alpha_Z) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha_Z) & -\sin(\alpha_Z) & 0 \\ \sin(\alpha_Z) & \cos(\alpha_Z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

де α_X , α_Z – кути повороту вектора навколо відповідної осі координат.

З використанням матриць (1) запишемо функції користувача повороту вектора зі зміною його довжини [7]:

$$\rho_X(r_1, \alpha_X, l_2) := R_X(\alpha_X) \cdot \text{Ort}(r_1) \cdot l_2; \quad \rho_Z(r_1, \alpha_Z, l_2) := R_Z(\alpha_Z) \cdot \text{Ort}(r_1) \cdot l_2; \quad (2)$$

де r_1 – вектор, що повертається;

l_2 – довжина нового вектора ρ_X , або ρ_Z після повороту вихідного вектора r_1 на кут α_X , або α_Z , відповідно;

$\text{Ort}(r_1)$ – орт вектора r_1 [7].

З використанням виразів (1) та (2) визначаються вектори кривошипів P_{1_2} та P_{G1_G2} та радіуси-вектори точок P_2 та P_{G2} :

$$P_{1_2}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{M2}(\varphi_1), l_{1_2}); \quad P_{G1_G2}(\varphi_1) := \rho_X(e_Y, \varphi_{M1}(\varphi_1), l_{G1_G2}); \quad (3)$$

$$P_2(\varphi_1) := P_1 + P_{1_2}(\varphi_1); \quad P_{G2}(\varphi_1) := P_{G1} + P_{G1_G2}(\varphi_1); \quad (4)$$

де $e_X := (1 \ 0 \ 0)^T$ – орт осі X ; $e_Z := (0 \ 0 \ 1)^T$ – орт осі Z ; (тут « T » – символ транспонування вектора, або матриці);

φ_1 – поточний кут повороту головного вала;

$\varphi_{M1}(\varphi_1)$ – поточний кут повороту кривошипа механізму зворотно-поступального руху;

$\varphi_{M2}(\varphi_1)$ – поточний кут повороту кривошипа механізму коливального руху.

Кут φ_1 задається у вигляді дискретної змінної, значення якої змінюється від початкового φ_0 до кінцевого $\varphi_{\max}$ з кроком $\Delta\varphi_1$:

$$\varphi_1 := \varphi_0, \varphi_0 + \Delta\varphi_1, \dots, \varphi_{\max}. \quad (5)$$

Кут $\varphi_{M1}(\varphi_1)$ залежить від початкового кута встановлення кривошипа механізму зворотно-поступального руху:

$$\varphi_{M1}(\varphi_1) := \varphi_1 + \varphi_{M1_0}. \quad (6)$$

Кут $\varphi_{M2}(\varphi_1)$ залежить від кута повороту головного вала і визначається з виразу [7]:

$$\varphi_{M2}(\varphi_1) := \text{Rot}_1 \cdot \varphi_{M1}(\varphi_1 - \varphi_{M1_0}) \cdot \frac{\text{Rot}_2}{u_{2_1}} + \varphi_{M2_0}, \quad (7)$$

де Rot_1 та Rot_2 змінні напрямку повертання кривошипів (якщо їхнє значення «+1» – за годинниковою стрілкою, «-1» – проти годинникової стрілки);

φ_{M1_0} та φ_{M2_0} – початкові кути встановлення кривошипів (φ_{M1_0} відраховується від осі X, а φ_{M2_0} – від осі Y);

u_{2_1} – передаточне число між валом кривошипа механізму коливального руху та головним валом (передаточне число гвинтової зубчастої передачі з колесами 1 та 2).

Переходимо до математичного моделювання механізму коливального руху. Визначаємо змінний вектор P_{5_2} , який з'єднує точки P_5 стояка та P_2 кривошипа:

$$P_{5_2}(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) - P_5. \quad (8)$$

Визначаємо вектор P_{N1_2} , що з'єднує точки N_1 напрямної повзуна 5 та P_2 кривошипа:

$$P_{N1_2}(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) - P_{N1}. \quad (9)$$

Довжина перпендикуляра з точки P_2 на напрямну N_1N_2 повзуна 5, що проведений до точки N_3 напрямної N_1N_2 , визначається як модуль векторного добутку вектора P_{N1_2} та орта вектора напрямної P_{N1N2} в напрямку осі Z ПСК:

$$l_{2N3}(\varphi_1) := |(P_{N1_2}(\varphi_1) \times \text{Ort}(P_{N1N2}))|_Z, \quad (10)$$

$$\text{де } P_{N1N2} := \rho_Z(e_X, \alpha_1, l_{N1N2}); \quad (11)$$

α_1 – кут встановлення напрямної повзуна 5;

l_{N1N2} – довжина напрямної повзуна 5.

Визначаємо вектор P_{2N3} перпендикуляра з точки P_2 на напрямну в точку N_3 :

$$P_{2N3}(\varphi_1) := \rho_Z(P_{N1N2}, 90^\circ, l_{2N3}(\varphi_1)), \quad (12)$$

Далі складаємо програмний код обчислювального блоку «**Given-Find**», до якого увійдуть початкові значення відповідних невідомих змінних, векторні рівняння замкнутості векторних контурів механізму та матриця результатів розрахунку. Згідно з рис. 1 механізм можна поділити на такі векторні контури:

$$I\text{-й: } P_{5_2} \rightarrow P_{2_3} \rightarrow P_{3_4} \leftarrow P_{5_4}; \quad II\text{-й: } P_{2N3} \rightarrow P_{N3_3} \leftarrow P_{2_3}.$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{2_3_0} &:= -160^\circ \\ \varphi_{5_4_0} &:= -75^\circ \\ l_{N3_3_0} &:= 10 \text{ мм} \\ l_{2_3_0} &:= 10 \text{ мм} \end{aligned} \right\} \text{ блок початкових умов для розв'язку,} \quad (13)$$

блок векторних рівнянь замкнутості векторних контурів:

$$\begin{bmatrix} l_{2_3_0} \cdot \cos(\varphi_{2_3_0}) \\ l_{2_3_0} \cdot \sin(\varphi_{2_3_0}) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_{3_4} \cdot \cos(\varphi_{2_3_0} + U_{3_2_4}) \\ l_{3_4} \cdot \sin(\varphi_{2_3_0} + U_{3_2_4}) \\ 0 \end{bmatrix} + P_{5_2}(\varphi_1) = \begin{bmatrix} l_{5_4} \cdot \cos(\varphi_{5_4_0}) \\ l_{5_4} \cdot \sin(\varphi_{5_4_0}) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$P_{2_N3}(\varphi_1) + \begin{bmatrix} l_{N3_3_0} \cdot \cos(\alpha_1) \\ l_{N3_3_0} \cdot \sin(\alpha_1) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{2_3_0} \cdot \cos(\varphi_{2_3_0}) \\ l_{2_3_0} \cdot \sin(\varphi_{2_3_0}) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

матриця результатів розрахунку:

$$\begin{bmatrix} \varphi_{2_3}(\varphi_1) \\ \varphi_{5_4}(\varphi_1) \\ l_{N3_3}(\varphi_1) \\ l_{2_3}(\varphi_1) \end{bmatrix} := \text{Find}(\varphi_{2_3_0}, \varphi_{5_4_0}, l_{N3_3_0}, l_{2_3_0}). \quad (16)$$

У виразах (13), (14), (15) та (16) кути $\varphi_{2_3_0}$, $\varphi_{5_4_0}$ і φ_{2_3} , φ_{5_4} характеризують відповідні задані початкові та обчислені функцією *Find* поточні кути повороту векторів ланок механізму відповідно P_{2_3} та P_{5_4} ; довжини $l_{N3_3_0}$, $l_{2_3_0}$ та l_{N3_3} , l_{2_3} характеризують відповідні задані початкові та обчислені функцією *Find* поточні значення відстані між точкою P_2 та точками N_3 напрямної та P_3 базисної ланки; кут $U_{3_2_4}$ визначає взаємне положення векторів P_{2_3} та P_{3_4} базисної ланки.

Слід відмітити, що початкові значення параметрів $\varphi_{2_3_0}$, $\varphi_{5_4_0}$ та $l_{N3_3_0}$, $l_{2_3_0}$ у виразі (13) залежать від варіанту складання механізму коливального руху робочого органу. Початкові значення параметрів визначалися за кінематичною схемою механізму. Мінімальна кількість варіантів складання цього механізму без урахування «дефекту галуження» [10] дорівнює 4. Для визначення потрібного варіанту складання слід провести схемотехнічне моделювання механізму, при якому можливо відслідкувати «дефект галуження» та перевірити стабільність обчислення параметрів механізму чисельним блоком Mathcad.

Використовуючи визначені за виразом (16) параметри, складаємо вирази для моделювання рухомих ланок та характерних точок механізму коливального руху в Mathcad.

Визначаємо вектори P_{N3_3} , P_{2_3} і P_{3_4} та P_{5_4} , використовуючи функції повороту (2), та радіуси-вектори точок P_3 , P_4 та P_5 згідно з афінними перетвореннями:

$$P_{N3_3}(\varphi_1) := \rho_Z(P_{N1_N2}, 0^\circ, l_{N3_3}(\varphi_1)). \quad (17)$$

$$P_3(\varphi_1) := P_{N3}(\varphi_1) + P_{N3_3}(\varphi_1) \quad \text{та} \quad P_{2_3}(\varphi_1) := P_3(\varphi_1) - P_2(\varphi_1), \quad (18)$$

$$\text{або } P_{2_3}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{2_3}(\varphi_1), l_{2_3}(\varphi_1)) \quad \text{та} \quad P_3(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) + P_{2_3}(\varphi_1). \quad (19)$$

$$P_{3_4}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{2_3}(\varphi_1) + U_{3_2_4}, l_{3_4}). \quad (20)$$

$$P_{5_4}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{5_4}(\varphi_1), l_{5_4}). \quad (21)$$

$$P_4(\varphi_1) := P_3(\varphi_1) + P_{3_4}(\varphi_1), \quad \text{або} \quad P_4(\varphi_1) := P_5 + P_{5_4}(\varphi_1). \quad (22)$$

Радіус-вектори характерних точок механізму коливального руху, а саме P_1 , $P_2(f_1)$, $P_3(f_1)$, $P_4(f_1)$, P_5 , P_{N1} та P_{N2} забезпечують побудову схеми механізму на графіку візуалізації та анімації в Mathcad (рис. 2).

Переходимо до математичного моделювання механізму поступального руху робочого органу. Визначаємо вектор-ланку шатун P_{G2_G3} , використовуючи функції повороту (2), та радіус-вектор точки P_{G3} , використовуючи функцію користувача «повзун», отриману в роботі [11], яку представляємо у вигляді:

$$P_{G3}(\varphi_1) := Povzun(P_{G2}(\varphi_1), P_{GN1}, P_{GN2}, l_{G2_G3}, P_{GN2}). \quad (23)$$

Вектор-ланку шатун P_{G2_G3} визначаємо як різницю векторів-точок P_{G3} та P_{G2} :

$$P_{G2_G3}(\varphi_1) := P_{G3}(\varphi_1) - P_{G2}(\varphi_1). \quad (24)$$

Визначаємо радіус-вектор точки P_{G4} , яка характеризує обертальну кінематичну пару повідок-голковід, згідно з функцією користувача для визначення координат точки перетину двох векторів (в нашому випадку векторів P_{8_7} та P_{G3_G4}), заданих відповідними координатами їхніх початків та кінців P_7 , P_8 , P_{G3} та P'_{G4} , отриману в [8]:

$$P_{G4}(\varphi_1) := P_{Per}(P_8(\varphi_1), P_7(\varphi_1), P_3(\varphi_1), P'_{G4}(\varphi_1)), \quad (25)$$

де $P'_{G4}(f_1)$ – точка, яка визначає кінець орта e_{G3_G4} вектора P_{G3_G4} ; орт e_{G3_G4} збігається з віссю повідка голководу, яка при роботі механізму, що досліджується, паралельна до осі X:

$$P'_{G4}(\varphi_1) := P_3(\varphi_1) + \rho_z(-e_x, 0^\circ, 1m).$$

Вектор повідка дорівнює різниці радіус-векторів точок P_{G4} та P_{G3} , тобто:

$$P_{G3_G4}(\varphi_1) := P_{G4}(\varphi_1) - P_{G3}(\varphi_1). \quad (26)$$

Радіус-вектори точок P_7 та P_8 у виразі (26) характеризують лінію руху робочого органу по напрямній, що визначається векторами P_{5_6} , P_{5_8} та P_{6_7} ($P_{5_8} = P_{6_7}$), та залежать від вектора P_{5_4} . Вказані вектори можна визначити та такими виразами:

$$P_{5_6}(\varphi_1) := \rho_z(P_{5_4}(\varphi_1), U_{4_5_6}, l_{5_6}); \quad P_6(\varphi_1) := P_5 + P_{5_6}(\varphi_1); \quad (27)$$

$$P_{6_7}(\varphi_1) := \rho_z(P_{5_6}(\varphi_1), 90^\circ, l_{6_7}); \quad P_7(\varphi_1) := P_6(\varphi_1) + P_{6_7}(\varphi_1); \quad (28)$$

$$P_8(\varphi_1) := P_5 + P_{6_7}(\varphi_1). \quad (29)$$

Залишається визначити вектор P_{G4_G5} , що характеризує розташування робочої точки механізму на лінії її руху (він визначається лінією між точками P_7 та P_8), а також визначити її радіус-вектор P_{G5} :

$$P_{G4_G5}(\varphi_1) := \rho_z(P_{5_6}(\varphi_1), 0, l_{G4_G5}); \quad (30)$$

$$P_{G5}(\varphi_1) := P_{G4}(\varphi_1) + P_{G4_G5}(\varphi_1). \quad (31)$$

Для розрахунку значення параметрів кінематичної схеми механізму були взяті з [2].

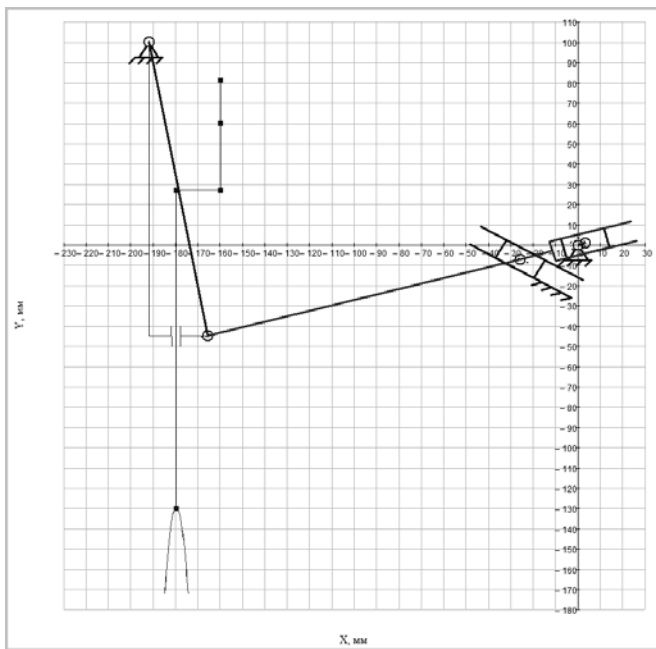


Рис. 2. Графік візуалізації в Mathcad кінематичної схеми механізму (анімація графіка представлена в [13])

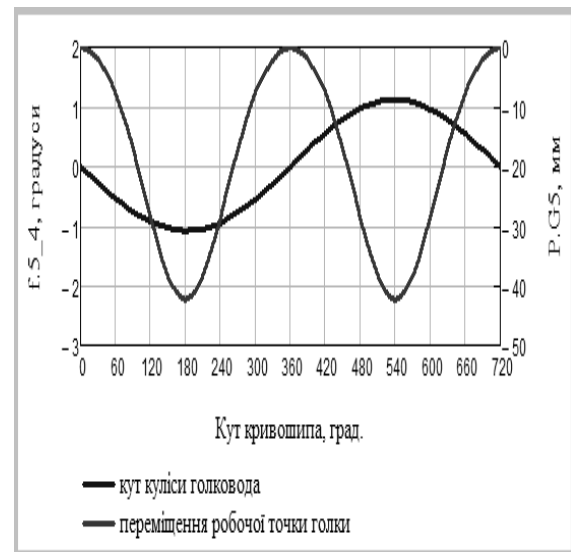
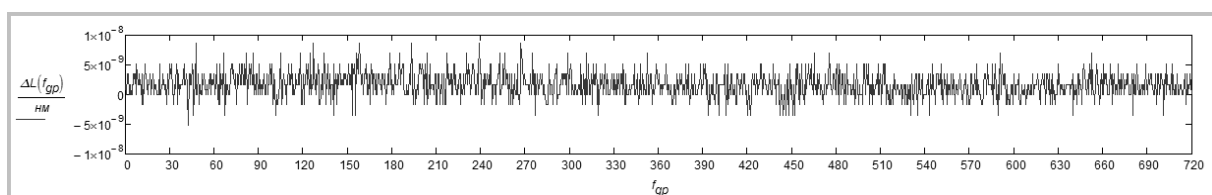


Рис. 3. Графік в Mathcad функції кута повороту куліси голковода $f_{5,4}(f_1)$, суміщений з графіком функції положення робочої точки механізму $P_{G5}(f_1)$ при $f_{max} = 720^\circ$

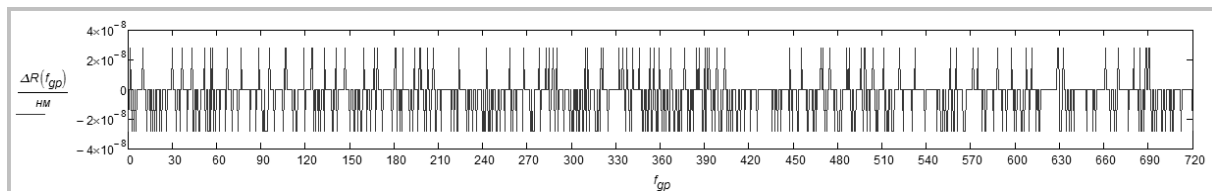
Для оцінки стабільності обчислення функції положення характерних точок P_3 та P_4 проводиться розрахунок відхилення їхніх траєкторій від прямої та дуги кола відповідно. Для точки P_3 спочатку визнається вектор P_{3_N1} , а потім його проекція на напрям, перпендикулярний до напрямної N_1N_2 ; ця проекція чисельно дорівнює відхиленню ΔL робочої точки механізму від прямолінійності, тобто:

$$P_{3_N1}(\varphi_1) := P_{N1} - P_3(\varphi_1). \quad (32)$$

$$\Delta L(\varphi_1) := (P_{3_N1}(\varphi_1) \times \text{Ort}(P_{N1_N2}))_Z. \quad (33)$$



а



б

Рис. 4. Графіки в Mathcad відхилення траєкторій точок (крок розрахунку відхилення $\Delta\varphi_1=0,5^\circ$):
а) повзуна 4 (точка P_3) від прямолінійної напрямної
б) точки P_4 від дуги кола радіуса L_{5_4}

Згідно з графіком на рис. 4, а, побудованому за виразом (36), інтервал відхилення ΔL

лежить в границях від $+9 \times 10^{-9}$ до -5×10^{-9} нанометра, а отже, зважаючи на таке мізерно мале відхилення, можна вважати, що точка P_3 відтворює закон руху по прямій лінії.

Згідно з графіком на рис. 4, б, побудованому за виразом $\Delta R(\varphi_1) := L_{5_4} - |P_{5_4}(\varphi_1)|$, інтервал відхилення ΔR становить близько $\pm 3 \times 10^{-8}$ нанометра, а отже, зважаючи на таке мізерно мале відхилення, можна вважати, що точка P_4 відтворює закон руху по дузі кола радіуса L_{5_4} .

Висновки. Отримані математичні вирази, що описують функції положення рухомих ланок у вигляді векторів-ланок та функції положення характерних точок у вигляді радіус-векторів, на основі яких створений програмний код для схемотехнічного комп'ютерного моделювання кінематичної схеми механізму третього класу третього порядку за класифікацією Ассура з двома поступальними парами із застосуванням програми Mathcad. Побудовані 3-D графіки візуалізації та анімації кінематичної схеми механізму голки швейної машини для виконання стібків типу 304 (зигзаг), графіки функції положення характерних точок та рухомих ланок механізму в програмі Mathcad, здійснено оцінку точності роботи механізму за графіками відхилення траєкторій його характерних точок.

Подальші дослідження будуть спрямовані на математичне моделювання механізму третього класу третього порядку з двома поступальними парами для коливального руху робочого органу, який отримує рух від кулачка (три-, чотири- та п'ятицентрового). Результати можуть бути використані для подальшого дослідження кінематики та динаміки подібних механізмів із застосуванням методу векторного перетворення координат, а також для визначення взаємних переміщень характерних точок робочих органів технологічних машин у режимі реального часу із застосуванням програми Mathcad.

Результати досліджень впроваджені в навчальні дисципліни «Схемотехнічне проектування машин» та «Розрахунок та конструювання типових машин» кафедри прикладної механіки та машин КНУТД.

Список використаних джерел

1. Осипова О. И. Кинематический анализ и синтез механизмов с шестизвенной четырехпроводковой структурной группой и выстоями выходных звеньев : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.18 «Теория механизмов и машин» / О. И. Осипова. – Омск, 2012. – 26 с.
2. Гебель Е. С. Кинематический синтез и анализ кривошипно-ползунных механизмов 3-го класса при заданных циклограмме и положении направляющей [Електронний ресурс] / Е. С. Гебель, В. Г. Хомченко, В. В. Клевакин // Научный журнал НИУ ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 2(24). Режим доступа: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/7413.pdf>.
3. Дворжак В. М. Схемотехнічне моделювання механізмів основов'язальних машин зі структурними групами III класу. [електронний ресурс] / В. М. Дворжак, Б. В. Орловський, Б. М. Петрів, М. Г. Залюбовський // Технології та дизайн. – 2012. – № 4. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2012_4/index.html.
4. Дворжак В.М. Комп'ютерне моделювання механізмів основов'язальних машин зі структурними групами третього класу третього порядку з поступальними парами / В.М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2015. – № 6. – С. 37-46.
5. Мацюк И. Н. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких

классов в программе Mathcad. [електронний ресурс] / И. Н. Мацюк, В. М. Третьяков, Э. М. Шляхов // Теория механизмов и машин. – 2012. – № 1. Том 10. – С. 65-70. – Режим доступа до журн.: <http://tmm.spbstu.ru/journal.html>.

6. Мацюк И. Н. Решение векторных уравнений кинематики механизмов с помощью программы Mathcad. [електронний ресурс] / И. Н. Мацюк, К. А. Зиборов, Э. М. Шляхов // Теория механизмов и машин. – 2008. – № 1. Том 6. – С. 64-70. – Режим доступа до журн.: <http://tmm.spbstu.ru/journal.html>.

7. Орловський Б. В. Схемотехнічне моделювання механізмів основ'язальних машин з трьома ступенями вільності зі структурними групами III класу IV порядку / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, І. В. Савченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 174-181.

8. Орловський Б. В. Метричний синтез оберненого кулісного механізму ниткопритягувача швейної машини. Повідомлення 1 [електронний ресурс] / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, Є. С. Радченко // Технології та дизайн. – 2011. – № 1. – Режим доступа до журн.: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2011_1/2011-1.html.

9. Пищиков В. О. Проектирование швейных машин / В. О. Пищиков, Б. В. Орловський – К.: Видавничо-поліграфічний дім «Формат», 2007. – 320 с.

10. Кикин А. Б. Разработка методов и средств для структурно-кинематического проектирования рычажных механизмов машин легкой промышленности : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (легкая промышленность)» / А. Б. Кикин. – СПб, 2006. – 362 с.

11. Орловський Б. В. Схемотехнічне моделювання кінематичних схем механізмів з двома ступенями вільності основ'язальних машин / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 1. – С. 33-42.

12. Preumont A. Théorie générale des systèmes articulés. Introduction à la robotique / André Preumont – Bruxelles : ULB, 2001. – 192 p.

13. Владимир Дворжак. (2016). Механизм третьего класса третьего порядка с двумя поступательными парами [відеокліп] / YouTube. 4 вересня (https://youtu.be/ega_mQEGcJM).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ШВЕЙНЫХ МАШИН СО СТРУКТУРНЫМИ ГРУППАМИ ТРЕТЬЕГО КЛАССА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ ПАРАМИ ДВОРЖАК В. М.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование методов проектирования механизмов технологических машин легкой промышленности с применением прикладных САД-программ.

Методика. Использован численный метод векторного расчета типовых механизмов технологических машин легкой промышленности.

Результаты. Получены математические модели, описывающие функции положения подвижных звеньев и характерных точек механизма третьего класса третьего порядка с двумя поступательными парами. Выполнено схемотехническое моделирование механизма иглы швейной машины для выполнения стежков типа 304 (зигзаг) в приложении Mathcad. Построены графики погрешности воспроизведения траекторий характерными точками механизма, графики визуализации и анимации кинематической схемы механизма в приложении Mathcad.

Научная новизна. Предложен метод аналитического исследования шарнирно-рычажных механизмов третьего класса третьего порядка с двумя поступательными парами на основе численного решения векторных уравнений кинематики, с помощью которого

созданы математические модели и проведено схмотехническое компьютерное моделирование механизма иглы швейной машины для выполнения стежков типа 304 в прикладной CAD-программе Mathcad.

Практическая значимость работы заключается в использовании полученных результатов исследований при проектировании и кинематическом исследовании целевых механизмов швейных машин.

Ключевые слова: анализ и моделирование механизмов, структурная группа Ассура III класса, механизм колебательного движения иглы, швейная машина, зигзаг.

MATHEMATICAL MODELING OF MECHANISMS SEWING MACHINES WITH STRUCTURE GROUP THIRD CLASS OF THE THIRD ORDER WITH TWO PAIRS TRANSLATIONAL

DVORZHAK V. M.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Improving methods of designing technological machines mechanisms of light industry in CAD-programs.

Methodology. We used a numerical method of calculating machines mechanisms based vectors.

Findings. The mathematical models that describe the function of the position of mobile units, and the characteristic points of the third class of third-order mechanism with two translational pairs. Achieved circuit simulation sewing machine needle mechanism for performing stitch type 304 (zigzag) in Mathcad application. The graphs of error paths playback mechanism characteristic points, visualization graphics and animation, kinematic scheme of the mechanism in Mathcad application.

Originality. The method of analytical study hinged-lever mechanisms of the third class of third order with two translational pairs based on the numerical solution of vector equations kinematics by which mathematical models and carried schematic computer simulation of the sewing machine needle mechanism for performing stitch type 304 in the application the product range CAD-program Mathcad.

Practical Value is to use the results of research in the design and kinematic study of the target sewing machine mechanisms.

Keywords: analysis and simulation of mechanisms, structural Assur group class III, the mechanism of vibrational motion of the needle, sewing machine, zigzag.

УДК 620.178.53

ЗЕНКІН М.А., ЛАЗЕБНИЙ В.І., ВАСИЛЕНКО І.Ю.
Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Мета. Дослідження впливу динамічних характеристик шліфувальних верстатів на якість обробки малогабаритних валів.

Методика. Використаний автоматизований контроль та ідентифікація динамічних характеристик шліфувальних верстатів в системі моніторингу технологічного процесу.

Результати. Отримані результати експериментальних досліджень зв'язку динамічних характеристик шліфувальних верстатів і якості обробки малогабаритних валів для визначення найбільшої ефективності процесу шліфування.

Наукова новизна. Запропонований автоматизований контроль рівня вібрацій шліфувальних верстатів як елемент моніторингу технологічного процесу, що забезпечує отримання достовірної інформації про динамічний стан верстату, який суттєво впливає на якість обробки малогабаритних валів.

Практична значимість. Проведені дослідження є основою для розробки методики моніторингу процесу шліфування в рамках системи управління якістю продукції та сприяли реалізації комплексу організаційно-технічних заходів, що дозволило виключити дефекти на поверхнях кочення малогабаритних валів.

Ключові слова: динамічні характеристики, віброакустичні коливання верстата, запас стійкості динамічної системи, якість обробки, малогабаритні вали.

Вступ. Одним з найважливіших процесів фінішної обробки малогабаритних валів є шліфування на автоматизованих верстатах. До зниження якості валів призводить вплив ряд факторів, які супроводжують процес шліфування, такі як високі температури, що тягнуть стирання різальних кромок абразивних зернин шліфувального круга, сколювання різальних кромок, заповнення вільних пір металевою стружкою та ряд інших чинників [1, 2]. Якість обробки малогабаритних валів забезпечується управлінням процесами шліфування. Слід зазначити, що у процесі функціонування в автоматизованих металорізальних верстатах (МРВ) протікає безліч процесів різної швидкості: технологічні, які реалізують основну функцію верстата, коливальні та теплові, викликані внутрішніми і зовнішніми джерелами збуджень, трибологічні, пружно-деформаційні і ряд інших, що визначають реальний стан процесу обробки і устаткування [1, 2]. Важливим етапом в забезпеченні параметричної надійності МРВ є моніторинг, що включає контроль, діагностування, прогнозування та управління якістю обробки на основі аналізу результатів вимірювань визначальних параметрів технологічного процесу і обладнання [3, 4]. В якості одного з найбільш значущих елементів моніторингу розглядається контроль динамічних характеристик МРВ [5, 6].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження динамічних характеристик шліфувальних верстатів на якість обробки малогабаритних валів.

Результати дослідження. Якість малогабаритних валів після операції шліфування, яке визначається макро- і мікрогеометричними параметрами точності та фізико-механічним станом поверхневого шару доріжок кочення, залежить від багатьох факторів (рис. 1), в тому числі і таких як режим різання і динамічний стан верстата. Активний контроль здійснюється засобами, вбудованими в технологічне обладнання для безпосереднього впливу на технологічний процес з метою забезпечення заданої якості продукції. Розвиток активного контролю з використанням мікропроцесорної техніки дозволяє за рахунок збільшення числа контрольованих параметрів, за якими оптимізується процес шліфування, розширити функції приладів активного контролю. Це призводить, з одного боку, до ускладнення приладів контролю, але, з іншого боку, отримується вимірювальна інформація про величину і напрямок зміни параметрів деталей і технологічного процесу, що дозволяє здійснити оперативний контроль режиму обробки та забезпечити високу якість поверхневого шару доріжок кочення малогабаритних валів. Автоматичний розподіл режимів шліфування по припуску, який здійснюється приладами активного контролю, може бути більш-менш ефективним в залежності від набору контрольованих параметрів і способів обробки інформації про процес і про результати шліфування. До числа додаткових параметрів, що контролюються слід віднести рівень вібрацій в динамічній системі (ДС) і швидкість зняття припуску. Вимірювання вібрації ДС дозволяє контролювати не тільки власне процес шліфування, та правку круга, а також скоротити час «шліфування повітря».

Для оцінки динамічного стану МРВ використовується вимір рівня віброакустичних (ВА) коливань вузлів підсистеми, які суттєво впливають на некруглість і хвилястість обробленої поверхні кочення, а також сприяють зміні структури поверхневого шару, що знижує надійність виробу.

При ідентифікації динамічного стану верстата виникає необхідність в побудові його достовірної математичної моделі. Шліфувальний верстат є складною динамічною системою (ДС), що складається з декількох підсистем, взаємодія між якими здійснюється як при різанні, так і без різання (під час холостого ходу).

У процесі шліфування взаємодіють силові і теплові процеси, які пов'язані з різанням і пластичними деформаціями металу, процеси зносу шліфувального круга і зміни його ріжучих властивостей, динамічні процеси в формотворюючій підсистемі, включаючи коливальні процеси в шпиндельних вузлах (ШВ) кола і деталі, процеси тертя, процеси в електро- і гідроприводах робочих рухів верстата, а також деякі інші процеси, вплив яких несуттєвий.

В якості математичної моделі ДС верстата доцільно розглянути передаточну функцію [7]. Її побудову передусє складання функціональної схеми ДС (рис. 2), яка найбільш доцільна з точки зору зручності подання вхідних і вихідних величин і впливів, а також організації контролю параметрів, що дозволяють оцінити динамічний стан верстата. Так, наприклад, в виробничих умовах вимірюваними є рівні коливань ШВ інструменту $x_u(t)$ і ШВ деталі $x_o(t)$, що дозволяє використати їх в системі моніторингу.

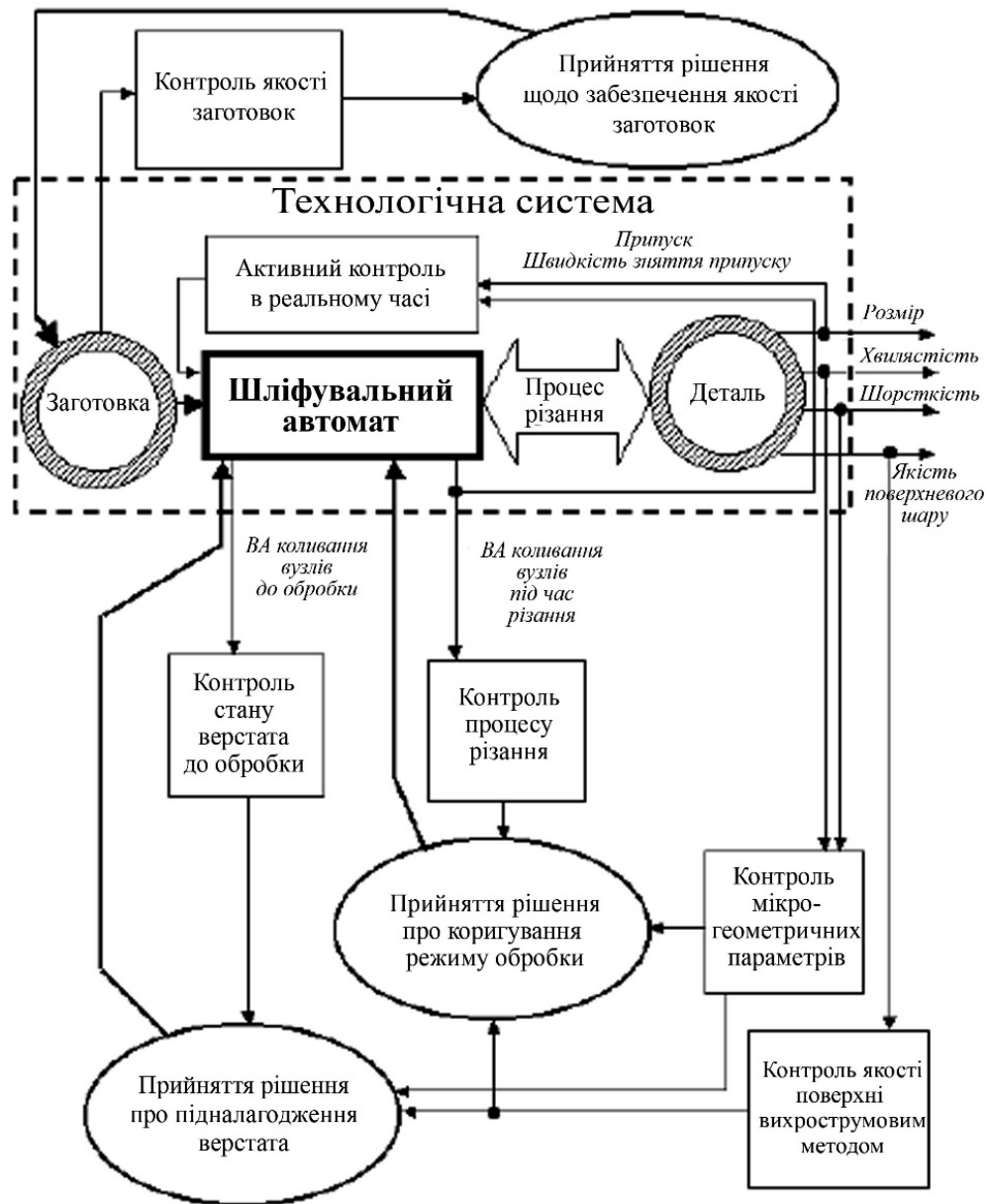


Рис. 1. Управління процесом шліфування з використанням додаткових інформаційних параметрів

При побудові моделі ДС необхідно враховувати стохастичні властивості параметрів і процесів в технологічній системі (ТС) при абразивній обробці. За регулюючий вплив на процес прийнята швидкість супорта поперечної подачі шліфувального круга v_c , а за вихідну змінну об'єкта – радіальна складова сили різання F_p .

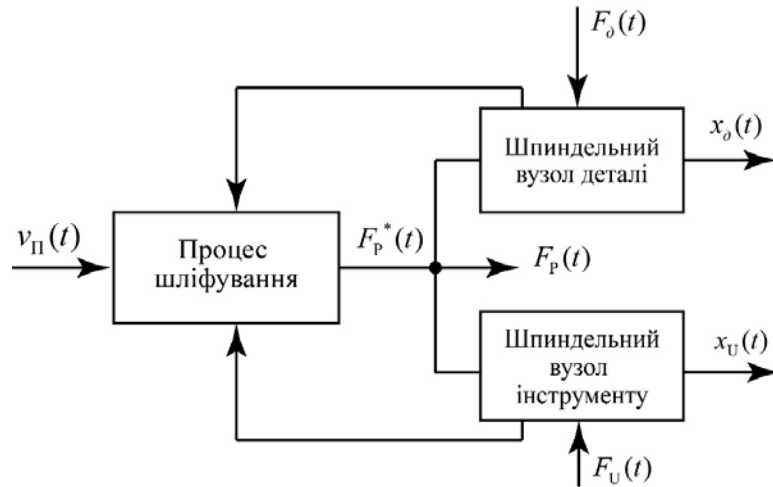


Рис. 2. Функціональна схема ДС шліфувального верстата: $v_{\Pi}(t)$ – швидкість подачі круга; $F_p(t)$ – сила різання; $F_o(t)$, $F_u(t)$ – збуджуючі впливи; $x_o(t)$, $x_u(t)$ – наведені до поверхні різання зсуви ШВ деталі і ШВ інструменту

Беручи до уваги схему ДС верстата, можна зробити висновок, що пружна система складається з паралельно з'єднаних ШВ деталі і ШВ інструменту, таким чином, $W_{yc}(p) = W_u(p) + W_d(p)$. Тоді передаточна функція процесу різання буде мати вигляд:

$$W_p(p) = \frac{1}{p} (1 - e^{-p\beta\tau_d}) \frac{K_{piz}}{1 + K_{piz} (1 - e^{-p\tau_d}) [W_d(p) + W_u(p)]}, \quad (1)$$

де, K_{piz} , β – коефіцієнти, що визначають процес різання, τ_d – час обертоту деталі.

Передаточні функції ШВ деталі $W_d(p)$ і ШВ інструменту $W_u(p)$ в загальному випадку мають складну структуру, яка створена сукупністю коливальних ланок. Вирази для них мають наступний вигляд:

$$W_d(p) = \sum_{i=1}^n \frac{h_{d_i}}{T_{d_i}^2 p^2 + 2\gamma_{d_i} T_{d_i} p + 1}, \quad W_u(p) = \sum_{j=1}^m \frac{h_{u_j}}{T_{u_j}^2 p^2 + 2\gamma_{u_j} T_{u_j} p + 1}, \quad (2)$$

де h_{d_i} , h_{u_j} – коефіцієнти, що обумовлені статичної жорсткістю окремих елементів ШВ; T_{d_i} , T_{u_j} – сталі часу, що обумовлені власними частотами окремих елементів ШВ; γ_{d_i} , γ_{u_j} – відносні коефіцієнти демпфірування окремих елементів ШВ.

Аналіз формули (1) з урахуванням виразів (2) досить складний, тому з метою спрощення передаточної функції $W_p(p)$ ШВ розглянемо коливальні ланки з однієї основної частотою, тоді отримаємо:

$$W_p(p) = \frac{K_{piz} \tau_d (T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1)}{(T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1) + K_{piz} p \tau_d h_d (T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1) + K_{piz} p \tau_d h_u}. \quad (3)$$

Після нехтування складовими з коефіцієнтами третього і четвертого порядку, отримуємо:

$$W_p(p) = \frac{K_{PI3}\tau_d}{T_U^2 p^2 + 2[\gamma_U + K_{PI3}\tau_d(h_d + h_U)]T_U p + 1}. \quad (4)$$

Необхідно відзначити, що реально сила різання $F_p(t)$ є сумою детермінованої складової $\tilde{F}_p(t)$, яка визначається подачею круга та стохастичною складовою $\dot{F}_p(t)$, яка визначається сукупністю різних факторів, до числа яких відносяться нерівномірність швидкості подачі круга, нерівномірність припуску заготовки, коливання в ДС та ряд інших. Це дозволяє розглядати складову $\dot{F}_p(t)$ як «білий шум» зі сталою спектральною щільністю S_0 . Стохастичний характер процесів в ДС вимагає для детального аналізу застосування відповідних методів теорії випадкових процесів, зокрема, кореляційного і спектрального аналізу. Відповідно, зазначений характер сил різання обумовлює детерміновану і стохастичну складові коливальних процесів в ДС, що визначають динамічний стан верстата.

Модель ДС для врізного шліфування, що представлена на рис. 2, найбільш зручна для подальшого аналізу з точки зору організації контролю ВА коливань основних формоутворюючих вузлів, зокрема, ШВ деталі і ШВ інструменту (абразивного круга), які безпосередньо впливають на мікрогеометрію поверхні кочення. Вихідні вимірювані величини, якщо не враховувати впливи на ШВ деталі і ШВ інструменту, виражаються формулами:

$$x_d(p) = \frac{W_d(p)F_p(p)}{1+W_p(p)[W_d(p)+W_U(p)]}, \quad x_U(p) = \frac{W_U(p)F_p(p)}{1+W_p(p)[W_d(p)+W_U(p)]}. \quad (5)$$

Якщо вимірювання ВА коливань здійснюються на опорі кільця, то вплив з боку ШВ деталі і ШВ інструменту підсумовуються, отже, маємо:

$$x_0(p) = \frac{[W_d(p)+W_U(p)]F_p(p)}{1+W_p(p)[W_d(p)+W_U(p)]}. \quad (6)$$

Складову $\tilde{F}_p(t)$ встановлює закономірність зняття припуску, що задається від підсистеми управління, а складову $\dot{F}_p(t)$ визначає формування мікрогеометрії поверхні. З теорії управління відомо, що спектр сигналу на виході ДС з частотної функцією $W(j\omega)$ пов'язаний зі спектром вхідного сигналу співвідношенням:

$$S_{\text{вих}}(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_{\text{вх}}(\omega). \quad (7)$$

В даному випадку передбачається, що $S_{\text{вх}}(\omega) = S_0$, тоді $S_{\text{вих}}(\omega)$ цілком визначається частотної функцією ДС і, отже, цей спектр знаходиться в реєстрованому сигналі, пов'язаному з величиною $x_0(t)$. Передаточна функція ДС визначається з формули (6) у вигляді:

$$W_{\text{ДС}}(p) = \frac{W_d(p)+W_U(p)}{1+W_p(p)[W_d(p)+W_U(p)]}. \quad (8)$$

З останнього виразу після ряду спрощень отримуємо:

$$W_{\text{ДС}}(p) = \frac{h_{\text{Д}} T_{\text{У}}^2 p^2 + 2h_{\text{Д}} \gamma_{\text{У}} T_{\text{У}} p + h_{\text{Д}} + h_{\text{У}}}{T_{\text{У}}^2 p^2 + 2\gamma T_{\text{У}} p + 1}, \quad (9)$$

де $\gamma = \gamma_{\text{У}} + 0,5K_{\text{РІЗ}}\tau_{\text{Д}}(h_{\text{Д}} + h_{\text{У}})T_{\text{У}}^{-1}$.

Відповідно, вираз для $|W(j\omega)|^2$ виходить з (9) у вигляді:

$$|W(j\omega)|^2 = \frac{(h_{\text{Д}} + h_{\text{У}} - h_{\text{Д}} T_{\text{У}}^2 \omega^2)^2 + 4h_{\text{Д}}^2 \gamma_{\text{У}}^2 T_{\text{У}}^2 \omega^2}{(1 - T_{\text{У}}^2 \omega^2)^2 + 4\gamma^2 T_{\text{У}}^2 \omega^2}. \quad (10)$$

Моделювання на комп'ютері в середовищі MATLAB 9.0 дозволило отримати спектр процесу $x_0(t)$ при впливі типу «білий шум».

В реальних умовах експлуатації на ДС можуть впливати збудження в різних діапазонах спектру, наприклад, низькочастотне збудження через дисбаланс кола. У цьому випадку моделювання здійснюється введенням в формулу (9) додаткової складової:

$$x_{\text{ОВ}}(p) = \frac{[W_{\text{Д}}(p) + W_{\text{У}}(p)]F_{\text{Р}}(p) + F_{\text{УВ}}(p)W_{\text{У}}(p)}{1 + W_{\text{Р}}(p)[W_{\text{Д}}(p) + W_{\text{У}}(p)]} \quad (11)$$

Збудження через дисбаланс кола можна представити наступним чином:

$$F_{\text{ІВ}}(t) = F_{\text{Д}} \sin \omega_k t, \quad (12)$$

де ω_k – кутова швидкість обертів кола.

Внесок зазначеного збудження в спектр частот коливань проявляється в появі складової на частоті ω_k , амплітуда якої залежить від величини дисбалансу.

Характер спектрів відповідає експериментальним даним, представленим зокрема в роботі [6]. Реальна ДС верстата містить велику кількість ланок, чий частоти коливань необхідно враховувати при порушенні сигналом типу «білий шум», тому що ресструючий спектр має більш складний склад. Отже, для оцінки динамічного стану верстата результати вимірювань коливань $x_0(t)$ та $x_{\text{ОВ}}(t)$ необхідно обробляти методами теорії випадкових процесів.

Розроблена модель дозволяє для конкретного верстата розрахувати можливий спектр коливань ДС для номінального стану з урахуванням реальних частотних характеристик ШВ деталі і ШВ інструменту, а потім порівняти його з вимірним спектром вібрацій в умовах експлуатації і на основі чисельних значень деяких функціоналів зробити висновок про динамічний стан шліфувального верстату. Вибір інформативних параметрів пов'язаний з моделлю формування ВА коливань. Для прийнятої стохастичної моделі такими параметрами можуть бути спектральні і кореляційні функції, біспектри, кепстра, моментні функції, інтегральні оцінки спектрів та кореляційних функцій.

На станції технічного обслуговування Matiz Service при аналізі якості обробки малогабаритних валів різних типів виконані вимірювання ВА коливань на круглошліфовальних

автоматах моделі ROBBI REX 1200. Для вимірювань використовувалися: два вібровимірювача ВШВ-003М2 з датчиками ДН-3, осцилограф С1-55 та комп'ютер. Вібродатчики встановлювалися за допомогою магнітних опор на елементи конструкції верстатів. Сигнали датчиків реєструвалися в режимі лінійного посилення (діапазон частот 1...4000 Гц) або на октавних фільтрах, частоти яких відповідали швидкості обертання шпинделя кола. Результати оброблялися на комп'ютері в середовищі MATLAB 9.0. Встановлено характер зміни спектра ВА коливань в процесі технологічного циклу і виявлені найбільш інформативні складові. Для підсистеми «інструмент-деталь» встановлено інформативний діапазон частот 1...2 кГц, пов'язаний з процесом шліфування валів і використовуваний для управління режимом обробки.

Крім аналізу рівня ВА коливань верстатів, проводилося дослідження хвилястості і некруглості валів на кругломірі Talyrond серії 500 після попередньої обробки на верстатах моделі ЛЗ-269 Ø 10 і після остаточної обробки на верстатах моделі SWaAGL-50.

При аналізі якості обробки валів виконані вимірювання вібрацій на чотирьох верстатах моделі SWaAGL-50. В якості інформативних характеристик використовувалися рівень віброприскорення на частоті обертання кола, загальний рівень вібрацій (ЗРВ), спектри коливань та інтегральні оцінки спектрів.

Порівняльний аналіз динамічних характеристик верстатів показав, що їх рівень досить сильно впливає на якість доріжок кочення. Дані з установки вихреструмового контролю відображають відмінності в стані поверхневого шару малогабаритних валів з дефектом і малогабаритних валів без дефектів, і корелюють з динамічним станом верстатів.

Проведені дослідження стали основою для розробки методики моніторингу процесу шліфування в рамках системи управління якістю продукції і сприяли реалізації комплексу організаційно-технічних заходів, що дозволило практично виключити дефекти на поверхнях кочення малогабаритних валів.

Висновки. На підставі результатів вимірювань та ідентифікації динамічних характеристик шліфувальних верстатів можна зробити наступні висновки:

1. Автоматизований контроль рівня вібрацій шліфувальних верстатів як елемент системи моніторингу технологічного процесу забезпечує отримання достовірної інформації про динамічний стан верстатів, що суттєво впливає на якість обробки малогабаритних валів.
2. Побудована модель частотної функції ДС верстата, що враховує динамічні характеристики ШВ інструменту та ШВ деталі, дозволяє здійснити моделювання спектрів процесів на виході системи за умови впливу сили різання зі стохастичним компонентом типу «білий шум», що збуджує гармонійний вплив від дисбалансу круга.
3. Для оцінки динамічного стану доцільно використовувати як детерміновані, так і стохастичні характеристики коливань основних формуютьуючих вузлів, які найбільш чутливі до зміни їх рівня і взаємопов'язані з параметрами якості обробки малогабаритних валів: без різання – рівень вібрацій на ШВ інструменту на частоті обертання і ЗРВ при різанні.
4. Результати вимірювань в виробничих умовах ВА коливань шліфувальних автоматів і якості деталей дозволили обґрунтувати доцільність використання інформації про динамічний

стані верстатів для управління процесом різання і реалізувати комплекс заходів щодо підвищення якості обробки малогабаритних валів.

Список використаних джерел

1. Проников А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
2. Аршанский М. М. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках / М. М. Аршанский, В. П. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 136 с.
3. Зенкин А. С. Технология машиностроения легкой промышленности / А. С. Зенкин, Л. М. Гулько, Л. Ф. Михайленко. – К.: Вища школа, 1985. – 222 с.
4. Михелькевич В. Н. Автоматическое управление шлифованием / В. Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
5. Явленский К. Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем / К. Н. Явленский, А. К. Явленский. – М.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
6. Зенкін М. А. Обґрунтування вибору зміцнюючих покриттів відповідальних деталей машин / М. А. Зенкін, І. Ю. Василенко. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2012. – №6 – С. 69-76.
7. Рутковський А. В. Регулювання залишкових напруг у покриттях / А. В. Рутковський, М. А. Зенкін, А. Б. Сорока. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – №4 – С. 34–37.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

ЗЕНКИН Н.А., ЛАЗЕБНЫЙ В.И., ВАСИЛЕНКО И.Ю.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование влияния динамических характеристик шлифовальных станков на качество обработки малогабаритных валов.

Методика. Использован автоматизированный контроль и идентификация динамических характеристик шлифовальных станков в системе мониторинга технологического процесса.

Результаты. Полученные результаты экспериментальных исследований связи динамических характеристик шлифовальных станков и качества обработки малогабаритных валов для определения наибольшей эффективности процесса шлифования.

Научная новизна. Предложенный автоматизированный контроль уровня вибраций шлифовальных станков как элемент мониторинга технологического процесса, обеспечивающий получение достоверной информации о динамическом состоянии станка, который существенно влияет на качество обработки малогабаритных валов.

Практическая значимость. Проведенные исследования являются основой для разработки методики мониторинга процесса шлифования в рамках системы управления качеством продукции, которая способствовала реализации комплекса организационно-технических мероприятий, что позволило исключить дефекты на поверхностях качения малогабаритных валов.

Ключевые слова: динамические характеристики, виброакустические колебания станка, запас устойчивости динамической системы, качество обработки, малогабаритные валы.

IMPROVEMENT AUTOMATED CONTROL OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF GRINDING MACHINES

ZENKIN N., LAZEBNY V., VASILENKO I.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Investigation of the effect of dynamic characteristics of grinding machines on the quality of processing of small trees.

Methodology. Use of automated control and identification of dynamic characteristics of grinding machines in the system monitoring process.

Results. The results of experimental studies of the association of dynamic characteristics of grinding machines and the quality of processing of small rolls to determine the maximum efficiency of the grinding process.

Scientific novelty. The proposed level of automated control grinding machines vibration as part of the monitoring process that provides reliable information on the dynamic state of the machine, which significantly affects the quality of treatment of small trees.

Practical meaningfulness. The studies are the basis for the development of a methodology for monitoring the grinding process of the quality management system, which has contributed to the implementation of a complex of organizational and technical measures, which allowed to eliminate defects on the surfaces of small roller shafts.

Keywords: *the vibroacoustic vibrations of the machine, dynamic stability margin of the system, edit the grinding wheel, the quality of processing, small roller shafts.*

УДК 677.07: 681.5.08

КУРГАНСЬКИЙ А.В., БЕРЕЗНЕНКО С.М.,
КУРГАНСЬКА М.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ПРИНЦИП ЗОНАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ ПІД ОДЯГОМ

Мета. Дослідження факторів, що впливають на зонування, кількісний та якісний склад елементів бездротових сенсорних мереж для моніторингу зовнішнього мікроклімату підодягового простору у системі «людина-спеціальний одяг-навколишнє середовище» у реальному часі для створення спеціального одягу максимально наближеного до виробничих умов.

Методика. Аналіз факторів, які впливають у системі підодягового простору на зонування, кількісний та якісний склад елементів комплексу з моніторингу мікроклімату підодягового простору.

Результати. Запропоновано принцип розташування елементів бездротових сенсорних мереж для моніторингу мікроклімату у підодяговому просторі та наведено приклад зонально-диференційованого розташування цих елементів.

Наукова новизна. Вперше проведено комплексне дослідження факторів у підодяговому просторі з метою застосування бездротових сенсорних мереж для моніторингу його параметрів та оцінювання впливу одягу на ефективність виконання функціональних обов'язків працівником.

Практична значимість. Розробка елементів та нової конструкції, в цілому, функціонального спеціального одягу з інтегрованою бездротовою сенсорною мережею.

Ключові слова: смарт одяг, спеціальний одяг, комфортність, бездротові сенсорні мережі, моніторинг мікроклімату.

Вступ. Знаходження працівника або військовослужбовця у навколишньому середовищі у комфортних умовах вимагає врахування максимальної кількості факторів під час проектування спеціального одягу або предметів речового майна відповідно. На теперішній час актуальними є дослідження із застосуванням бездротових сенсорних мереж для встановлення залежностей між ступенем напруженості основних фізіологічних функцій та кількісного та якісного складу комплекту спеціального одягу через аналіз затрати часу, зусиль і енергії на подолання опору екіпірування, що визначає його працездатність. Також відсутні дослідження, що спрямовані на комплексний аналіз комплектності та сумісності елементів спеціального одягу та параметрів взаємодії з людиною. В Україні практично відсутні розробки виробів з зонально-диференційованим використанням біометричних пакетів матеріалів для контролю тактико-технічних властивостей та мікроклімату під спеціальним одягом. Проте, численні і аргументовані публікації стосуються аналізу ефективності застосування елементів «розумного» (smart) одягу та «носимих» (wearable) технологій для різних сфер життєдіяльності.

Зростання потреби у спеціальному одягу та засобах індивідуального захисту загалом обумовлене сталим розвитком вимог та ринку праці. Очікування працівників, на теперішній час, стосуються не стільки окремо захисних функцій, а також комфортності, наявності «розумної» складової, вартості, з огляду на максимальну доступність, екологічності [1].

Комфортний стан людини залежить від багатьох факторів, в тому числі кліматичних змінних, метаболічного тепла і параметрів одягу [2].

Постановка завдання. Комфорт під час експлуатації одягу залежить від тонкого шару між шкірою тіла людини та одягом [3]. На теперішній час відсутня методика визначення швидкоплинних одночасно параметрів температури та розподілу концентрацій поту і тепла.



Рис.1. Принципова схема мікроклімату під одягом [3]

Існуючі правила застосування матеріалів у спеціальному одязі чітко встановлюють вимоги до показників, які характеризують фізичні властивості текстильних матеріалів (сировинного складу, гігроскопічність, повітропроникність), які регулюють підодяговий мікроклімат [4,5].

И. Парковою та А. Вилломсоне [6] було проведено дослідження процесів та факторів, які впливають на комфорт носіння «розумного» одягу, а також проаналізовані процеси терморегуляції організму людини і параметрів, які впливають на мікроклімат підодягового простору. Авторами зазначено складність визначення температури у прошарку між тілом людини та одягом в зв'язку з залежністю від ступеня активності людини. Умовами комфорту мікроклімату підодягового простору визначено: вологість – 35-60 %; температура повітряного прошарку – 30-32⁰С (у стані спокою) та 15⁰С (під час роботи); концентрація CO₂ < 0,8% [6,7]. Також у даній роботі [8] визначено умови теплового комфорту: тіло знаходиться у тепловому балансі; інтенсивність потовиділення та середня температура шкіри знаходяться у комфортних межах.

Відповідно до досліджень [9] слід враховувати залежність зміни товщини матеріалів відповідно до кількості циклів прання. Врахування цих змін унеможливить використання не стабільних матеріалів низької якості.

Також встановлено, що дослідження не проводились за напрямом функціонального стану організму працівника, який характеризується різним ступенем напруженості основних фізіологічних функцій через аналіз затрати часу, зусиль і енергії на подолання опору екіпірування, що визначає його працездатність. Також відсутні дослідження, що спрямовані на комплексний аналіз комплектності та сумісності елементів індивідуального захисту з працівником.

Для дослідження впливу елементів комплексу, рекомендовано проводити порівняння різновидів із застосуванням аналізу мікроклімату під одягом та на поверхні шкіри [10,11,12], доведено, що зміна одного шару комплексу (білизни) дозволяє не вносити зміни до конструкції та матеріали спеціального одягу та отримати комфортні умови виконання функціональних обов'язків. Також обов'язковим є врахування не тільки матеріал верху за волокнистим складом, а і його структуру, також товщина повітряного прошарку, щільність та тиск [13]. Також слід застосовувати мініатюрні біосенсорні системи, мікроелектроніку та бездротові технології застосування, яких знизить ступінь впливу на процес вимірювання [14].

Результати дослідження. Тіло людини прийнято поділяти на 13 циліндричних сегментів з характерною кривизною і площею поверхні різних частин тіла [15]. Наведені дані щодо кривизни відносної площі стосуються чоловіка нормальної статури. Для інших типів параметри можуть змінюватись, але не мають суттєвого впливу на розрахунки (табл. 1). Циліндрична модель (Cylinder model) є прийнятною для розрахунку еталонних значень, тобто стоячи і без вітру (рис. 2).

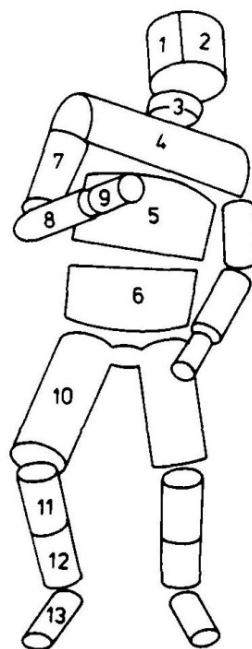


Рис.2. Зображення циліндричних сегментів тіла людини [15]

Таблиця 1

Характеристика циліндричних сегментів тіла людини для розрахунку мікроклімату під одягом [15]

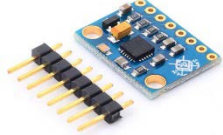
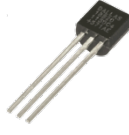
Назва параметру	Номер циліндричного сегменту, S_n												
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}
Радіус, см	9,5	9,5	6,5	12,0	16,0	16,0	4,5	4	3,5	9,0	6,5	6,5	4,5
Площа, %	4	3	1	13	12	10	6	6	5	20	7	6	7

Місця накладання декількох датчиків або систем пропонується назвати біометричним пакетом. Засіб вимірювання, який зонально-диференційовано поєднує в собі системи вимірювання та моніторингу – біометричним комплексом.

Такий підхід дозволяє уніфікувати пакети та зосередити дослідження щодо їх удосконалення, оптимізації як розмірів так і енергоспоживання як окремо взятого пакету так і бездротової натільної сенсорної мережі моніторингу мікроклімату загалом. Наприклад, в зоні сьомого шийного хребця у циліндричному сегменті S_4 – місце поєднання акселерометру-гіроскопу, датчиків температури та вологості (табл. 2).

Таблиця 2

Приклад оптимізації елементів біометричного пакету для циліндричного сегменту S_4

Номер циліндричного сегменту, S_n	Перелік обов'язкових елементів біометричного пакету	Зображення елементів біометричного пакету	
		Поелементне зображення	Запропонований поелементний склад пакету
S_4	Акселерометр	 ADXL335	 MPU-6050
	Гіроскоп	 ASD2614-R	
	Датчик температури	 DS18B20	
	Датчик вологості	 HH-4030	 HH-4030

При підході до оптимізації, без умови власного виготовлення, слід притримуватись таких критеріїв: точність вимірювання, маса, розміри, максимальне поєднання необхідних елементів. Система також має відповідати вимогам ДСТУ ETSI EN 303 203-2:2015 в частині загальних технічних вимог усіх елементів бездротового зв'язку, у частині безпеки, інтеграції, захисту персональної інформації – відповідати розробленого Task Group стандарту IEEE 802.15.6 [16,17].

Також пропонується для бездротової передачі даних отриманих з датчиків та інших пристроїв застосування антени на текстильній основі із розташуванням на руці, яка була розроблена в рамках європейського проекту “Proetex” (FP6-2004-IST-4-02698 (рис. 3) [18].

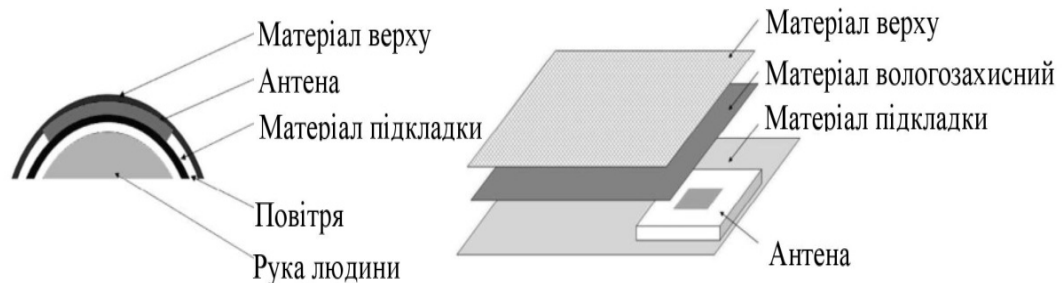


Рис.3. Зображення гнучкої антени на текстильній основі [18]:
а- модель розташування антени у рукаві; б – антена інтегрована між шарами текстильного матеріалу

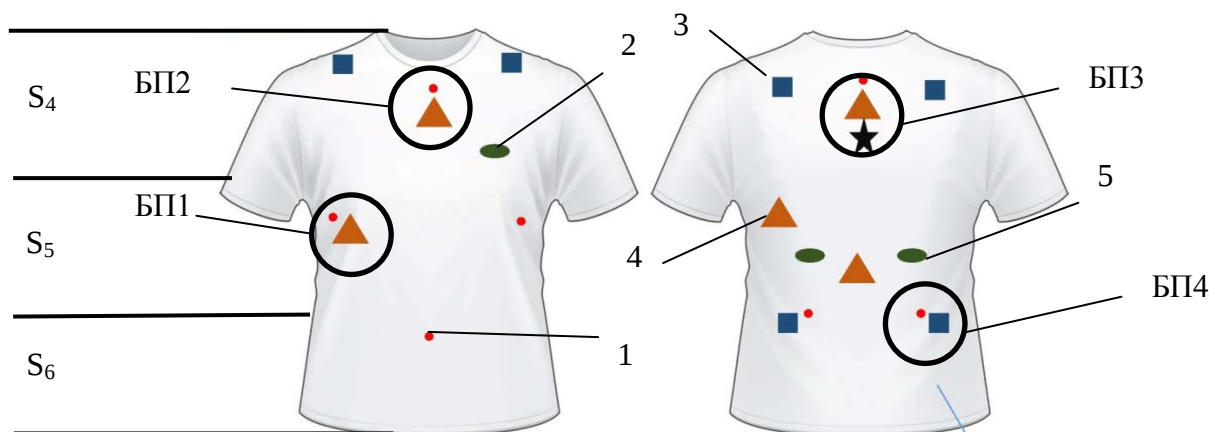


Рис.4. Принципова схема розташування елементів та пакетів біометричного комплексу: БП_н – номер біометричного пакету; 1 – датчик температури; 2- датчик серцевого ритму; 3- датчик тиску; 4 – датчик вологості; 5 – датчик EMG

На (рис.4) наведено принципову схему розташування елементів та пакетів біометричного комплексу у відповідності до циліндричної моделі, з урахуванням фізіології тіла людини та вимог до розташування елементів бездротових сенсорних мереж.

У зв’язку із зональною залежністю у циліндричній моделі рекомендовано для проміжного шару застосовувати сітчасті основов’язальні полотна філейних переплетень. Вони не жорсткі, мають стійку петельну структуру, абсолютно не розпускаються, не осипаються при розрізанні в будь-якому напрямку і мають при цьому мінімальну поверхневу щільність, не закручуються та легко моделюються [19]. Важливим показником є висота полотна – має біти в межах від 3-5 мм [7].

Висновки. Проблема забезпечення спеціальним одягом для захисту працівника в умовах, що впливають на рівень його працездатності потребує комплексного підходу, який

включає не тільки дослідження умов його застосування, а також мікроелектричних систем моніторингу. На сьогоднішній день в Україні відсутні системи мультисенсорного дистанційного моніторингу мікроклімату під одягом у реальному часі у виробничих умовах безпосередньо. Запропоновано принцип зонально-диференційованого розташування елементів бездротових сенсорних мереж, який дозволяє врахувати анатомію та біомеханіку тіла людини, вимоги до розташування елементів бездротових сенсорних мереж та визначати вплив спеціального одягу на працівника та його працездатність.

Список використаних джерел

1. Turkey - 7th European Conference on Protective Clothing (7thECPC) [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://ecpc2016.com/> (дата звернення 05.10.2016) – Назва з екрана.
2. Goldman R. F., Kampmann B. Handbook on clothing: biomedical effects of military clothing and equipment systems // Report NATO Research Study Group. – 2007. – Т. 7.
3. Ninagawa T., Konishi T., Narumi A. Measurement of Microclimate within Clothing Using the Combination Technique of Infrared Ray Absorption Method And Holographic Interferometry // Open Applied Physics Journal. – 2012. – Т. 5. – С. 54-59.
4. Ярощук О. В., Бохонько О. П., Кочмар А. А. Напрямки гармонізації екологічних вимог до швейних виробів та текстильних матеріалів до стандартів країн ЄС // Вісник Хмельницького національного університету. Серія "Технічні науки". – №2 - 2012. – С. 77.
5. Василенко В. М., Василенко М. П. Розробка методу оцінювання комфортності текстильних матеріалів на основі їх власних теплових шумів // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки". – №2 – 2016. – С. 148-153.
6. Parkova I., Vilumsone A. Microclimate of smart garment // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Series 9: Material Science. – 2011. – Т. 6. – №. 99. – С. 99.
7. Делль Р. А., Афанасьєва Р. Ф., Чубарова З.С. Гигиена одежды: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Легпромбытиздат. – 1991. – 160 с.
8. Williams J. T. (ed.). Textiles for cold weather apparel. – Elsevier, 2009.
9. Havenith, G., 2009. Laboratory assessment of cold weather clothing. IN: Williams, J. (ed.). Textiles for cold weather apparel. Woodhead Publishing in Textiles, no. 93. Abington, Cambridge : Woodhead Publishing, p.217-243.
10. Bartkowiak G. Influence of undergarment structure on the parameters of the microclimate under hermetic protective clothing // Fibres Textil East Eur. – 2010. – Т. 18. – С. 82-86.
11. Bartkowiak G., Dąbrowska A., Marszałek A Analysis of thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic tests // Textile Research Journal. – 2013. – Т. 83. – №. 2. – С. 148-159.
12. На М, Tokura H, Tanaka Y, Holmér I. Effects of two kinds of underwear on thermophysiological responses and clothing microclimate during 30 min walking and 60 min recovery in the cold // Applied Human Science. – 1996. – Т. 15. – №. 1. – С. 33-39.

13. Çetin, m. s., karabay, g., öztürk, h., & kurumer, g. examining comfort properties of leather and artificial leather cover materials. 2016.- p.151-154.
14. Pantelopoulos A., Bourbakis N. G. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). – 2010. – Т. 40. – №. 1. – С. 1-12.
15. Lotens W. A., Havenith G. Calculation of clothing insulation and vapour resistance //Ergonomics. – 1991. – Т. 34. – №. 2. – С. 233-254.
16. ДСТУ ЕТСІ EN 303 203-2:2015 «Електромагнітна сумісність і радіочастотний спектр. Радіообладнання малого радіуса дії. Мережеві системи натільних медичних сенсорних радіопристроїв діапазону частот від 2483,5 МГц до 2500 МГц. Частина 2. Загальні технічні вимоги» . - К. : Держстандарт України, 2015.
17. Kwak K. S., Ullah S., Ullah N. An overview of IEEE 802.15. 6 standard //2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010). – IEEE, 2010. – С. 1-6.
18. Hertleer C. et al. A textile antenna for off-body communication integrated into protective clothing for firefighters // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2009. – Т. 57. – №. 4. – С. 919-925.
19. Єрмоленко І. В. Новий аспект використання основов'язаних сіткополотен // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – №. 3. – С. 74-78.

ПРИНЦИП ЗОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА ПОД ОДЕЖДОЙ

Курганский А.В., Березненко С.Н., Курганская М.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Мета. Исследование факторов, влияющих на зонирование, количественный и качественный состав элементов беспроводных сенсорных сетей для мониторинга внешнего микроклимата пододежного пространства в системе «человек- специальная одежда - окружающая среда» в реальном времени для создания специальной одежды максимально приближенной к производственным условиям.

Методика. Анализ факторов, влияющих в системе внешнего пододежного пространства на зонирование, количественный и качественный состав элементов комплекса по мониторингу микроклимата пододежного пространства.

Результати. Предложен принцип расположения элементов беспроводных сенсорных сетей для мониторинга микроклимата в пододежном пространстве и приведен пример зонально-дифференцированного расположения этих элементов.

Наукова новизна. Впервые проведено комплексное исследование факторов в пододежном пространстве с целью применения беспроводных сенсорных сетей для мониторинга его параметров и оценки влияния одежды на эффективность выполнения функциональных обязанностей работником.

Практична значимість. Разработка элементов и новой конструкции, в целом, функциональной специальной одежды со встроенной беспроводной сенсорной сетью.

Ключові слова: смарт одежда, специальная одежда, комфортность, беспроводные сенсорные сети, мониторинг микроклимата.

THE PRINCIPLE OF AREA-DIFFERENTIATED ARRANGEMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MICROCLIMATE MONITORING UNDER CLOTHING SPACE

KURHANSKYI A.V., BEREZNENKO S.M., KURGANSKA M.M.

Kiev National University of Technologies and Design

Purpose. A study of factors affecting on zonation, qualitative and quantitative composition of wireless sensor network elements for microclimate monitoring under clothing space in the system «body - special clothing - environment» in real life setting.

Methodology. Analysis of factors that influence on zonation, qualitative and quantitative composition of wireless sensor network elements for microclimate monitoring under clothing space.

Findings. The concept of the arrangement of wireless sensor network for microclimate monitoring under clothing space was proposed. The example of area-differentiated arrangement was introduced.

Scientific novelty. For the first time a multicenter study of the factors under clothing space was carried out with a view to wireless sensor networks using for the monitoring parameters and impact assessment of clothing on efficiency of employee productivity.

Practical value. Components and new design development, as whole, functional clothing for special needs with integrated wireless sensor networks.

Key words: *smart clothing, special clothing, comfort, wireless sensor networks, microclimate monitoring, clothing systems.*

УДК: 677.074

ПИЛИПЕНКО Ю.М., СЛІЗКОВ А.М., ПРОДАНЧУК І.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ В ЗАСТОСУВАННЯХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета. Розробка системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів для отримання виробів різного призначення.

Методика. Використані методи ідентифікації та кусково-локальної апроксимації для реалізації математичної моделі системи прогнозування.

Результати. Запропоновано архітектуру інформаційної системи підтримки рішень при аналізі, моделюванні та прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів. Розроблено програмне забезпечення та програмний комплекс для оптимального використання загальної математичної моделі системи прогнозування.

Наукова новизна. Розробка системи прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення, базується на застосуванні основних положень теорії систем та системного аналізу і спрямовано на підвищення якості і конкурентоспроможності текстильних матеріалів.

Практична значимість. Запропонована архітектура інформаційної системи підтримки рішень дозволяє оперативно отримувати результати прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів, мінімізуючи витрати матеріальних та робочих ресурсів. Розроблено програмне забезпечення, створює можливості для широкого використання сучасних електронних обчислювальних машин в текстильному виробництві.

Ключові слова: властивості, текстильні матеріали, технологічний процес, система, прогнозування.

Вступ. Сучасний технічний прогрес текстильної промисловості пов'язаний з кількісним та якісним розвитком техніки та технології. Для успішного управління технологічними процесами та їх оптимізації з метою підвищення продуктивності обладнання та якості продукції актуальною є розробка системи прогнозування властивостей текстильних продуктів для отримання виробів різного призначення. При цьому в дослідженнях, що тестують технологічні процеси та якість отриманих матеріалів, одне з ключових питань – це питання про правильність даних, що введені для обробки інформації та відхилення, що допускаються у відповідних властивостях досліджуваних матеріалів.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єктом дослідження є множина властивостей тканин технічного призначення, технологічні процеси отримання текстильних матеріалів, а також дослідження змін властивостей текстильних продуктів на кожному етапі виробничого процесу. В статті розглядаються різні методи контролю якості технологічних процесів.

Постановка завдання. Для успішного управління технологічними процесами текстильного виробництва з виготовлення тканин технічного призначення та їх оптимізації, а також з метою підвищення продуктивності обладнання та якості продукції обов'язковим є контроль за матеріалами, з яких робиться та чи інша тканина, а також відстеження на кожному переході технологічного процесу відхилень властивостей матеріалів від номіналу. При цьому відхилення можуть трактуватися по різному і тому визначення відповідних

критеріїв якості, повинно бути у розпорядженні людини, що відстежує якість продукції. У випадку значних відхилень, необхідно зупинити процес, та з'ясувати, що є причиною збою в роботі технологічного процесу.

Результати дослідження. Виготовлення тканин технічного призначення пов'язано з багатофункціональним технологічним процесом, який складає певну систему. Тому застосування системного аналізу для прогнозування властивостей продукції та управління технологічним процесом є важливим етапом в забезпеченні її якості [1-3].

На властивості текстильних виробів найбільш впливають властивості вхідної сировини, стан технологічного устаткування та рівень її обслуговування. За рахунок цього, процеси, які формують властивості сировини при виготовленні кінцевого продукту утворюють певну систему.

В текстильних виробництвах одночасно переробляється велика кількість неоднорідних та нерівномірних за своїми властивостями текстильних матеріалів. Багато процесів, які протікають у текстильному виробництві, базуються на ймовірнісних схемах і мають закономірності, що виявляються за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики.

При формуванні бази даних, що є основою всіх наступних досліджень, повинна бути впевненість, що базу створено правильно і серед введених даних немає значень, що введені неправильно, тобто виходять за допустимі межі, і можуть зіпсувати всі наступні обчислення. В нашому повідомленні мова буде йти про числову базу даних та аналіз відповідних числових характеристик.

База даних, як відомо, може створюватись вручну, тобто оператором, що набирає відповідні числа, або автоматично, якщо є відповідне технологічне обладнання, яке має прямий вихід на комп'ютер. І в тому і в іншому способах введення інформації повинен бути контроль, за відповідними даними. Зрозуміло, що відповідні методи контролю повинні відрізнятися між собою.

Розглянемо спочатку питання, що виникають при формуванні бази даних вручну.

1. База даних створюються вперше чи є сенс продовжити записи існуючої бази даних. Зрозуміло, що база даних може досить великою і за один раз навряд чи ви її заповните, тому обов'язково повинна бути можливість доповнення попередньої бази. Може бути і так, що попередня база застаріла і замість неї ми бажаємо створити нову базу даних.

2. База даних може доповнюватись не тільки новими записами, але і новими полями.

3. Чи відомі границі в яких повинен лежати той чи інший параметр і якщо так, то зробити неможливим введення числа із недопустимого діапазону значень, зробивши оператору відповідну підказку і зробити повторне, правильне введення параметру.

4. Оператор не повинен задумуватись, що розділяє цілу чи дробову частину числа (точка чи кома). І для точки і для коми програма повинна перетворити число у потрібний формат даних.

5. Чи потрібно оператору для контролю на екран виводити інформацію про кожне число, що введено? Коли число введено неправильно і ви це бачите на екрані його тут же можна буде виправити, ввівши нове значення. Але справа у тому, що при введенні досить великого обсягу інформації відповідна перевірка буде займати в сумі досить великий час.

Якщо людина тільки починає працювати і не втомлена одноманітними діями, то числа, як правило вводяться без помилок, і відповідна перевірка може бути недоцільною. Коли ж «око замилюється», то без сумніву є сенс робити контроль про кожне число, що вводиться, і оператор, в залежності від стану своєї уваги, повинен самостійно вирішувати, чи потрібно йому скористатися цією послугою програми.

6. Закінчивши введення інформації по деякому полю, потрібно дати програмі зрозуміти:

- введення по відповідному полю закінчені і потрібно ввести інформацію про назву нового поля і границі в яких повинен лежати відповідний параметр;
- введення по всій базі закінчені і програма повинна зупинити свою роботу.

У випадку автоматичного введення інформації після закінчення вводу оператор повинен розмістити інформацію про границі, в яких повинні лежати відповідні параметри, і запустити перевірку. Данні, що не увійшли до відповідних діапазонів повинні виділитися, наприклад, іншим кольором, для відповідного коригування інформації.

Зазначимо, що на сьогоднішній день робота з базами даних на підприємствах легкої промисловості дуже поширена у прикладній програмі MS EXCEL. Саме тому програму розроблено на мові VBA для прикладної програми MS EXCEL, що дає змогу легко і наочно користуватися базами даних, коригувати їх, і якщо потрібно виводити всю потрібну інформацію, не вникаючи у техніку програмування. Вся введена інформація буде виведена на робочі листи, де у разі потреби, нею можна бути користуватися. В той же час користувачі не будуть мати доступу до текстів програм, щоб запобігти їй непередбаченому псуванню.

Розглянемо інтерфейс програми, яка використовується при ручному формуванні бази даних.

Формування бази даних вручну. При запуску програми виводиться вікно (рис. 1), що передбачає формування нової бази даних чи продовження введення даних у існуючу базу. Вам потрібно вибрати дію, в залежності і вашої потреби, тобто створити нову базу, чи доповнити існуючу. При цьому ви можете продовжити роботу або її припинити.

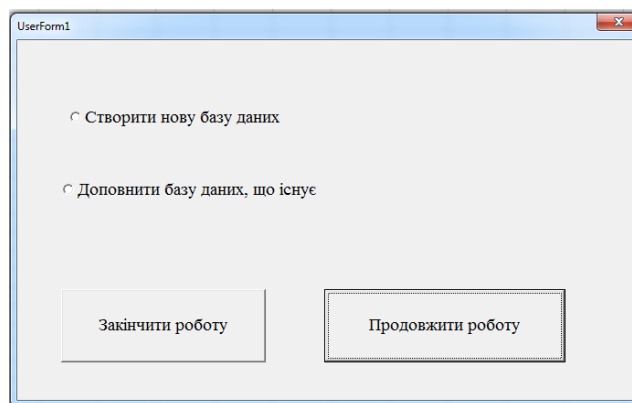


Рис.1. Вигляд вікна при запуску програми

Розглянемо, як буде спілкуватися оператор з програмою при формуванні нової бази даних, тобто вибравши «Створити нову базу даних» та натиснувши на кнопку «Продовжити роботу».

Рис.2. Вигляд вікна при створенні нової бази даних

Відзначимо, що ввівши назву нового поля (рис. 2) і відповідні границі для нього, на іншому, по відношенню до робочого листа, де формується база даних, буде виведена відповідна інформація.

Ввівши ім'я нового поля, яке для зручності у наступних вікнах ми назвемо «параметр», і натиснувши кнопку «Далі» отримаємо (рис. 3):

Рис. 3. Вигляд вікна для введення граничних значень параметру

Ввівши границі для нашого параметру отримаємо вікно для введення чергового елемента бази даних, що має наступний вигляд (рис. 4):

Рис. 4. Вигляд вікна для введення чергового елемента бази даних

Границі [a,b] були введені у попередньому вікні. Наприклад, якщо границі параметру [5,10], а ви помилково ввели 15, то з'явиться повідомлення представлене на (рис. 5) і натиснувши кнопку «ОК» ви повернетеся до попереднього вікна, де потрібно буде ввести параметр правильно.

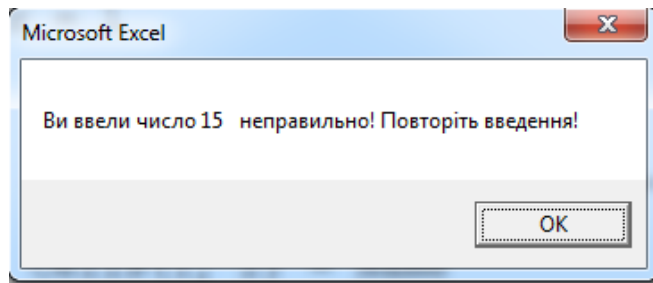


Рис. 5. Вигляд вікна при помилковому введенні даних

Якщо активізувати прапорець «Включити для самоконтролю виведення на екран числа, що вводиться», то після введення чергового числа, наприклад числа 7, що лежить у правильних межах [5,10], отримаємо вигляд вікна представлене на (рис. 6).

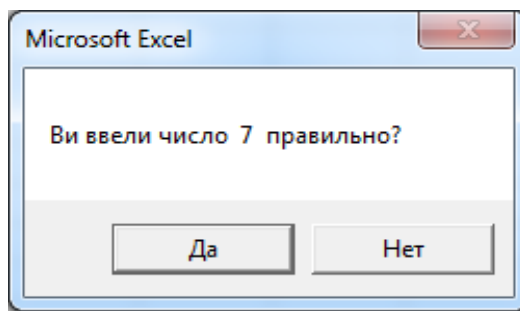


Рис. 6. Вигляд вікна при правильному введенні даних

Якщо ви випадково помилилися і потрібно було набрати інше число, натисніть «НЕТ» і перейдіть у попереднє вікно, повторивши введення інформації. Якщо «ДА», то перейдемо до введення наступного елемента бази (рис.4).

Якщо всі записи у черговому полі введено, але не всі поля введені натисніть кнопку «Закінчити введення даних по полю «параметр» і перейти до формування нового поля». Ви попадете на вікно рис. 2 і продовжите роботу з новим полем як і з попереднім.

Якщо ж база сформована, то для закінчення роботи у вікні (рис. 4) натисніть кнопку «Закінчити формування бази даних».

При доповненні бази даних (рис.1) і вибору «Доповнити базу даних, що існує» відкриється вікно (рис. 7):

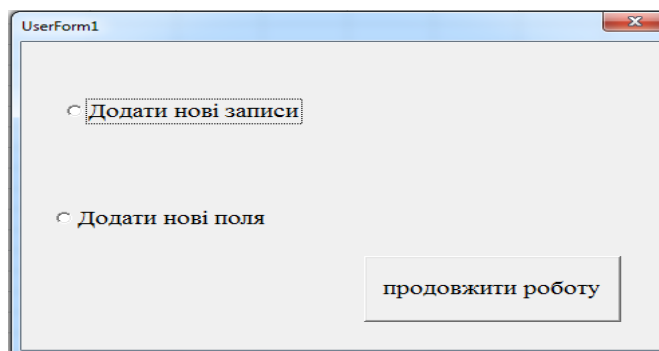


Рис.7. Вигляд вікна при доповненні бази даних

Зробивши вибір «Додати нові записи» ви автоматично попадаєте на формування нового запису у першому полі (рис. 4) і працюєте з поповненням всієї бази. Якщо потрібно, ви зможете ввести нові поля, границі для них і повністю їх заповнити, заповнивши всі попередні поля бази.

Зробивши вибір «Додати нові поля» ви автоматично попадаєте на формування нового поля (рис. 2) з наступними заповненням ім'я поля його границями та записами.

Автоматичне формування бази даних та її контроль. Після того, як база сформована у автоматичному режимі (тобто відповідна таблиця розташована на відповідному робочому листі) вам потрібно впевнитися, що всі числа, які введені в таблицю, лежать у допустимих межах. Для цього запускається програма автоматичної перевірки, яка складається із двох складових:

- введення границь для кожного з параметрів;
- аналіз кожного із чисел бази на належність попадання у відповідний діапазон.

Вікно введення границь параметрів таке саме як і віно (рис. 4), а інформація, що буде нами введена, буде розташована на окремому робочому листі, як і у випадку формування бази даних вручну. Відмінність буде полягати тільки у тому, що після введення границь чергового параметру ми перейдемо до границь наступного параметру, а не до формування записів чергового поля. По закінченню формування границь програма автоматично перевірить всі введені дані і ті, що не попадуть у відповідний інтервал границь, будуть «залиті» червоним (у статті вони здаватимуться залиті сірим) кольором відповідно до (рис. 8). Зазначимо, що взяті числа умовні і призначені тільки для демонстрації результату роботи програми.

нижня границя	0,07	80	16	0,7	260
верхня границя	0,14	120	27	1,2	400
	поверхнева густина жмуктів	нерівнота за поверхневою густиною	лінійна густина	ступінь розпрямленості	розривальне навантаження
	0,1	100	22	0,9	350
	0,094104005	133,2922198	21,49201128	1,218555219	359,0753356
	0,055444836	81,13222622	31,15986644	0,741112463	377,3501764
	0,116778633	109,0211724	15,68617223	1,176242081	210,8706058
	0,087368983	65,67175684	23,47974872	0,937571902	274,6888815
	0,116359028	84,56714771	29,90699242	1,100794581	414,5032065
	0,081786238	126,58456	18,93947021	0,488626318	437,8323067
	0,055940723	66,68678772	32,90343501	1,07387844	388,0714744
	0,064575093	110,2518222	26,90131986	1,051071767	192,7337145
	0,116045609	143,0665577	12,736555	0,775148093	404,1708003
	0,112767714	94,32362534	22,67359962	0,98296635	351,8046688
	0,145242819	133,7626371	17,87711406	1,324824854	213,3169924
	0,142787166	129,1750522	27,68995127	0,722414519	358,2824085
	0,071457977	56,94599571	22,1471177	1,176000063	221,3560012
	0,133962916	114,4200411	20,37731743	1,231195503	268,2566376

Рис.8. Вигляд вікна при після автоматичного введення даних

Висновки. Запропоновано архітектуру інформаційної системи підтримки рішень при аналізі, моделюванні та прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів прядильного та ткацького виробництва і розроблено відповідний алгоритм прийняття рішень. Це дозволяє оперативно отримувати результати прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів, мінімізуючи витрати матеріальних та робочих ресурсів.

Розроблено програмне забезпечення та програмний комплекс для оптимального використання загальної математичної моделі системи, що створює можливості для широкого використання сучасних електронних обчислювальних машин.

Список використаної літератури

1. Слізков А. М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина I. (Прядильне та крутильне виробництво): підручник / А. М. Слізков, Т. О. Якубовська, І. А. Прохорова. – К.: КНУТД, 2014. – 432 с.
2. Слізков А. М. Стан, проблеми та тенденції розвитку вовняної промисловості: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / Попов В.П., Слізков А.М.. – К.: КНУТД, 203. – 351 с. Укр. мовою.
3. Гарнаев А. Ю. Microsoft Excel 2010: Разработка приложений.- Спб., БХВ-Санкт-Петербург 2011. – 576с.

ОСОБЕННОСТИ В ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧНЫМ ПРОЦЕССОМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ПИЛИПЕНКО Ю.Н., СЛИЗКОВ А.Н., ПРОДАНЧУК И.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка системы прогнозирования свойств текстильных материалов для получения изделий различного назначения.

Методика. Используемые методы идентификации и кусочно-локальной аппроксимации для реализации математической модели системы прогнозирования.

Результаты. Предложена архитектура информационной системы поддержки решений при анализе, моделировании и прогнозировании свойств текстильных материалов разработано программное обеспечение и программный комплекс для оптимального использования общей математической модели системы прогнозирования.

Научная новизна. Разработка системы прогнозирования физико-механических свойств текстильных материалов бытового назначения, базируется на применении основных положений теории систем и системного анализа и направлено на повышение качества и конкурентоспособности текстильных материалов

Практическая значимость. Предложенная архитектура информационной системы поддержки решений позволяет оперативно получать результаты прогнозирования физико-механических свойств текстильных материалов, минимизируя затраты материальных и рабочих ресурсов. Разработано программное обеспечение создает возможности для широкого использования современных электронных вычислительных машин в текстильном производстве.

Ключевые слова: свойства; текстильные материалы; технологический процесс; система; прогнозирования.

FEATURES IN APPLICATION METHODS TECHNOLOGICAL CONTROL OF PROCESSES FOR FORECASTING PROPERTIES OF DIFFERENT PURPOSE TEXTILE MATERIALS

PYLYPENKO J.N., SLIZKOV A.N., PRODANCHUCK I.V.

Kyiv National University of Technologies & Design

Purpose. Development of forecasting system properties of textile materials for the purpose of obtaining different of products.

Method. Authentication methods and piecewise approximation for local area implementation model prediction system.

Results. Proposed architecture proposals support system solutions in the analysis, modeling and prediction of properties of textile materials and is designed software provision other software complex for optimal using global mathematical model prediction system.

Nauchnaya novelty. Development of forecasting system of physical and mechanical properties of textile materials for using each day is based application on major provisions of systems theory and system analysis and sent to increase quality and competitiveness of textile materials.

Practical significance. Proposed information system of architecture support solutions allows us to quickly receive prediction results of physical and mechanical properties of textile materials. Provision program of is designed for a wide create opportunities using new of existing machines in textile production.

Keywords: properties; materials; technologies process; system; prediction.

УДК 677.472.4

БУДАШ Ю.О., КУЧЕРЕНКО Є.В., МАТРОФАЙЛО М. М.,
ПЛАВАН В.П.

Київський національний університет технологій та дизайну

ОТРИМАННЯ ЕКОБЕЗПЕЧНИХ МІКРОФІБРИЛЯРНИХ НАПОВНЮВАЧІВ З НЕДЕРЕВНОЇ СИРОВИНИ

Мета. Дослідження особливостей процесу виділення та структури мікрофібрилярних наповнювачів з недеревної целюлозовмісної вітчизняної сировини, призначених для створення біокомпозитних полімерних матеріалів.

Методика. Отримання целюлозних наповнювачів здійснювали методом екстракції вихідної сировини в лужних розчинах. Дослідження структури наповнювачів проводили методом поляризаційної мікроскопії з наступним аналізом зображень та статистичною обробкою даних.

Результати. Одержано мікрофібрилярний целюлозний наповнювач і вивчені його структурні особливості в залежності від умов процесу екстракції. Встановлена оптимальна (8-10%) концентрація лугу в робочому розчині, що забезпечує одержання целюлозних волокон з середніми поперечними розмірами близько 12 мкм.

Наукова новизна. Визначена залежність виходу целюлози та характер зміни розподілу волокон за поперечними розмірами в залежності від умов процесу лужної варки целюлозовмісної рослини – очерету звичайного.

Практична значимість. Використання очерету звичайного, як доступної вітчизняної сировини для отримання мікрофібрилярних целюлозних наповнювачів, призначених для створення біокомпозитних полімерних матеріалів, сприятиме покращенню екологічного стану водних екосистем.

Ключові слова: біокомпозит, целюлоза, мікрофібрилярний наповнювач, очерет, структура волокон.

Вступ. Динамічним напрямком в області полімерної індустрії є створення так званих біокомпозитних матеріалів [1-3]. В якості функціональних наповнювачів таких матеріалів, як правило використовують різні речовини природного походження: полісахариди (крохмаль, целюлозу, хітин, хітозан), білки (колаген, казеїн), мінеральні матеріали. Використання відновлювальних природних ресурсів є одним із стратегічних напрямів розвитку сучасних технологій, що пов'язано з екологічними проблемами сьогодення, а також з необхідністю створення матеріалів, безпечних для навколишнього середовища [1-3].

Найбільш розповсюдженим екобезпечним наповнювачем синтетичних полімерів є целюлоза, яка традиційно отримується з деревини різних порід. В той же час, інтенсивно досліджуються й інші, «недеревні» джерела отримання волокнистих целюлозних напівфабрикатів, серед яких можна відзначити льон, коноплю, джут, рамі, соломку злакових культур та ін. [4].

Одним із популярних напрямків цих досліджень є використання бамбука (лат. *Bambusa*) як швидко відновлювального ресурсу фібрилярної целюлози з високими фізико-механічними характеристиками [5-7].

Очерет звичайний (ОЗ) (лат. *Phragmites communis*), як і бамбук, належить до сімейства злакових (лат. *Gramineae*). Ця рослина широко розповсюджена на всій території України, утворюючи великі масиви заростей в дельтах і заплавах річок, озер, болот. Біологічною особливістю очерету є багаторічна коренева система, від якої щорічно відростають однорічні

стебла висотою до 5-6 м [8]. Пагони, що восени відмирають, щорічно накопичуються в водних екосистемах, що з часом призводить до погіршення екологічної ситуації водойм.

Заготівля очерету взимку може бути важливою складовою раціонального використання ресурсів екосистем і важливим регулятивним механізмом. Показано [9], що скошування очерету дозволяє збільшити продуктивність плавневих угідь, де вилучається мертва органіка, до п'яти разів, в порівнянні зі звичайними ділянками. При цьому в екосистемі водойм відбувається збільшення вмісту кисню, зменшення вмісту вуглекислого газу, забруднюючих речовин у воді і повітрі, та багато інших процесів, які мають не тільки регіональне, але і біосферне значення [9].

Очерет є цілком придатною сировиною для виробництва целюлози. Шляхом хімічної та фізико-хімічної переробки з очерету можна одержувати високоякісні сорти паперу, текстильну віскозу, кормові білкові дріжджі, фурфурол, спирт, глюкозу та інші продукти гідролізу [10].

Вказане вище зумовлює доцільність проведення досліджень в області використання ОЗ як вихідної сировини для отримання екобезпечних мікрофібрилярних целюлозних наповнювачів різного призначення, зокрема для одержання полімерних біокомпозитних матеріалів.

Постановка завдання. Дослідження особливостей процесу виділення та структури мікрофібрилярних наповнювачів з недеревної целюлозовмісної вітчизняної сировини, призначених для створення біокомпозитних полімерних матеріалів.

Методологія досліджень. Основним об'єктом досліджень в даній роботі обрано целюлозовмістну рослину – очерет звичайний. Використовували середню частину сухого стебла, зібраного в зимовий період (узбережжя озера Алмазне, м. Київ) після закінчення періоду вегетації.

Відомо декілька хімічних методів виділення целюлози з рослинної сировини, які засновані на її обробці різними реагентами. Під дією цих реагентів відбувається руйнування зв'язків між целюлозою і лігніном в результаті чого, останній переходить в розчин. В роботі був використаний натронний спосіб виділення целюлози, який є найбільш простим в технологічному і хімічному плані. Він полягає у варці вихідної сировини в розчині гідроксиду натрію.

Дослідження морфології зразків виконували методом оптичної поляризаційної мікроскопії (мікроскоп «Біолам С-11»). Результати мікроскопічних досліджень фіксували методом фотографування досліджуваних об'єктів. Для визначення розмірних характеристик волокон використовували метод аналізу цифрових зображень з наступною статистичною обробкою отриманих даних.

Результати дослідження. Результати досліджень впливу концентрації луку в робочому розчині на вихід целюлози з початкового матеріалу (рис. 1) показують, що збільшення концентрації луку в робочому розчині з 2 до 8 %, приводить практично до лінійного зниження виходу целюлози з 63,3 до 50 %.

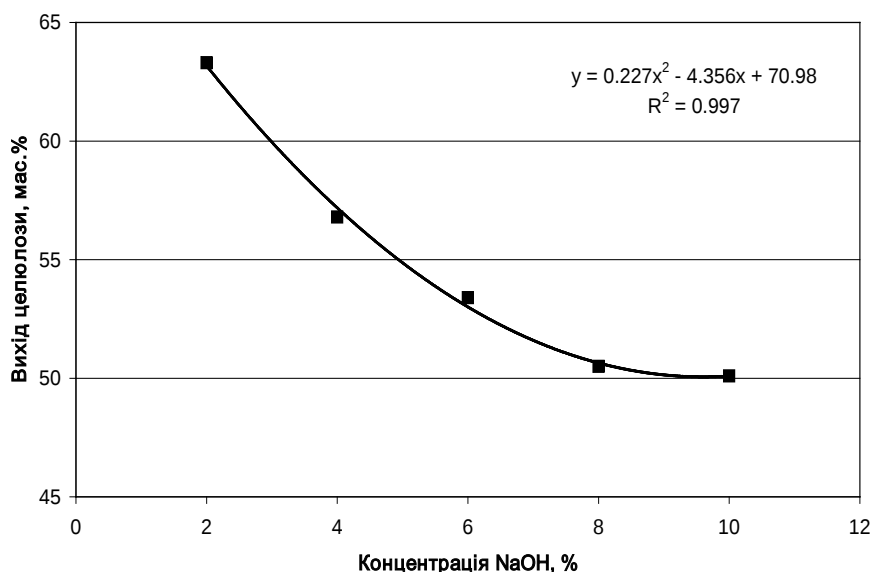


Рис.1. Залежність виходу целюлози після лужної обробки (100°C, 3 год.) вихідної сировини від концентрації розчину NaOH

При подальшому збільшенні концентрації лугу з 8 до 10 %, вихід целюлози залишається приблизно на одному рівні. Таким чином, оптимальна концентрація розчину гідроксиду натрію для забезпечення повного видалення лігніну з досліджуваної сировини при даних умовах варки лежить в інтервалі від 8 до 10 %.

На рис. 2 наведені мікрофотографії в поляризованому світлі поздовжнього перерізу стебла ОЗ після часткової делігніфікації у розчині NaOH. Ці дослідження дозволяють вивчити особливості структурних змін вихідної сировини на початковій стадії процесу делігніфікації. Зокрема з рис. 2 видно, що поряд з високоорієнтованими фібрилярними структурами, які переважають в периферійній частині стебла (рис. 2а), в центральній частині спостерігаються також певні утворення, що представляють собою низку концентричних целюлозних кілець, ймовірно зчеплених між собою прошарками лігніну (рис. 2б,в).

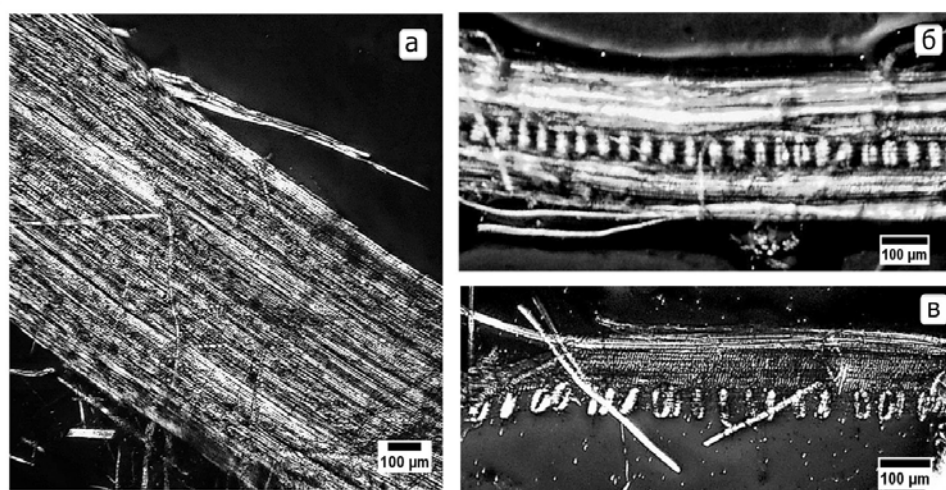


Рис.2. Мікрофотографії в поляризованому світлі поздовжнього перерізу краю (а) та середньої частини (б, в) стебла вихідної сировини після часткової делігніфікації у розчині NaOH (100°C). Час обробки - 60 хв (а, б), 90 хв (в)

Ці утворення можуть бути віднесені до судин, які забезпечують подачу живильних речовин всередину рослини. Кільцева будова таких каналів спостерігалась і в інших видах рослинної сировини [11]. В процесі делігніфікації відбувається видалення лігніну з міжкільцевого простору судин і їх руйнування на окремі кільцеві утворення з середнім розміром близько 50 мкм.

В роботі було вивчено вплив концентрації лугу в робочому розчині на структуру та розмірні характеристики целюлозних волокон отриманих при гарячій лужній обробці вихідної сировини. Мікрофотографії в поляризованому світлі целюлозних волокон представлено на (рис. 3).

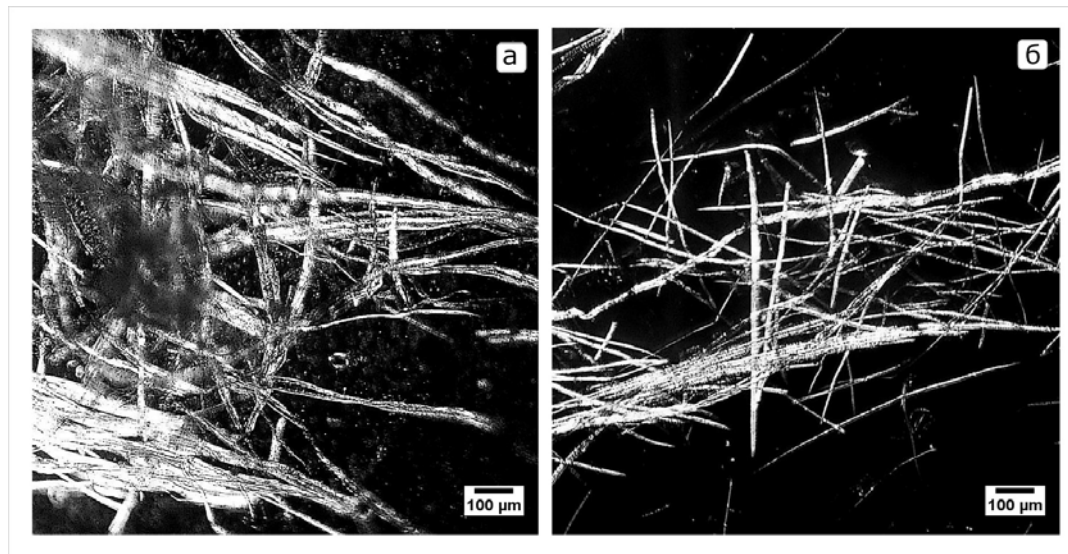


Рис.3. Мікрофотографії в поляризованому світлі целюлозних волокон, отриманих при обробці вихідної сировини розчином NaOH (100°C, 3 год.). Концентрація лугу: а) 2 %; б) 10 %

З рисунку видно, що збільшення концентрації лугу в робочому розчині призводить до якісної зміни структури екстрагованих волокон: відбувається зменшення їх поперечних розмірів і підвищення рівномірності розподілу.

Методом аналізу зображень було кількісно визначено зміну розподілу волокон за поперечними розмірами після обробки розчином лугу різних концентрацій. Результати досліджень представлені в табл. та на (рис. 4).

Таблиця.

Середні статистичні показники поперечних розмірів волокон целюлози, отриманих при лужній обробці розчинами NaOH (100°C, 3 год.) різної концентрації

	Число спост.	Середнє	Похибка середнього	Мода	Медіана	Мінім.	Максим.	Асиметрія розподілу
Поперечний розмір, мкм (NaOH 2%)	262	25,5	0,77	14,6	22,7	7,9	84,7	1,31
Поперечний розмір, мкм (NaOH 10%)	371	12,0	0,28	9,0	10,9	2,1	30,4	0,81

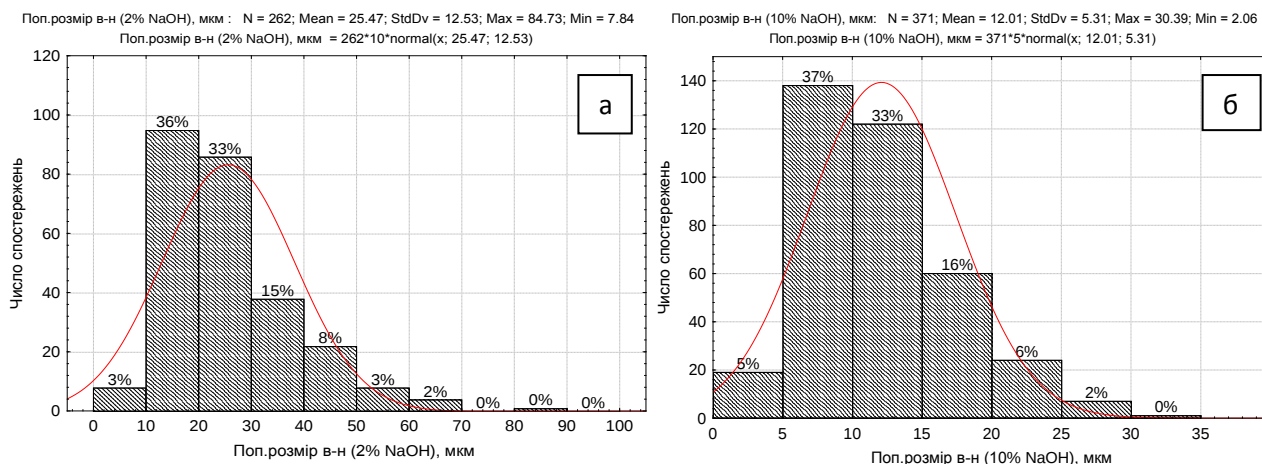


Рис.4. Гістограми розподілу за поперечними розмірами целюлозних волокон, виділених з вихідної сировини при лужній обробці (100°C, 3 год.): 2% NaOH (а), 10% NaOH (б)

З рис. 4 видно, що при концентрації лугу 2% (рис. 4 а) найбільша частка волокон (36 %) має діаметр від 10 до 20 мкм. Частка волокон, які мають розміри менші 10 мкм незначна (3%). Частка волокон з поперечними розмірами більше 30 мкм суттєва (~28 %), що може свідчити про неповноту процесу делігніфікації вихідної сировини.

Для волокон, отриманих обробкою 10%-ним розчином лугу (рис. 4б) діаграма розподілу волокон за поперечними розмірами кількісно відрізняється від попереднього зразку, при збереженні пропорційності фракційного складу, але в області менших значень.

Так, найбільша частка волокон (37 %) має діаметр від 5 до 10 мкм. частка волокон, які мають розміри менші ніж 5 мкм дещо збільшується (5 %) у порівнянні з попереднім випадком, у той час як частка волокон з поперечними розмірами, більшими за середні (> 15 мкм) зменшується.

Зі збільшенням концентрації лугу в робочому розчині асиметричність розподілу зменшується (з 1.31 до 0.81), що може вказувати на досягнення повноти процесу делігніфікації вихідної сировини і розділення целюлозних волокон.

Подальші дослідження у цьому напрямку можуть бути спрямовані на пошук інших методів та умов процесу екстракції вихідної сировини.

Висновки. Визначена залежність виходу целюлози від концентрації NaOH при лужній варці целюлозовмісної рослини – очерету звичайного. Встановлено характер зміни розподілу волокон целюлози за поперечними розмірами в залежності від концентрації NaOH у робочому розчині. Показано, що за концентрації лугу в робочому розчині 8-10 % забезпечується повнота делігніфікації сировини, що дозволяє отримати целюлозні волокна з середніми поперечними розмірами близько 12 мкм.

Використання очерету звичайного, як доступної вітчизняної сировини для отримання мікрофібрилярних целюлозних наповнювачів, призначених для створення біокомпозитних полімерних матеріалів, сприятиме покращенню екологічного стану водних екосистем.

Список використаної літератури

1. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. Под ред. Ю. Лонг; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. - Санкт-Петербург: Науч. основы и технологии, 2013. — 462 с.
2. Varshney V. K. Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites. V. Varshney, S. Naithani. Cellulose Fibers: Bio- and Nano - Polymer Composites. 2011. P. 43–61.
3. Thakur V. K., Thakur M. K. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. Carbohydrate Polymers. – 2014. – T. 109. – P. 102–117.
4. Deepak V. Green approaches to biocomposite materials science and engineering. V. Deepak, J. Siddharth, Z. Xiaolei, P. C. Gope. - IGI Global, 2016. - 322 p. [Електронний ресурс]: – <http://www.igi-global.com/book/green-approaches-biocomposite-materials-science/146875>
5. Kartal S.N. Wood and bamboo-PP composites: Fungal and termite resistance, Water absorption, and FT-IR analyses. S.N. Kartal [et al.] BioResources, 2013. – T. 8, № 1. – P. 1222–1244.
6. Li Y. Bamboo and high density polyethylene composite with heat-treated bamboo fiber: thermal decomposition properties. Y. Li, L. Du, C. Kai [et al.]. BioResources. 2013. -Vol. 8, No. Bao 2009. -P. 900–912.
7. Phong N. T. Study on how to effectively extract bamboo fibers from raw bamboo and wastewater treatment / N. T. Phong, T. Fujii, B. Chuong, K. Okubo. Journal of Materials Science Research. - 2012. - Vol. 1, No. 1. -P. 144–155.
8. Прокудин Ю. Н. Злаки Украины. О. А. Прокудин, Ю. Н. Вовк, А.Г. Петрова. Наукова думка, 1977. -518 с.
9. Сингенетичні і екзогенні зміни рослинності Дунайського біосферного заповідника. Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.05. О.І. Жмуд; НАН України. Нац. ботан. сад ім. М.М.Гришка. - К., 2001. - 21 с. - укр.
10. Очерет звичайний. Вікіпедія [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Очерет_звичайний – Назва з екрана.
11. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. Москва-Ленинград, АН СССР, Институт высокомолекулярных соединений, 1962. – 711 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОБЕЗОПАСНЫХ МИКРОФИБРИЛЛЯРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ НЕДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

БУДАШ Ю.А., КУЧЕРЕНКО Е.В., МАТРОФАЙЛО М. М., ПЛАВАН В.П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование особенностей процесса выделения и структуры микрофибриллярного наполнителя из недревесного целлюлозосодержащего отечественного сырья, предназначенного для создания биокompозитных полимерных материалов.

Методика. Получение целлюлозного наполнителя осуществляли методом экстракции исходного сырья в щелочных растворах. Исследование структуры наполнителей проводили методом поляризационной микроскопии с последующим анализом изображений и статистической обработкой данных.

Результаты. Получен микрофибриллярный целлюлозный наполнитель и изучены его структурные особенности в зависимости от условий процесса экстракции. Установлена оптимальная (8-10 %) концентрация щелочи в рабочем растворе, которая обеспечивает получение целлюлозных волокон со средними поперечными размерами около 12 мкм.

Научная новизна. Определена зависимость выхода целлюлозы и характер изменения распределения волокон по поперечным размерам в зависимости от условий процесса щелочной варки целлюлозосодержащего растения – камыша обыкновенного.

Практическая значимость. Использование камыша обыкновенного, как доступного отечественного сырья для получения микрофибриллярных целлюлозных наполнителей, предназначенных для создания биокomпозитных полимерных материалов, может способствовать улучшению экологического состояния водных экосистем.

Ключевые слова: биокomпозит, целлюлоза, микрофибриллярный наполнитель, камыш, структура волокон.

OBTAINING OF ECOSAFE MICROFIBER FILLERS FROM NONWOOD CELLULOSE RAW MATERIALS

BUDASH Y. O., KUCHERENKO E.V., MATROFAYLO M.M., PLAVAN V.P.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Study of the process of defining of the structure of the microfiber fillers from nonwood cellulose containing domestic predecessors designed for formation of composite biopolymers.

Method. Obtaining of cellulose fillers by extraction of the preexisting substances and alkaline. Structure of fillers was studied with polarized microscopy. Images were studied and statistical analysis.

Results. Studied structure of obtained microfiber cellulose filler depending from conditions of extraction. Defined optimal (8-10 %) alkaline concentration, to obtain 12 mkmm transversal cellulose fibers.

Scientific novation. Defined relation cellulose yield and transversal fiber distribution from conditions of alkalization of cellulose containing plants such as cane.

Practical value. Cane as the predecessor of the microfiber fillers for biocomposite polymers will improve ecological conditions of water ecosystems.

Keywords: biocomposite, cellulose, microfiber filler, cane, fiber structure.

УДК 620.168

ЧЕРНИШ О.В., ХОМЕНКО В.Г., БАРСУКОВ В.З., БОРЩ А.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДИФІКАЦІЙ ПОЛІВІНІЛІДЕНФТОРИДУ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

Мета. Дослідити вплив різних технологічних модифікацій полівініліденфториду, який використовується у складі активного матеріалу електродів в якості зв'язуючої добавки, на фізико-механічні властивості електродів і перш за все - на адгезію до мідного та алюмінієвого колектора струму.

Методика. Адгезію оцінювали за методом рівномірного відриву електродної композиції від металевого струмовідводу. За допомогою цього методу вимірюється величина зусилля, необхідного для відокремлення полімерного композитного матеріалу від субстрату, прикладеного по всій площі контакту. Зусилля прикладається перпендикулярно площині з'єднувального шва, а величина адгезії характеризується силою, прикладеною до одиниці площі контакту.

Результати. У роботі експериментально показано, що різні технологічні модифікації ПВДФ виробництва міжнародної компанії SOLVAY (Бельгія) значно змінюють фізико-механічні властивості електродів ХДС. Зокрема встановлено, що використання технологічної модифікації полімеру Solef PVDF-5130 дозволяє збільшити адгезію активного матеріалу до колектора струму для позитивного електроду майже в 10 разів, для негативного електрода в 1,5 рази в порівнянні з звичайним немодифікованим ПВДФ. Також слід зазначити, що використання Solef PVDF-5130 дозволяє зменшити вміст полімеру в електроді; що в свою чергу дозволяє збільшити електричну ємність електродів.

Наукова новизна. Встановлений вплив технологічних модифікацій ПВДФ на фізико-механічні властивості активного матеріалу електродів.

Практична значимість. Отримані результати можна застосовувати при розробці та виготовленні електродів хімічних джерел струму.

Ключові слова: літій-іонні акумулятори, суперконденсатори, електроди, полімерні зв'язуючі, адгезія.

Вступ. Сучасний розвиток техніки неможливо уявити без використання таких хімічних джерел струму (ХДС) як літій-йонні акумулятори (ЛІА) та суперконденсатори (СК). Одним із основних елементів ЛІА та СК є їх електроди, які складаються з активних матеріалів, електропровідних добавок, полімерних зв'язуючих та металевих струмовідводів [1]. Електродний композитний матеріал є складною дисперсною системою, в якій тверді часточки активного матеріалу і електропровідної добавки з'єднані полімерним матеріалом. Тому полімерне зв'язуюче повинно відповідати певним вимогам: бути хімічно стійким до електроліту, мати високу адгезію до металевих струмовідводів, мати механічну стабільність в широкому інтервалі робочих температур та ін.. Якість електродів ХДС істотно залежить від вибору полімерного матеріалу, питомої площі його поверхні, співвідношення інгредієнтів і істотно впливає на структуру та властивості одержаних електродів під час експлуатації. Тому дослідження впливу полімеру на фізико-механічні властивості електродних композитів є важливим з наукової і прикладної точки зору.

Постановка завдання. При виготовленні електродів ЛІА та СК, в якості зв'язуючого широко використовують полівініліденфторид (ПВДФ), який демонструє високу хімічну

інертність до органічних електролітів ХДС, сумісність з графіт-вуглецевими добавками та активними матеріалами електродів та полімерними матеріалами сепараторів, забезпечує достатньо стабільну когезію більшості активних матеріалів між собою та їх адгезію до металевих струмовідводів. Разом з цим, фізико-механічні властивості ПВДФ залежать не тільки від його природи, але і від молекулярної маси, форми ланцюга, кількості функціональних груп в ланцюзі, технології його переробки і можуть бути суттєво покращені в результаті цілеспрямованих досліджень. В роботі були виготовлені електродні композити на основі поширених активних матеріалів ХДС та різних технологічних модифікацій ПВДФ виробництва міжнародної компанії Solvay (Бельгія), та досліджені їхні фізико-механічні властивості в якості електродів сучасних ХДС.

Результати дослідження. На першому етапі роботи були досліджені реологічні характеристики розчинів ПВДФ-6020 та ПВДФ-5130 в N-метилпіролідоні (НМП), який використовують як розчинник у виробництві електродів ЛІА. Традиційно компанія Solvay виготовляє різні типи ПВДФ з широким спектром властивостей. З метою дослідження впливу різних технологічних модифікацій ПВДФ, в роботі досліджені два зразки нових полімерів, синтезованих цією фірмою, зокрема гомополімер Solef PVDF-6020 та модифікований ПВДФ- Solef PVDF-5130.

У роботі досліджували розчини НМП з різним вмістом ПВДФ. Дослідження проводилися за допомогою скляного віскозиметра ВПЖ-4 при температурі 30 °С, яка підтримувалась за допомогою термостату. Калібрування віскозиметра було виконано на основі залежності в'язкості водних розчинів гліцерину від часу їх витікання з віскозиметра [2]. Вимірявши час витікання досліджуваних розчинів полімерів різної концентрації, визначали кінетичну в'язкість розчинів. За відповідними формулами розраховували питомі (1), а потім і приведені (2) в'язкості.

$$(\eta_{\text{пит}} = (\eta_{\text{р-ну}} - \eta_{\text{р-ка}}) / \eta_{\text{р-ка}}) \quad (1),$$

де $\eta_{\text{р-ну}}$ – в'язкість розчину;

$\eta_{\text{р-ка}}$ – в'язкість розчинника.

$$(\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{пит}} / c) \quad (2),$$

де $\eta_{\text{пит}}$ – питома в'язкість;

c – концентрація розчину.

Побудувавши графіки залежності приведеної в'язкості від концентрації (рис.1), визначили характеристичну в'язкість розчинів досліджених полімерів. Для цього екстраполювали експериментальні криві до перетину їх з віссю ординат і визначали числові значення характеристичної в'язкості розчинів ПВДФ.

Відповідно до Рис. 1 характеристична в'язкість модифікованого ПВДФ Solef PVDF-5130 $[\eta]_1 = 3,178$ Па·с, а гомополімеру Solef PVDF-6020 $[\eta]_2 = 2,770$ Па·с. За характеристичною в'язкістю розчину полімеру можна визначити таку важливу його характеристику як молекулярну масу.

Відомо, що молекулярна маса полімеру суттєво впливає на адгезію до субстрату. При низькій молекулярній масі полімер не має належної міцності, а при високій молекулярній масі суттєво зменшується гнучкість макромолекулярних ланцюгів, що погіршує адгезійну

взаємодію з субстратом. Визначити молекулярну масу можливо, користуючись формулою Марка-Хаувинка [3]:

$$[\eta] = K \cdot M^{\alpha} \quad (3),$$

де K – коефіцієнт для розчину гомологічного ряду полімеру для даного розчинника, величина якого залежить від природи полімеру, розчинника та температури;

α – величина, яка характеризує форму макромолекул у розчині і залежить від гнучкості ланцюга молекули;

M – молекулярна маса полімеру.

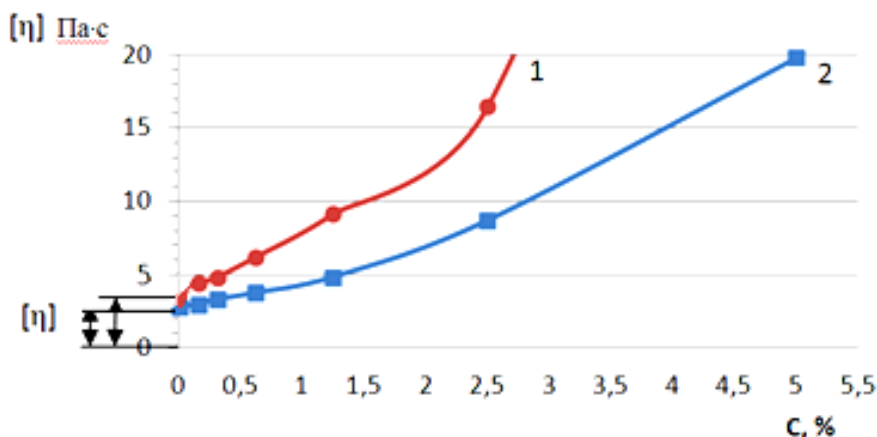


Рис. 1. Залежність приведеної в'язкості розчинів НМП від концентрації ПВДФ:
1 - Solef PVDF-5130, 2- Solef PVDF-6020

Відповідно до формули Марка-Хаувинка (3), молекулярну масу зразків ПВДФ визначали за рівнянням (4):

$$M = \sqrt[\alpha]{\frac{[\eta]}{K}} \quad (4)$$

Для розчину ПВДФ в НМП коефіцієнти рівняння (4) мають наступні значення: $\alpha=0,7$ та $K= 4,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{кг}$. Розрахована молекулярна маса для Solef PVDF-5130 становить 314950 а.о.м., а для Solef PVDF-6020 ~ 259260 а.о.м.

Слід зазначити, що характер залежності питомої в'язкості від концентрації (рис. 1) суттєво відрізняється для різних типів ПВДФ. Так для ПВДФ типу Solef PVDF-6020 вона близька до прямої, що типово для гомополімерів. Зовсім інший характер такої залежності з різкою зміною приведеної в'язкості від концентрації має ПВДФ типу Solef PVDF-5130. Значно нелінійний характер зміни залежності (крива 1, рис. 1) підтверджує наявність у Solef PVDF-5130 додаткових функціональних груп.

У роботі були досліджені надмолекулярні структури тонких плівок полімерів методом поляризаційної мікроскопії [4]. Мікрофотографії тонких плівок ПВДФ, отриманих на склі, наведені на (рис. 2).

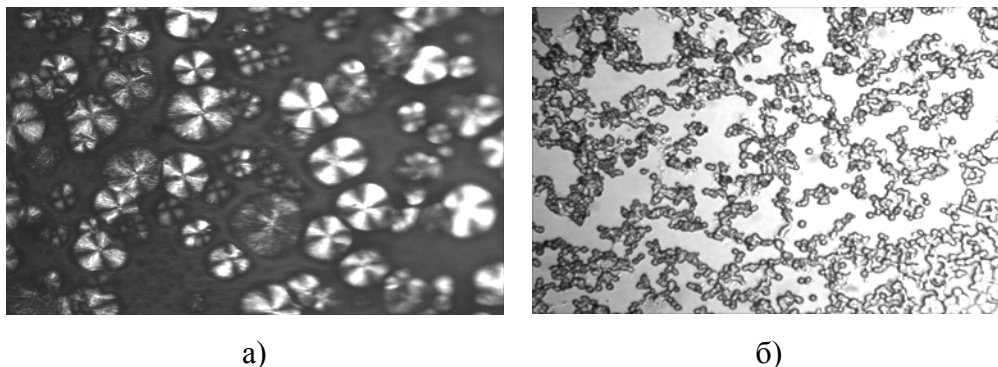


Рис. 2. Надмолекулярна структура плівок ПВДФ: (а) Solef PVDF-6020, збільшення (x20), (б) Solef PVDF-5130, збільшення (x100)

Завдяки гнучкості лінійних ланцюгів макромолекул, гомополімер Solef PVDF-6020 здатний кристалізуватися з утворенням сферолітичних надмолекулярних структур (рис. 2а). В той же час, функціональні групи сополімера Solef PVDF-5130 перешкоджають кристалізації і обумовлюють формування глобулярних структур (рис. 2б). Очевидно, функціональні групи в ланцюзі макромолекули Solef PVDF-5130 є причиною високої в'язкості розчину цього полімеру. Більш висока в'язкість розчинів ПВДФ Solef PVDF-5130 дозволяє зменшити кількість розчинника при виготовленні електродів ХДС.

Слід зауважити, що механічні властивості електродів в значній мірі залежать від умов їх виготовлення, а також від співвідношення компонентів. У роботі досліджені фізико-механічні властивості різних електродів ХДС на основі використання Solef PVDF-5130 та Solef PVDF-6020 в якості зв'язуючого. Особлива увага приділялась адгезії електродної композиції до струмовідводу, тому що вона в першу чергу впливає на роботу ХДС. Для оцінки адгезійних властивостей досліджених зразків ПВДФ були виготовлені зразки електродів. Адгезію оцінювали за методом рівномірного відриву електродної композиції від металевого струмовідводу. За допомогою цього методу вимірюється величина зусилля, прикладеного по всій площі контакту, необхідного для відокремлення полімерного композитного матеріалу від субстрату. Зусилля прикладається перпендикулярно площині з'єднувального шва, а величина адгезії характеризується силою, прикладеною до одиниці площі контакту (H/m^2) (рис.3).

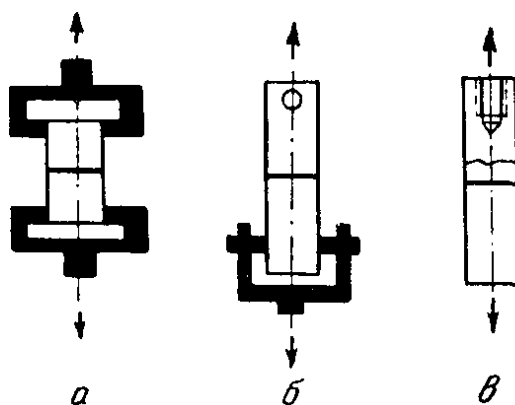


Рис. 3. Схеми вимірювань адгезії композитного матеріалу до субстрату: а) -циліндричні зразки, б) - циліндричні або призматичні зразки з осовим кріпленням; в-циліндричний зразок з різьбовим кріпленням

У роботі досліджений вплив типу активного матеріалу на адгезію електродної композиції. Для виготовлення електродів ЛПА в якості активного матеріалу були використані різні активні матеріали ЛПА, такі як літований фосфат заліза LiFePO_4 (в тому числі виробництва компанії Umicore), титанат літію ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) та графіт. В якості електропровідних добавок використовували сажу марки C65 від фірми TIMCAL, а також терморозширений графіт ABG-1005 і графітізовану сажу Pure Black від Superior Graphite Co. (США). Для електродів електрохімічних конденсаторів застосовували також активоване вугілля YP-50F фірми Kuraray Chemical Co (Японія). Результати випробувань наведені в (Табл. 1.)

Таблиця 1.

Сила відриву активної маси електроду від металевого струмовідводу із зв'язуючим на основі двох типів ПВДФ

№ зразка	Зв'язуюче на основі ПВДФ	Активний матеріал електроду		Вміст вуглецевого наповнювача електрода, %			Сила відриву P , Н/м ²
		тип	вміст	C65	ABG-1005	YP-50F	
1	6020	LiFePO_4	30	-	55	10	88,2
2	5130	LiFePO_4	30	-	55	10	2175,6
3	6020	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	75	10	10	-	147
4	5130	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	75	10	10	-	3175,2
5	6020	LiFePO_4 Umicore	30	-	55	10	29,4
6	5130	LiFePO_4 Umicore	30	-	55	10	637

Із результатів, наведених в (Табл. 1) видно, що адгезія різних електродних композицій на основі полімерного зв'язуючого Solef PVDF-5130 майже на порядок більша у порівнянні з Solef PVDF-6020.

Однією з основних вимог до полімерного зв'язуючого є забезпечення достатньої механічної міцності самого електродного композиту при мінімальній його кількості. Надлишок полімеру в електроді не тільки зменшує корисну масу електрода, але й підвищує його електричний опір [5]. У більшості випадків вміст сухого залишку полімеру в електроді не повинен перевищувати 10%.

У роботі досліджено вплив концентрації зв'язуючого (по сухому залишку) на адгезію композитного матеріалу до металевого струмовідводу. Результати вимірювання наведені в (Табл. 2).

Як бачимо з результатів (Табл. 2), із збільшенням вмісту Solef PVDF-5130 у вихідній композиції з 4 до 8 мас. % адгезія композитів збільшується на 80% за однакового вмісту електродної композиції. Така ж закономірність спостерігається і з Solef PVDF-6020, де адгезія збільшилася на 70%. Це, очевидно, викликано змінами як у складі, так і у структурі електродів.

Враховуючи різну в'язкість робочих розчинів досліджених полімерів, очевидно, що густина електродних композицій, виготовлених за однакових умов, буде різною. Зразки, які виготовлені на основі менш в'язкого 5%-вого розчину Solef PVDF-6020, мають помітно більшу густину (Табл. 2).

Таблиця 2.

Вплив концентрації ПВДФ на адгезію активного матеріалу електрода

№	Тип ПВДФ	Концентрація ПВДФ, %	Вміст графіту, %	Електропровідна добавка, 3 %	Густина ρ , кг/м ³	Зусилля руйнування, Н/м ²
1	5130	8	89	Pure Black	946	1773,8
2	5130	6	91	Pure Black	1275	519,4
3	5130	4	93	Pure Black	1539	352,8
4	5130	8	89	C65	1414	1969,8
5	5130	6	91	C65	1688	764,4
6	5130	4	93	C65	-	411,6
7	6020	8	89	Pure Black	1235	916,3
8	6020	6	91	Pure Black	-	539
9	6020	4	93	Pure Black	1780	220,5

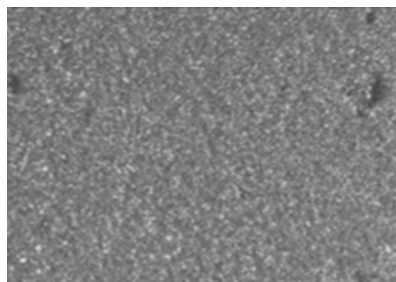
Імовірно це пов'язано з більшою рухливістю часточок дисперсної фази в розчині цього полімеру в процесі нанесення композитного матеріалу на колектор струму за допомогою пристрою «Doctor Blade». Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок, що при зменшенні концентрації зв'язуючого підвищується густина електродного матеріалу, від якої залежить електрична ємність електрода. Слід враховувати, що методика виготовлення електродів передбачає ущільнення висушеного композитного матеріалу за допомогою вальців при підвищеній температурі. Підвищення температури зменшує внутрішню напругу, яка виникає при випаровуванні розчинника, і таким чином підвищує адгезивні властивості полімеру (Табл. 3). Встановлено, що ущільнення електродної композиції покращує адгезійні властивості на 8-12%.

Таблиця 3.

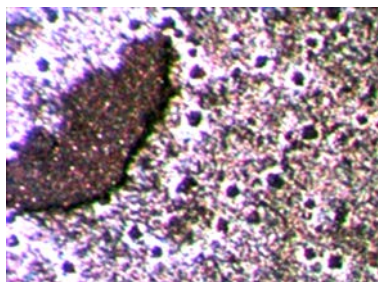
Густина та зусилля відриву активного шару електродів до і після їх вальцювання (склад композиту: графіт-89-91%, струмопровідна домішка Pure Black -3%, зв'язуюче ПВДФ – 5130- 6-8 %)

№	ПВДФ, %	До вальцювання		Після вальцювання	
		ρ , кг/м ³	P, Н/м ²	ρ , кг/м ³	P, Н/м ²
1	8	873	2484,3	995	2822,4
2	6	977	2185,4	1147	2371,6

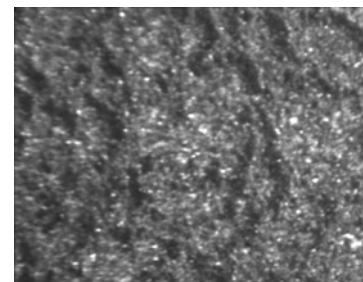
У роботі були проведенні дослідження механізму руйнування електродної композиції під час перевірки адгезії. На (рис. 4) приведені фотографії поверхні зразків електродів до і після їх відриву від субстрату.



а)



б)



в)

Рис. 4. Фотографії поверхні електродів складу: графіт-91%, струмопровідна домішка Pure Black -3%, зв'язуюче Solef PVDF-6020 або Solef PVDF-5130 – 6% (а – типова поверхня електрода до руйнування, б – електрод на основі Solef PVDF-6020 після руйнування, в – електрод на основі Solef PVDF-5130 після руйнування)

Відповідно до результатів, наведених на (рис. 4), на поверхні електрода на основі Solef PVDF-6020 після руйнування залишається незначна кількість композитного матеріалу (рис. 4б). Отже, відрив активного матеріалу відбувається від поверхні металевго струмовідводу. Однак на поверхні електрода на основі Solef PVDF-5130 після руйнування залишається шар композитного матеріалу (рис. 4в). Таки чином, руйнування зразків з Solef PVDF-5130 має когезійний характер, при якому з композиту вириваються окремі блоки. Результати дослідження вказують, що модифікація з наданням полімеру функціональних груп суттєво збільшую саме адгезію електродної композиції до металевго струмовідводу.

Висновки. У роботі експериментально встановлено, що технологічна модифікація з наданням функціональних груп ПВДФ значно покращує фізико-механічні властивості електродів ХДС. Також слід зазначити, що використання Solef PVDF-5130 дозволяє зменшити вміст полімеру в електродах, що дозволяє збільшити їх електричну ємність. Встановлено, що за рахунок функціональних груп полімеру Solef PVDF-5130 адгезія матеріалу позитивного електроду зросла майже в 10 разів, а негативного електроду зросла в 1,5 рази в порівнянні з не модифікованим полімером.

Список використаної літератури

1. Electrochemical Double Layer Capacitors and Hybrid Devices for Green Energy Applications/ Y. Maletin, N. Stryzhakova, S. Zelinsky [et al.]. EDLCs and HDs for Green Energy Applications. – 2014, – №4. – Р. 9-17.
2. Гороновский И.Т. Краткий справочник по химии. И.Т. Гороновский, Ю.П.Назаренко, Е.Ф.Некрич. “Наукова думка”, – К., – 1974. – 991 с.
3. Welch G. J. Solution properties and unperturbed dimensions of poly (vinilidene fluoride). G. J. Welch. Polymer. – 1974. – V.15. – №7. – Р. 429-432.
4. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров. Я. Рабек. – Издательство Мир, – 1983, – Т.1. 382 с.
5. Maletin Yu. Carbon Based Electrochemical double layer capacitors of Low Internal Resistance. Yurii Maletin, Volodymyr Strelko, Natalia Stryzhakova. Energy and Environment Research. – 2013. – Vol. 3. – №. 2. – Р. 156-165.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДИФИКАЦИЙ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА ЧЕРНЫШ О.В, ХОМЕНКО В.Г, БАРСУКОВ В.З, БОРЩ А.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать влияние различных технологических модификаций поливинилиденфторида, который используется в составе активного материала электродов в качестве связующей добавки, на физико-механические свойства электродов и прежде всего - на адгезию к медному и алюминиевому коллектору тока.

Методика. Адгезию оценивали по методу равномерного отрыва электродной композиции от металлического токоотвода. С помощью этого метода измеряется величина усилия, необходимого для отделения полимерного композитного материала от субстрата, приложенного по всей площади контакта. Усилие прикладывается перпендикулярно

плоскости соединительного шва, а величина адгезии характеризуется силой, приложенной к единице площади контакта.

Результаты. В работе экспериментально показано, что различные технологические модификации ПВДФ производства международной компании SOLVAY (Бельгия) значительно изменяют физико-механические свойства электродов ХИТ. В частности установлено, что использование технологической модификации полимера Solef PVDF-5130 позволяет увеличить адгезию активного материала к коллектору тока для положительного электрода почти в 10 раз, для отрицательного электрода в 1,5 раза по сравнению с обычным немодифицированным ПВДФ. Также следует отметить, что использование Solef PVDF-5130 позволяет уменьшить содержание полимера в электроде, что в свою очередь позволяет увеличить электрическую емкость электродов.

Научная новизна. Установлено влияние технологических модификаций ПВДФ на физико-механические свойства активных материалов электродов.

Практическая значимость. Полученные результаты можно применять при разработке и изготовлении электродов химических источников тока.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, электроды, полимерные связующие, адгезия.

INFLUENCE OF POLYVINYLIDENEFLUORIDE TECHNOLOGICAL MODIFICATION ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE ELECTRODES OF ELECTROCHEMICAL POWER SOURCES

CHERNYSH O., KHOMENKO V., BARSUKOV V., BORSCH A.

Kiev National University of Technologies & Design

Purpose. To investigate the influence of various technological modifications of polyvinylidene fluoride (PVDF), which is used in the electrode active material composition as a binder additive, on the physico-mechanical properties of the electrodes and first of all – on the adhesion to the copper and the aluminum current collectors.

Methodology. An adhesion was evaluated by uniform tearing the electrode composition from a metal current collector. By this method a force value is measured, which applied over the entire contact area and necessary to tear a polymer composite from the substrate. Force is applied perpendicular to the plane of the connecting seam, characterized by a value of adhesion force applied to the unit area of contact.

Findings. This work is shown experimentally that various technological modifications of PVDF provided by the SOLVAY (Belgium) international company change significantly the physical and mechanical properties of electrodes. In particular, it was founded that using such technological grade of polymer as Solef PVDF-5130 increases the adhesion of active material for the current collector of positive electrode to almost 10 times and for the current collector of negative electrode to 1,5 times as compared with common unmodified PVDF. It should be noted also that using the Solef PVDF-5130 grade can reduce the polymer content in the electrode, which in turn allows increasing the capacitance of electrodes.

Originality. It was established an influence of various technological modifications of PVDF on physical and mechanical properties of the active electrode materials.

Practical value. The obtained results can be used for developing and manufacturing the electrodes of electrochemical power sources.

Keywords: lithium-ion battery, supercapacitors, electrodes, polymer binders, adhesion.

УДК 72.01

КИСИЛЬ С. С.

Київський національний університет технологій та дизайну

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРОСТОРУ ЯК НАПРЯМОК У ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Мета. Визначити тенденції впровадження і перспективи розвитку прийомів трансформації сучасних суб'єктно-орієнтованих інтер'єрів житлових будинків за рахунок переміщення перегородок, ширм, обладнання, меблів-трансформерів у них.

Методика. У роботі використані методи аналізу літературних джерел за тематикою дослідження, порівняльного аналізу прийомів трансформації житлових інтер'єрів, узагальнення досвіду проектування.

Результати. Визначено найбільш поширені прийоми трансформації житлового внутрішнього простору за рахунок: розсувних перегородок, ширм та меблів-трансформерів.

Наукова новизна. Визначення особливостей застосування прийомів трансформації житлових інтер'єрів за рахунок: розсувних перегородок, ширм та меблів-трансформерів.

Практична значимість. Результати узагальнення знань щодо сучасного поняття трансформації внутрішнього простору житлового середовища можуть бути використані в реальному та навчальному комп'ютерному проектуванні інтер'єрів.

Ключові слова: трансформація, гнучке перепланування, інтер'єр житлового приміщення, розсувні перегородки, ширми, меблі-трансформери.

Вступ. Питання трансформації внутрішнього простору житла виникало протягом усієї історії людства та було пов'язане з удосконаленням комфортності проживання його мешканців. Людина прагнула створити внутрішній простір житлового середовища максимально пристосований до реалізації своїх потреб, зручно поєднавши організоване місце проживання із зоною для впровадження професійної діяльності. Пошук найкомфортнішого варіанту планування *житлової чарунки*¹ людина не припиняє і сьогодні. При цьому, намагаючись передбачити можливі варіанти її гнучкого перепланування на випадок, наприклад, змін демографічного складу або професійної спеціалізації її мешканців, тощо.

Відповідно до концепції організації інтер'єру житла прийнятого у сучасному дизайні, перед автором проекту стоїть задача забезпечення механізму його індивідуалізації, співвідношення із конкретними мешканцями для стимулювання їх житлової активності. Таким чином, житловий простір повинен бути зіставленим із конкретним суб'єктом, часом та обмежений у просторі, як зона безпосереднього впливу на особу.

У свою чергу, одним із безпосередніх методів вирішення цієї задачі може стати гнучка трансформація житлового простору, що реалізується шляхом переміщення легких перегородок, ширм або меблів-трансформерів.

Теоретичною базою для написання даної статті стали дослідження питань архітектурно-планувальної трансформації житлового простору таких вчених: В.М. Молчанов, М. В. Лісіціана, А. А. Зоріна, В. Добрава, Л. Ачкасової та ін. [1, 2, 3, 4].

Постановка завдання. Узагальнити концептуальні підходи до інтелектуального керування середовищем житла, розглянути особливості трансформації житлових інтер'єрів та перспективи впровадження зазначеного прийому у вітчизняному проектуванні.

Результати дослідження. Житлове середовище, як основний елемент, розглядається у дизайні інтер'єру як комплексне полісередовище. У його складі можливо виділити зони: анаболістичну (пасивний відпочинок, відновлення енергоресурсів) та діяльнісну (активна трудова діяльність, робота).

В 60-80 рр. у період введення у масове будівництво типових проектів житлових будинків з нормативним встановленням мінімальної площі на одну людину, можливість перепланування, змін функціонального призначення внутрішнього простору – навіть не розглядались проєктувальниками.

Мінімальні нормовані площі, що виділялись на одну особу у панельних, блочних, тощо житлових будинках у той період, з негнучкою конструктивною схемою унеможлилювали будь-яку варіативність, зміну планування житлових чарунок.

З настанням ринкових відносин споруджують житлові будинки за індивідуальними проєктами. Сучасне проєктне рішення квартир досягається за рахунок монолітної, збірно-монолітної конструктивних схем, що стають основою для вирішення принципів гнучкого планування у них.

Стає необхідним використання гнучкого планування у житловому будівництві, у першу чергу, зі зміною демографічного складу сімей, потребою у багатоваріантному використанні простору та покращенні умов проживання [5].

За рахунок трансформації – гнучкого планування стає можливою зміна кількості кімнат у квартирі. А саме, створення: з однокімнатної – двокімнатну, з двокімнатної – трикімнатну, тощо. І навпаки, при зменшенні кількості членів сім'ї перетворюють: двокімнатні квартири в однокімнатні, а трикімнатні – у двокімнатні, тощо. При цьому збільшення приміщень квартир дає змогу покращити їх експлуатаційні якості та рівень комфорту.

Тобто, при збільшенні складу сім'ї із загальної площі квартири за допомогою внутрішніх перегородок, ширм, що легко трансформуються, виділяють нову кімнату (**рис. 1**), а при зменшенні її складу – частину приміщень перетворюють у єдиний простір (**рис. 2**).

Гнучке планування дає можливість трансформувати внутрішній простір квартир з наданням йому додаткового функціонального призначення. Наприклад, квартир-майстерень, квартир-студій – житла з робочою зоною, безпосередньо пов'язаною з професійною діяльністю її мешканців [6].

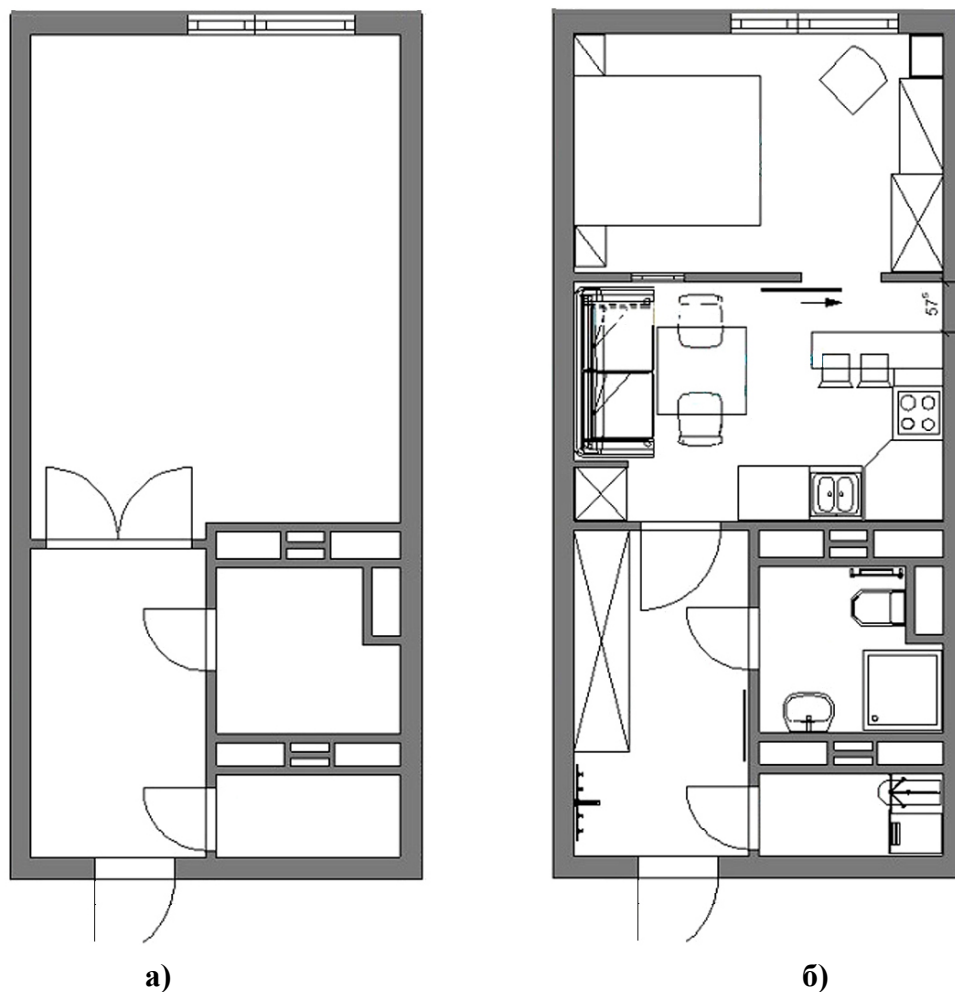


Рис. 1. Схема трансформації інтер'єру квартир з виділенням із загальної площі нової зони-кімнати: а) до та б) після перепланування

За **В. М. Молчановим**, гнучке планування – це побудова інтер'єру житлового простору з використанням легко трансформованих перегородок, ширм або меблів, що використовують у якості змінних кордонів. Це дає можливість як розділювати житловий простір, так і об'єднувати його в одне велике приміщення [1].

Загалом, визначення **гнучке планування** зводиться до понять розділення або об'єднання простору. Можливість видозміни протягом визначеного часу житлового простору, у залежності від потреб їх мешканців, і складає суть даного поняття.

Засобами реалізації гнучкого планування в інтер'єрах житлових приміщень стають перегородки, ширми, що легко трансформуються та меблі-трансформери, що складаються або розкладаються у залежності від потреб (**рис. 3**).

Гнучке планування дозволяє змінювати кількість, габаритні розміри, функціональне призначення житлових приміщень.

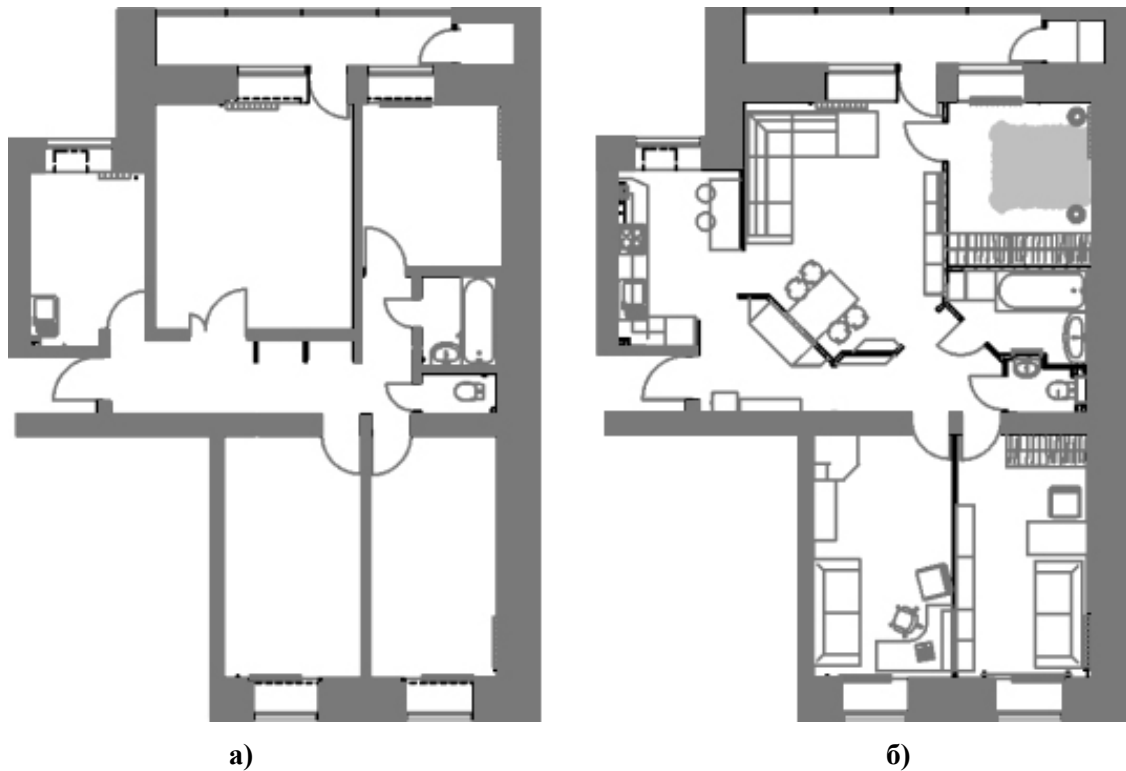


Рис. 2. Схема трансформації інтер'єру квартир із об'єднанням частини його приміщень у єдиний простір: а) до та б) після перепланування

Основною перевагою гнучкого планування стає те, що воно дозволяє: будувати житловий простір з урахуванням потреб та побажань конкретного споживача; виконувати перепланування приміщень вже у процесі проживання; виділяти індивідуальний простір для кожного мешканця; відокремлювати простір їдальні від кухні; створювати робоче приміщення або приміщення для занять по інтересам, тощо.

Можливим стає і об'єднання групи приміщень, наприклад, в студію. Наприклад, кухні та житлового приміщення з подальшим перетворенням утвореного простору в їдальню або житлового і приміщення господарського призначення, перетворюючи його у робочу студію.

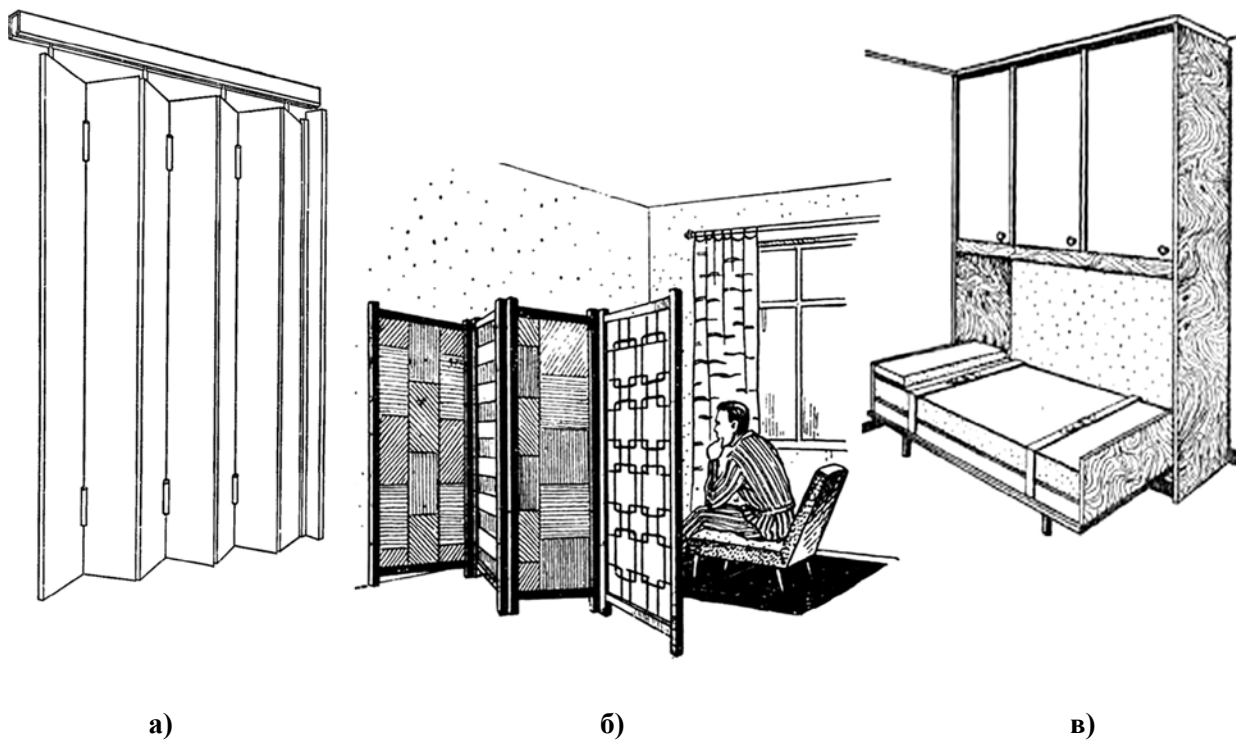


Рис. 3. Приклади реалізації гнучкого планування в інтер'єрах житлових приміщень за рахунок: а) розсувних перегородок, б) ширм та в) меблів-трансформерів

Висновки. Питання трансформації житлового простору набуває великого значення у зв'язку з потребою у забезпеченні комфорту для проживання сімей зі зміною, наприклад, кількісного складу їх членів. Шляхом варіативного розміщення легких перегородок (при стаціонарному розміщенні приміщення санітарного вузла) досягаються зручності побуту та комфорту у них.

Трансформація інтер'єрів житлових приміщень за рахунок використання **гнучкого планування** стає можливою шляхом розбиття його на окремі зони або навпаки – об'єднання приміщень у єдиний відкритий простір, шляхом часткового або абсолютного усунення перегородок, тощо.

Гнучке планування покращує якість архітектурно-планувальних рішень житлових приміщень, дозволяє збільшити період їх моральної експлуатації, що стає актуальною задачею при проектуванні даного типу інтер'єрів. А застосування методу трансформації житлового простору, шляхом гнучкого планування набуває з кожним роком усе більшої актуальності.

Список використаної літератури:

1. Молчанов В. М. Теоретические основы проектирования жилых зданий / В. М. Молчанов. – Ростов-на-Дону: Феникс. – 236 с. – (ISBN: 5-222-03796-7).
2. Лисициан М. В. Архитектурное проектирование жилых зданий / М. В. Лисициан. – Москва: Архитектура-С, 2014. – 488 с. – (ISBN : 5-9647-0104-3).
3. Добров В. Ремонт и перепланировка квартиры. / В. Добров. – Москва: Литературный бульвар, 2010. – 298 с. – (Строительство и ремонт - советы профессионалов).

4. Ачкасова Л. Дизайн и перепланировка жилых помещений / Л. Ачкасова. – Москва, 2011. – 304 с.
5. Молчанов В. М. Основы архитектурного проектирования: Социально-функциональные аспекты / В. М. Молчанов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 312 с. – (ISBN : 5-222-03615-4).
6. Иванов Ю. Н. Перепланировка, ремонт и дизайн квартиры / Ю. Н. Иванов., 2007. – 424 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА КАК НАПРАВЛЕНИЕ В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРЬЕРОВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

КИСИЛЬ С. С.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определить тенденции внедрения и перспективы развития приёмов трансформации современных субъектно-ориентированных интерьеров жилых зданий за счет перемещения перегородок, ширм, оборудования, трансформируемой мебели в них.

Методика. В работе использованы методы анализа литературных источников по теме исследования, сравнительного анализа приемов трансформации жилых интерьеров, обобщения опыта проектирования.

Результаты. Определены наиболее распространённые приемы трансформации жилого внутреннего пространства за счет: раздвижных перегородок, ширм и трансформируемой мебели.

Научная новизна. Определены особенности использования приемов трансформации жилых интерьеров за счет: раздвижных перегородок, ширм и трансформируемой мебели.

Практическая значимость. Результаты обобщения знаний относительно современного понятия трансформации внутреннего пространства жилой среды могут быть использованы в реальном и учебном компьютерном проектировании интерьеров.

Ключевые слова: трансформация, гибкая перепланировка, интерьер жилого помещения, раздвижные перегородки, ширмы, трансформируемая мебель.

TRANSFORMATION OF THE SPACE AS A TREND IN INTERIOR DESIGN OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS

KYSIL S. S.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Identify trends and prospects of modern introduction methods of the transformation subject-oriented interiors in the residential buildings by moving partitions, screens, equipment, and convertible furniture in them.

Methodology. We used the analysis methods of the literature relating to the study, a comparative analysis of the transformation methods in the residential interior design experience generalization.

Findings. It identified the most common methods of transformation in the housing interior space by: sliding partitions, screens and convertible furniture.

Originality. The features of the use of residential interiors transformation techniques by: sliding partitions, screens and convertible furniture.

Practical value. The generalization results of knowledge regarding modern transformation concepts of the living environment in the internal space can be used in a real school and computer design of interiors.

Keywords: transformation, a flexible re-planning, interior living space, sliding partitions, screens, convertible furniture.