



#10(62), 2020 часть 7  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - A4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала

Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

Редакционная коллегия

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

#10(62), 2020 part 7  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each  
month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the  
journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

1000 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

1000 copies.  
Printed by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

# СОДЕРЖАНИЕ

## Архитектура

<b>Коломієць А.В.</b> ПРО ПОХОДЖЕННЯ БАНИ ЦИБУЛЯСТОГО ТИПУ В УКРАЇНСЬКОМУ БАРОКО .....	4
<b>Третяк Ю.В., Гура М.</b> ОСНОВНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВОКЗАЛІВ В ОБЛАСНИХ ЦЕНТРАХ .....	8
<b>Полозюк С.Ю., Мартинов В.Л.</b> РОЗВИТОК ТА ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ-КОМПЛЕКСІВ.....	14

## Технические науки

<b>Sabziev E.N.</b> MATHEMATICAL MODEL OF ADJUSTMENT OF CONTROL PARAMETERS FOR DRONE FLIGHT ALONG THE PLANNED FLIGHT PATH .....	19
<b>Буй Ван Туен, Чу Донг Сюань</b> ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОНУ, ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ .....	24
<b>Выговский А.В., Краснянская Т.В.</b> РОЛЬ И МЕСТО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БЕДУЮЩЕМ МИРОВОМ ЭНЕРГОБАЛАНСЕ .....	29
<b>Qurbonalizoda S.SH., Kurbonalizoda S. S.</b> THE QUALITY OF ELECTRIC ENERGY IN POWER SUPPLY SYSTEMS AND GENERAL STANDARDS .....	35
<b>Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Ракунов А.Ю.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ УНИФИЦИРОВАННЫМИ РЕЗЦАМИ.....	43
<b>Sakhno E.Y.</b> THEORU OF EVOLUTIONARU INTERACTION OF NATURAL AND ARTIFICIAL SYSTEMS.....	51
<b>Тенгаева А.А., Оразбек Куаньш</b> РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DJANGO .....	57
<b>Чуйко С.П., Кравченко А.П.</b> КРИТЕРИИ ТЕПЛОЙ НАГРУЗКИ КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ АВТОБУСА МАЗ-206 В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	62
<b>Щеткин Б.Н.</b> ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЦИОННЫХ СТРУКТУР - ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....	67

# АРХИТЕКТУРА

УДК 7.071.5(477) «16/17»  
ORCID iD 0000-0002-2229-4201

*Kolomiets A. V., PhD-student  
National Academy of Fine Art and Architecture,  
Kyiv, Ukraine*

## CONCERNING THE ORIGIN OF THE ONION DOME IN UKRAINIAN BAROQUE

*Коломієць А.В.  
Національна академія образотворчого  
мистецтва та архітектури,  
Київ, Україна*

### ПРО ПОХОДЖЕННЯ БАНИ ЦИБУЛЯСТОГО ТИПУ В УКРАЇНСЬКОМУ БАРОКО

**Анотація.** Питання походження цибулястих бань в українському бароко та їхнє поширення у мурованому та дерев'яному храмовому зодстві є важливим, проте практично не дослідженим питанням. Автор висуває та аргументує версію щодо джерела їхнього походження. Дана версія висувається вперше.

**Abstract.** The issue of the origin of onion dome in Ukrainian baroque and its distribution in stone and wooden temple architecture is an important, but practically unexplored, issue. The author puts forward and argues the version as to the source of their origin. This version is being put forward for the first time.

*Ключові слова:* бароко, мазепинське бароко, Антоній Тарасевич, Johann Wilhelms «Architecture civilis», бані.

*Keywords:* Baroque, Mazepa Baroque, Antoni Tarasevich, Johann Wilhelms «Architecture civilis», dome.

**Постановка проблеми.** Історія розвитку форми куполів в українській сакральній архітектурі XVII-XVIII ст. є добре дослідженою низкою авторитетних авторів. Проте питанням як саме типова для XVII-XVIII ст. цибуляста баня з виразним ковніром з'явилася в Україні, до цього часу не займався жоден із відомих авторів дослідників. Знайти, показати яким чином вона з'явилася та посіла домінуюче місце в архітектурі українського бароко є актуальним завданням для історії архітектури України.

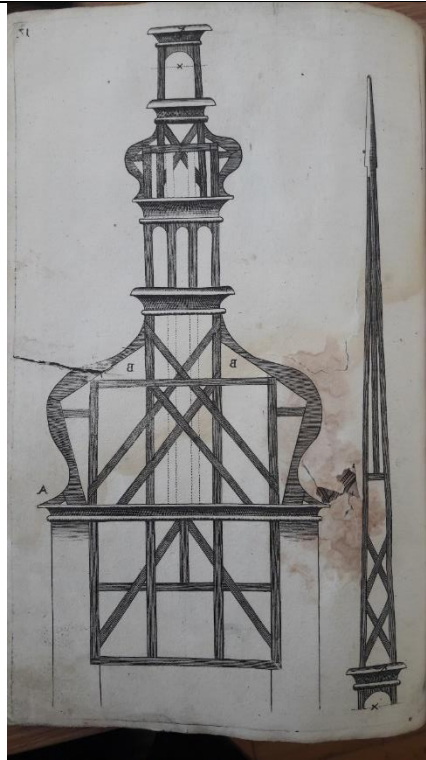
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Власне в Україні тема, порушена автором, ще не досліджувалась і ця стаття є першою щодо походження бані з виразним ковніром, «цибулястої», характерної для храмів доби українського бароко. Ганно-Вальтер Круфт (Hanno-Walter Krufft) у своїй книзі «A history of architectural theory: from Vitruvius to the present» присвятив невеличкий текст книзі Йоганна Вільгельма «Architecture civilis» [5], а дослідник власне історії цибулястих бань у Європі Ганс Шіндлер Hans Schindler [3] у своїй статті «Concerning the Origin of the Onion Dome and Onion Spires in Central European

Architecture» проводить пошук найдавніших прикладів застосування цих бань у Європі. Книгозбірні Антонія Тарасевича присвячено статтю Г. Шустіної «Нове життя книг кунштových» [1]. Дослідження в цьому ж напрямі наразі веде також реставратор та художник Вадим Шевчук.

**Виділення невирішених раніше частин проблеми.** Основною проблемою, яка ніяк не досліджувалась досі, є питання звідки походить найпопулярніша форма бань в українському бароко. Автор пропонує відповідь на це питання.

**Мета статті:** вказати джерело походження цибулястих бань в українському бароко.

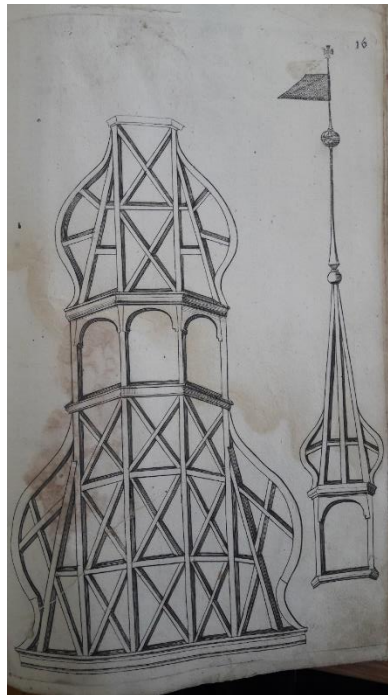
**Виклад основного матеріалу.** Барокові бані, надто доби українського або т. зв. мазепинського бароко, набули великого поширення по території не тільки України, але і віддалених районів Російської імперії. Їхня форма є своєрідною визітівкою стилю, його чи не найвиразнішою рисою чи ознакою. Проте історії походження такої бані, пошукам її витоків не було приділено належної уваги. Пошуки автором наукових розвідок з цієї теми у вітчизняній історіографії не дали результатів.



Малюнок № 16

Між тим, у книгозбірні Антонія Тарасевича ми знаходимо підручник з архітектури Johann Wilhelms «Architecture civilis» (1649 р., 1668р.) [10]. Природно, що Тарасевич, пройшовши навчання у Німеччині, майстерні братів А. і Ф. Кіліянів в Аугсбурзі, обрав саме німецький підручник (довідник) з архітектури. Загалом книжки керівника Лаврської друкарні та видатного

художника Антонія Тарасевича слугували підручниками для учнів Лаврської малярні, яка, на думку автора, була своєрідним «образтворчим факультетом» Могилянської академії. Наявність цього підручника та іншого підручника з архітектурної перспективи дозволяють стверджувати, що в Лаврі викладалася також і архітектура.



Малюнок №17

Книжка Йоганна Вільгельма [10] присвячена головне дерев'яним конструкціям в архітектурі,

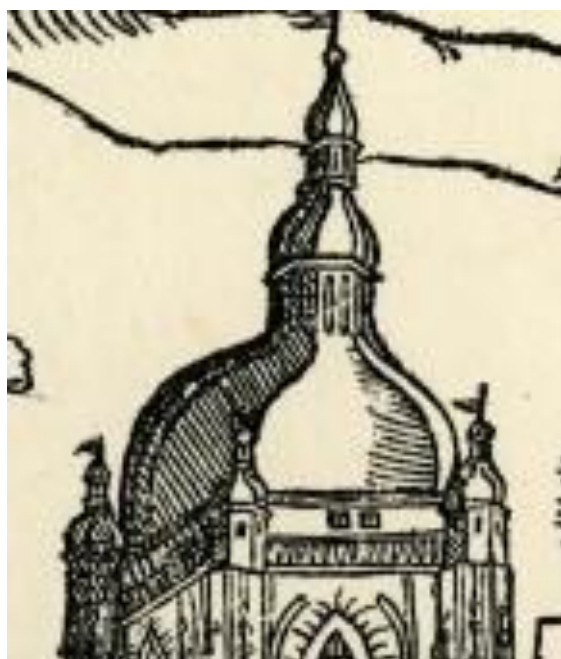
значна частина є зображенням конструкцій різного типу бань та шпилів.

Легко переконатися, що форми бань на малюнках 16 та 17 [10] є практично тотожними формам Мазепинського бароко. Практика безпосереднього використання в архітектурі малюнків та схем з підручників була загальноприйнятною, а зодчі, очевидно, вподобавши саме ці варіанти, втілили запропоновані у книзі форми у низці знакових споруд доби.

Дослідник історії архітектурної освіти Hanno-Walter Kruft у своїй книзі «A history of architectural theory: from Vitruvius to the present» [4] зауважує популярність «Architecture civilis», що, на його думку, була спричинена зокрема виходом підручника у 1649 році, одразу по закінченні Тридцятирічної війни і перевиданим у 1668 році. Очевидно, що повоєнна відбудова по всій Європі зумовила попит і на високопрактичний твір Йоганна Вільгельма. В Україні власна

тридцятирічна війна-руїна триватиме свої тридцять років аж до 1687 – року початку гетьманства Івана Мазепи, коли в Україні відновлюється активне будівництво. Антоній Тарасевич переїздить до Києва у 1688 році і ми можемо припустити, що «Architecture civilis» [10] вже тоді була з ним і, очевидно, стала чи не ключовим чинником у впровадженні барокової бані саме такої форми з характерними абрисами і виразним ковніром.

Дослідник Ганс Шіндлер [3], вивчаючи власне походження бань такого «цибулястого» типу, наводячи низку прикладів, зауважує, що на датованій 1562 роком ведуті Праги вже видно куполи такого типу на зведеному у 1560 році Боніфацем Вольмутом тодішньому Соборі Св. Віта. Сам автор пояснює наявність подібних завершень на готичних вежах собору поєднанням італійських впливів з північними.



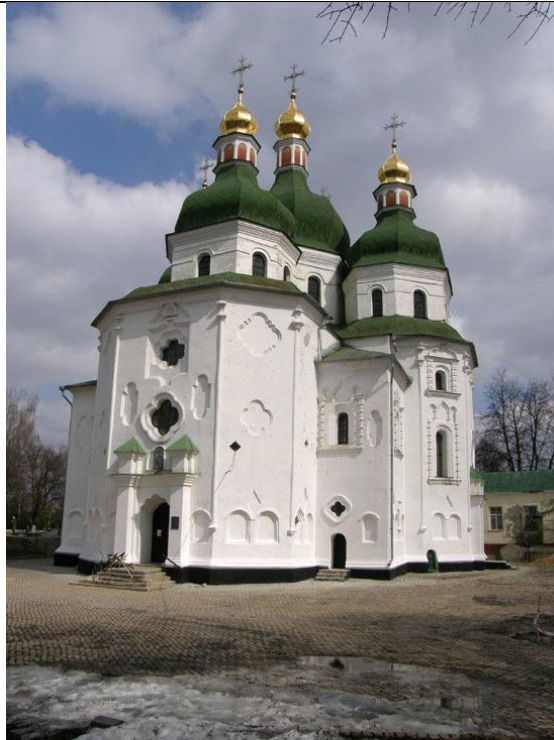
*Собор Св.Вітта. Прага. 1562 рік*

Втім, було б несправедливим залишити поза увагою стан власне української храмової архітектури тієї доби, її традицій, підходів та способів вирішення об'ємно-просторових задач. Для нас є цікавим також підрунтя власне українського церковного зодчества, яке органічно абсорбувало цю форму купола. В історії храмової архітектури України відомими є приклади запозичень композиційних прийомів і форм дерев'яного будівництва при спорудженні мурованих храмів. «Саме в дерев'яному будівництві майстри зберігали композиції та архітектурні форми, заповідані предками. Водночас це була робітня нових форм для всієї національної архітектури – у тому числі мурованої та елітарної. Потужний злет мистецтва мурованих храмів доби українського відродження й бароко XVII-XVIII ст. був би неможливим без

архітектурного досвіду, нагромадженого за попередні століття в дерев'яному церковному будівництві» [2].

Книга Йоганна Вільгельма, як вже зазначалося, з'явилася у 1649 році. Втім, це не означає, що купол такої форми був винаходом власне Йоганна Вільгельма чи з'явився безпосередньо перед виходом книги. Книга є по суті архітектурно-будівельним довідником, який пропонує вже визнані будівничими того часу рішення. Це підтверджує і наведена вище стаття Ганса Шіндлера, який, віддаючи належне ролі книги Йогана Вільгельма, веде відлік історії «цибулястих» бань принаймні від 1562 р. [3]. Нас цікавить час появи таких бань у дерев'яній та мурованій сакральній архітектурі України.





*Миколаєвський собор в Ніжині, 1655 рік.*

На теренах України одним із найдавніших мурованих храм-носіїв таких куполів є, зведений у 1655 році, Миколаєвський собор в Ніжині. Олександр Морозов [9], цитуючи Анатолія Макрова [6], зауважує, що цей храм є фактично прототипом всіх «козацьких» соборів. Це Троїцький собор Густинського монастиря під Прилуками (1672-1674р.), Катерининська церква у Чернігові (1690-ті роки), Успенський собор у Новгород-Сіверському (кінець XVII – поч. XVIII ст.), церква Всіх святих у Києво-Печерській лаврі (1696-1698 р.), Георгіївський собор Видубицького монастиря у Києві (1696-1701 р.) та багато інших [3].

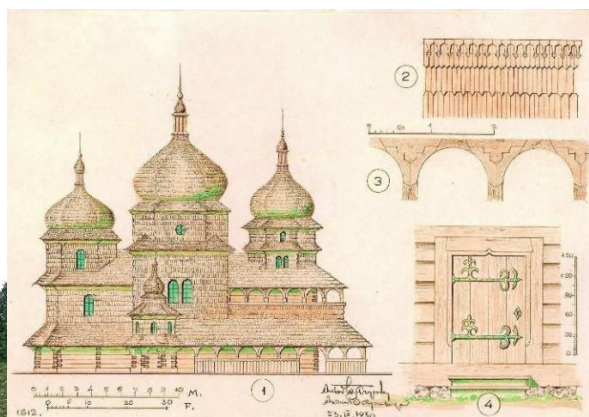
Датований 1655 роком Олександром Морозовим Миколаєвський собор, ймовірно,

отримав свої «козацькі» бані при побудові. Втім після спалення міста військом московського князя Ромодановського у 1668 р., собор був поремонтований, яких саме втрат він зазнав від московських варварів і чи це торкнулося його бань, ми не знаємо. Отже, найпізнішою можливою датою набуття собором таких бань є 1669 рік.

У дерев'яному зодчестві цибулясті бані з виразними ковнірами з'являються на межі 1650-1660 років. Петро Юрченко [7, с. 72] зазначає, що тоді з'являється «принципово нове трактування бані, що зумовлює більшу пластичність форм». Це зокрема церква Св. Юра у Дрогобичі (1657 р.) та церква у с. Ісаї (1663 р.).



*Церква Св. Юра, Дрогобич, 1657 р. Церква у с. Ісаї, 1663 р.*



Бані обох храмів мають виразний ковнір і явно наслідують нові, але, вочевидь, уже популярні на той час цибулясті форми.

Отже, саме середина XVII ст., межа 50-х та 60-х років стає часом появи на теренах України бань цибулястого типу з виразним ковніром. Уже до кінця XVII ст. ця форма стає надзвичайно

популярною і на плані Києва, складеному Ушаковим у 1695 році, ми бачимо велику кількість саме таких завершень київських храмів [8]. Як зазначалося вище, автору вдалося прослідкувати обставини та дату появи книги Йоганна Вільгельма у Києві, Антоній Тарасевич ймовірно, привіз її з Аугсбургу у складі своєї бібліотеки у 1688 році. Втім, це не означає, що цей вельми популярний у європейських будівничих довідник не був відомий в Україні й раніше, адже вийшов він вперше ще 1649 році і перевидавався зокрема у 1668 році. Величезна кількість храмів українського бароко мають форми бань, які точно повторюють або наслідують наведені на малюнках 16 та 17 [10] форми. Тож автор стверджує, що саме підручник Йоганна Вільгельма привніс на наші терени відому нині хрестоматійну форму бань українського бароко.

### Список літератури

1. Нове життя книг кунштових / Г. Шустіна // Мистецтвознавство України. – 2008. – Вип. 9. – С. 331-343 [Nove zhyttia knyh kunshtovykh / H. Shustina // Mystetstvoznavstvo Ukrainy. – 2008. – Vyp. 9. – S. 331-343.
2. Віктор Вечерський, Українська народна дерев'яна архітектура, Балтія Друк, ISBN: 978-966-8137-99-0, ц: 120с., стр.32. [Viktor Vecherskyi, Ukrainiska narodna dereviana arkhitektura, Baltiia Druk, 120 s., str.32].
3. Concerning the Origin of the Onion Dome and Onion Spires in Central European Architecture, Hans Schindler., Journal of the Society of Architectural

Historians, Vol. 40 No. 2, May, 1981; (pp. 138-142) DOI: 10.2307/989727.

4. Krufft, Hanno-Walter. History of architectural theory. London : Zwemmer ; New York : Princeton Architectural Press, ©1994 page 174.

5. Тарас Я. Сакральна дерев'яна архітектура українців Карпат: культуротрадиційний аспект / Ярослав Тарас. – Львів : Ін-т народознавства НАН України, 2007. – 639 с. [Taras Ya. Sakralna dereviana arkhitektura ukrainsiv Karpat: kulturnotradytsiinyi aspekt / Yaroslav Taras. – Lviv : In-t narodoznavstva NAN Ukrainy, 2007. – 639 s].

6. Макаров А. Світло українського бароко. – Київ., 1994. – С.190 [Makarov A. Svitlo ukrainskoho baroko. – Kyiv., 1994. – S.190].

7. Юрченко П. Г. Дерев'яна архітектура України / П. Г. Юрченко. – Київ: Будівельник, 1970. – 192 с. : 98 іл. [Yurchenko P. H. Dereviana arkhitektura Ukrainy / P. H. Yurchenko. – Kyiv : Budivelnik, 1970. — 192 s. : 98 il.].

8. Алферова Г.В., Харламов В.А. Киев во второй половине XVII века. – К.: Наук. Думка. 1982 р. [Alferova H.V., Kharlamov V.A. Kyev vo vtoroi polovynе XVII veka. – K.: Nauk. Dumka. 1982 r.].

9. Олександр Морозов «Миколаєвський собор – унікальна пам'ятка доби козацького бароко», Пам'ятки України №7., 2013 р. К., стр.19 [Oleksandr Morozov «Mykolaievskiy sobor – unikalna pamiatka doby kozatskoho baroko», Pamiatky Ukrainy №7, 2013 r. K., str.19].

10. Johann Wilhelm. Architectura civilis. Frankfurt, 1668.

УДК 725.31

**Третяк Ю.В.**

*д.арх., проф. кафедри архітектури ФАБД*

**Гура М.**

*магістрант кафедри архітектури ФАБД*

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна*

## ОСНОВНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВОКЗАЛІВ В ОБЛАСНИХ ЦЕНТРАХ

**Анотація.** У статті проаналізовано основні фактори формування архітектурно-планувальної організації вокзалів в обласних центрах. Описані комбінаторні елементи, які є допоміжними для побудови залізничного вокзалу.

**Ключові слова:** залізничний вокзал, архітектура, фактори формування, архітектурно-планувальна організація, обласний центр, елементи комбінаторики.

**Вступ** Вокзал – будівля на залізничній станції, призначене для обслуговування пасажирів. Як правило, вокзали зустрічаються на великих залізничних станціях; в будівлі вокзалу зазвичай розміщують каси, камери зберігання, зал очікування, ресторани і т. д. Загальне Положення про залізничну станцію затверджене та введене в дію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 30 грудня 2004 р. № 1041-ЦЗ [3].

Різні аспекти функціонування і розвитку залізничних вокзальних комплексів як вузлів

зовнішньої транспортної мережі в структурі міста досліджені такими науковцями, як В.М. Батирев, Г.Є. Голубев, К. Херцег, О.Ш. Тер-Восканян, І.Г. Явейн та ін.

Типологічні особливості вокзальних комплексів були неодноразово розглянуті в багатьох наукових працях таких авторів як Голубев Г.Є., Русаков Є.С., Батиров В.М. Васильев Є.В., Гельфонд А.Л., Боков А.В., Канунников М. Н., Явейн І.Г., Херцег К., Кириченко Є.І. та інших. У даних дослідженнях проведений досить детальний аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду



організації вокзальних комплексів XIX - XX ст. Представлені яскраві приклади проектування класичних функціонально - планувальних схем, архітектурних рішень, особливості структурної організації процесів усередині вокзальних комплексів, пов'язаних з транспортними та транспортно-пасажи́рськими комунікаціями і його зовнішніх зв'язків, виявлені нормативні особливості [2].

Сьогодні на важливості вивчення закономірностей розвитку залізничних вокзальних комплексів наголошено в роботах Є.Голубева, І.Древал, М.Кануннікова В.Мироненка, І.Русанової та ін. В сучасній науці існує значний об'єм досліджень, що висвітлюють чинники впливу на формування залізничних вокзальних комплексів із позицій різних предметних площин. Технологічні чинники розглянуто в роботах М.Правдіна, Л.Рябухи, В.Лукашева, І.Савченко, С.Земблінова. Такі аспекти, як містоформуюча роль ЗВК, особливості їх функціональної і архітектурно-просторової організації, принципи архітектурної модернізації висвітлено в наукових працях Є.Васильєва, І.Русанової, Є.Владимірова, Р.Мухитова, А.Мурунова. Але чинники впливу на формування залізничних вокзальних комплексів розглядаються відокремлено, відповідно до вузьких завдань, а їх інтегрована оцінка – розглянута, але не достатньо.

Мета дослідження: проаналізувати основні фактори формування архітектурно-планувальної організації вокзалів в обласних центрах.

**Результати та обговорення дослідження:** Для формування архітектурної організації залізничних комплексів необхідно визначити фактори, які впливають на кожен з елементів. В архітектурному обличчі об'єкта залежно від обставин, можуть переважати штучні або природні фактори. На основі удосконалення системи проектування, типологічного і функціонального аналізу виявлено, що на формування архітектурного об'єкту впливає ряд умов. Для вивчення особливостей такого формування і визначення принципів створення нових типів архітектурних об'єктів необхідний аналіз як самих умов, так і характеру їх впливу, а також ступеня участі в процесі формування. [5]. Для систематизації цих понять і їхнього порівнювання і вводиться система взаємодії факторів, що визначають принципи формування об'єктів. Ці фактори можна підрозділити на дві групи:

- фактори, які впливають на формування будівель (об'єктивні передумови);
- фактори, що безпосередньо формують будівлі (елементи вирішення).

Групу факторів «об'єктивні передумови», тотожну вихідним даним для проектування, складають:

-природно-кліматичні і екологічні умови, що визначають зону розміщення об'єкта та її екологічний стан;

-адміністративно-господарське значення міста, кількість населення і його демографічні особливості, які встановлюють наявність у зоні контингенту споживачів, їхній кількісний і віковий склад;

-соціально-економічні умови, які обумовлюють розвиток системи громадського обслуговування, організації її мережі, а також можливості інвестування цих процесів;

-містобудівні ситуації, що визначають специфічні умови конкретного архітектурно-композиційного і планувального вирішення;

-матеріально-технічні умови зведення будівель і споруд, що виявляє можливості місцевої індустриально-будівельної бази, а також реновації історичних будівель (пам'яток архітектури) тощо.

Група факторів – «елементи вирішення» віднесена до етапів проектування і поділена на три підгрупи:

До першої підгрупи належать фактори, які впливають на вибір типу будівлі, визначення складу і параметрів приміщень та формування архітектурно-планувальної організації об'єкта, що проектується.

До другої підгрупи належать фактори, які впливають на комплексне об'ємно-композиційне вирішення. На відміну від впливу факторів групи «об'єктивні передумови», дана підгрупа факторів має суб'єктивне значення. До неї можна віднести: типологію, що встановлює принципове функціонально-технологічне вирішення, яке враховує специфіку типу будівлі (споруди); конструкцію, що визначає принципове архітектурно-конструктивне вирішення; композицію, яка забезпечує створення обраної об'ємно-просторової схеми будівлі (споруди).

До третьої підгрупи можна віднести фактори, що беруть участь у створенні об'єкта як засобу, що формує його архітектурне середовище. Ця підгрупа складається з таких факторів: специфічні планувальні елементи будівлі (споруди) – вирішення головних входів, комунікаційних вузлів, навчальних і робочих приміщень, різних зальних просторів, допоміжних приміщень тощо; вибір матеріалів – застосування новітніх будівельних та оздоблювальних матеріалів; інженерно-технологічне забезпечення – застосування енергозберігаючих вітчизняних та закордонних систем; обладнання і укомплектування – розробка або вибір сучасних зразків меблів і обладнання; визначення та розробка світлового і кольорового вирішення об'єкта, а також застосування синтезу архітектури і різних видів мистецтва. У процесі проектування фактори знаходяться в тісній взаємодії і не тільки визначають формування об'єкта, але і взаємно впливають один на одного.

1. Структуру взаємозалежних факторів пропонується розглядати як інструмент розробки архітектурно-проектного вирішення об'єкта, тобто як методологічну схему [6], [4].

Перетворення залізничного вокзалу на багатофункціональний комплекс відбувається під

впливом двох основних факторів. З одного боку, необхідно забезпечити комфортні умови перебування пасажирів шляхом надання розширеного асортименту послуг. Розміщення додаткових послуг в структурі комплексу надає чималий прибуток залізниці. Тип станції багато в чому обумовлює якісні (сценарії життєдіяльності) і кількісні (об'єми) характеристики пасажирських потоків, що локалізуються на ЗВК, і визначає основні вимоги до утилітарної складової архітектурно-містобудівної організації: функціонального наповнення, просторово-планувальної і комунікаційної структури. Взаємодія (кооперація) залізничного з іншими видами міжміського транспорту зумовлює розвиток особливих сценаріїв життєдіяльності пасажирів на об'єднаних вокзальних комплексах залізнично-автобусних, аеро-залізничних тощо).

Важливим також є місце розташування конкретного вокзального комплексу. Тоді на формування вокзалу будуть впливати: містобудівна категорія міста (за чисельністю населення і господарським профілем); особливості просторової організації зовнішнього транспортного вузла міста; характеристики міської транспортної підсистеми; особливості організації системи громадських центрів; композиційні характеристики міста; місце розміщення вокзального комплексу в зональній структурі міста. Сукупність вищезазначених чинників визначає такі характеристики ЗВК, як: просторово-планувальна організація (компактна, лінійна, блокова, змішана); структурна організація комунікаційної підсистеми (однорівнева і багаторівнева); функціональний склад і міра функціональної і просторової інтегрованості з прилеглою міською забудовою (висока, низька, середня); стилістичні особливості [7].

Кожен з визначених факторів впливає на організацію залізничних комплексів, що в свою чергу створює умови для проектування та реконструкції, де будуть враховані всі потреби даного міста чи регіону. На основі комбінаторного підходу було визначено складові, що також будуть формувати вокзал відповідно до проблем, що виникають та бажанні їх вирішення.

Архітектурно-планувальна організація вокзалів у великих містах базується на переліку основних груп приміщень, які у більшості громадських будівель схожі. Але своя специфіка у будівель вокзалів вимагає деяких особливостей у плануванні та розташуванні основних груп приміщень згідно функціональним потребам того чи іншого типу споруди (якщо це система з декількох терміналів) чи централізовано в одній будівлі вокзалу.

Вокзал включає пасажирську будівлю (будівлю вокзалу) і павільйони; пасажирські платформи (з навісами або без них); переходи через залізничні колії (вокзальні переходи) на одному або на різних рівнях; малі архітектурні форми та візуальну інформацію.

Окремий вокзал, у залежності від місцевих умов, може мати не всі перелічені вище складові елементи. Для кожного виду громадських будівель характерний свій функціонально-технологічний процес, на основі якого висуваються до проектування певні вимоги. Самі ж функціонально-технологічні процеси, вимоги до проектування впливають на формування нормативно-правових документів, що регулюють проектування та будівництво відповідних типів споруд. Функціонально-технологічні процеси, що протікають в громадських поділяються на дві групи: загальні й специфічні. До загальних процесів він відносив процеси, пов'язані різноманітною громадською або трудовою діяльністю людей, різноманітні види громадського обслуговування. Специфічні процеси властиві тільки одному певному роду діяльності людей, наприклад, лікувально-оздоровчої, навчально-виховної й ін.

Як і в інших будівлях громадського призначення всі приміщення можна розділити на п'ять груп: основного призначення – приміщення, в яких протікають основні функціональні процеси обслуговування пасажирів; допоміжного призначення – до цієї групи відносять ті приміщення, в яких протікають функціональні процеси другорядного значення, спрямовані на створення та забезпечення якісного та швидкого обслуговування, організації основних процесів; обслуговуючого призначення – об'єднують приміщення вхідних вузлів, медпункти, кафе, буфети та інші, тобто всі ті підрозділи, без яких є неможливим повноцінне функціонування будь-якої споруди громадського призначення; технічного призначення – передбачені для інженерного обладнання будівлі, що забезпечують роботу технічного обладнання. До них відносяться приміщення серверних, електрощитових, пожежних постів, вентиляційних камер і т. д.; комунікаційного призначення – коридори, сходово-ліфтові вузли. Функціональна й об'ємно-планувальна організація громадських будинків визначає площинний або просторовий взаємозв'язок їх приміщень. Цей взаємозв'язок забезпечується комунікаційними розподільними вузлами, приміщеннями й пристроями, основним функціональним призначенням яких є рух людей. Для здійснення зв'язку між різними групами приміщень в межах одного поверху будинку використовуються горизонтальні комунікації: коридори, галереї, рекреації, пасажі, проходи, сполучні переходи. Зв'язку між поверхами й рівнями забезпечуються вертикальними комунікаційними пристроями: сходами, пандусами, ліфтами, ескалаторами. Сполучною функціональною ланкою між горизонтальними й вертикальними комунікаціями на поверхах є сходові й ліфтові по поверхові холи, що виконують розподільні функції [1], [8].

Для допоміжних функціональних елементів вокзалу були обрані наступні комбінаторні елементи.

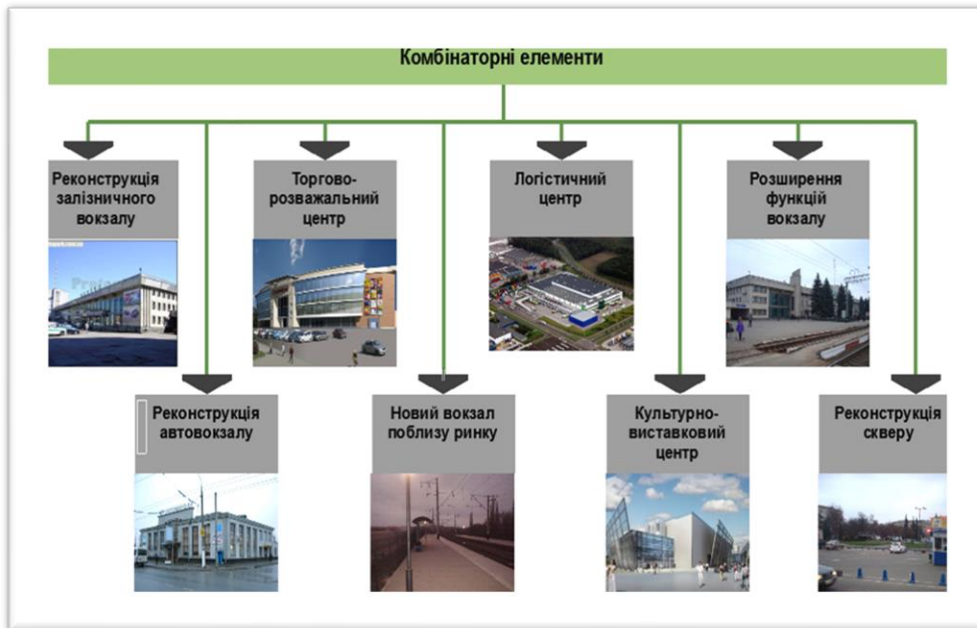


Рис.1. Елементи комбінаторики.

Саме ці елементи можуть створити оптимальну транспортну систему міста Житомир та запобігти можливим проблемам. Для цього необхідно розглянути різні варіанти їх поєднання та взаємозв'язку.

Пошук актуальних рішень визначається у трьох варіантах. Варіант I розглядає можливість поєднання таких функцій, як транспорт та розваги. Проблема, що розглядається у даному випадку - місту необхідно оновлення загального вигляду вокзалів обох транспортів, а також місце розваг для пасажирів. На основі цього обрано такі комбінаторні елементи:

- Реконструкція залізничного вокзалу – реконструкція зовнішнього вигляду існуючого залізничного вокзалу;
- Реконструкція автовокзалу – реконструкція зовнішнього вигляду існуючого автовокзалу;
- Торгово-розважальний центр – проектування нового торгово-розважального центру.

Реконструкція вокзалу та автовокзалу із влаштуванням розважального центру – таким результатом є I варіант поєднання комбінаторних елементів.

У варіанті II розглядається поєднання транспортної функції та торгівлі. Для даного випадку проблемою є необхідність оновлення загального вигляду головного вокзалу, не вистачає послуг станції біля ринку, немає місця для складів на ринку. Тут будуть використані такі елементи:

- Реконструкція залізничного вокзалу – реконструкція зовнішнього вигляду існуючого залізничного вокзалу;

- Новий вокзал поблизу ринку – проектування нового вокзалу поблизу ринку;
- Логістичний центр – проектування нового логістичного центру поблизу ринку.

Таким чином буде зроблена реконструкція старого та проектування нового вокзалів, новий логістичний центр, що розширить транспортні функції, а також зробить більш комфортною діяльність ринку.

Варіант III включає два функціональні компоненти - транспорт та культурний центр. У місті Житомирі немає виставкового комплексу, а також за рахунок великої кількості приїжджаючих на ринок не вистачає там вокзального приміщення. Тому складовими даного комбінаторного варіанту є:

- Реконструкція залізничного вокзалу – реконструкція зовнішнього вигляду існуючого залізничного вокзалу відповідно до потреби;
- Культурно-виставковий центр – проектування нового культурно-виставкового центру у вокзалі;
- Новий вокзал поблизу ринку – перенесення функцій вокзалу до нового поблизу ринку.

У даному випадку результатом буде реконструкція вокзалу із влаштуванням культурно-виставкового центру.

У свою чергу варіант IV об'єднує транспортну та рекреаційну функції. Тут проблема полягає у тому, що місту необхідно оновлення загального вигляду головного вокзалу, а також не вистачає сучасних функцій вокзалу. Сквер знаходиться у покинутому стані. Отже, складовими елементами комбінаторики у даному випадку будуть:

- Реконструкція залізничного вокзалу – реконструкція зовнішнього вигляду існуючого залізничного вокзалу;

- Розширення функцій вокзалу – додаток нових планувальних рішень (добудова, надбудова тощо);

- Реконструкція скверу – реконструкція скверу поблизу вокзалу.

Результатом впровадження даних елементів буде реконструкція скверу та старого вокзалу, розширення його функцій.

Дані комбінаторні варіанти можуть формувати окрему гілку у інфраструктурі міста. Тепер слід розглянути їх моделювання з різних рівнів міського середовища.

Моделювання нового об'єкту вокзалу базується на містобудівному попередньому аналізі

пропонованого місця будівництва, з можливістю подальшого розвитку та трансформації будівлі вокзалу згідно до поставлених задач [1].

У даному дослідженні доцільно провести моделювання на трьох рівнях. Перший з них – це моделювання на функціональному рівні (рис. 2.).

Варіант I, що включає транспорт та розваги, виражається у першій моделі, що включає дві реконструкції - залізничного вокзалу та автовокзалу з об'єднанням їх функцій. А також проектування нового торгово-розважального центру поблизу основних транзитів.

У варіант II (транспорт та торгівля) розглядається реконструкція існуючого залізничного вокзалу, проектування нового залізничного вокзалу біля ринку на основі станції, і влаштування логістичного центру поряд з ринком.

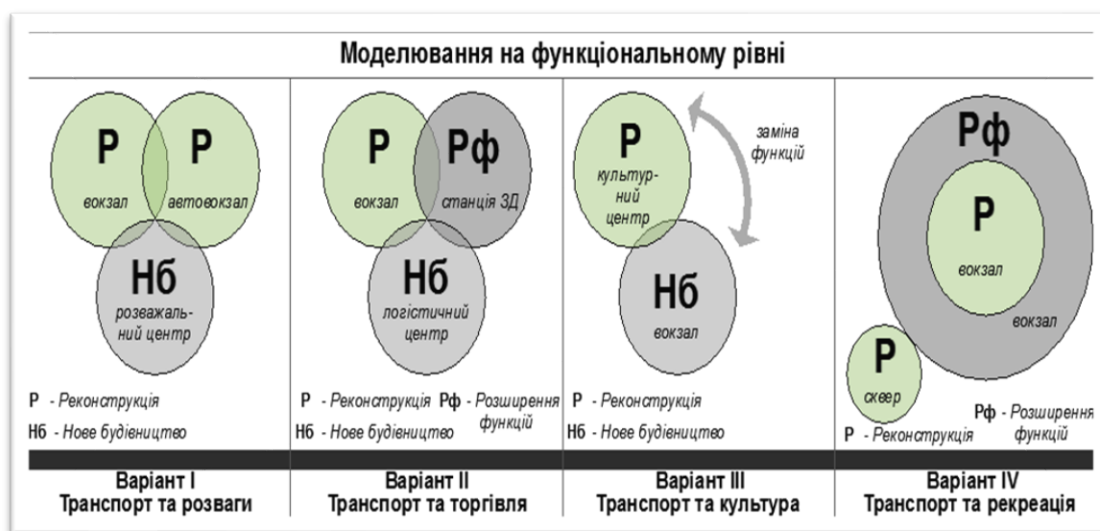


Рис. 2.2 Моделювання на функціональному рівні

У варіанті III, що об'єднує транспорт та культуру, відбувається перенесення залізничного вокзалу поза місто, а на його території пропонується влаштування культурно-виставкового центру у приміщенні старого вокзалу.

Варіант IV, а саме транспорт та рекреація, передбачає реконструкцію зовнішнього вигляду

існуючого залізничного вокзалу, додаток нових планувальних рішень (добудова, надбудова тощо) та проектування нового скверу поблизу вокзалу.

Інший рівень моделювання – містобудівний, що розглядає поєднання елементів у системі міста (рис 3).

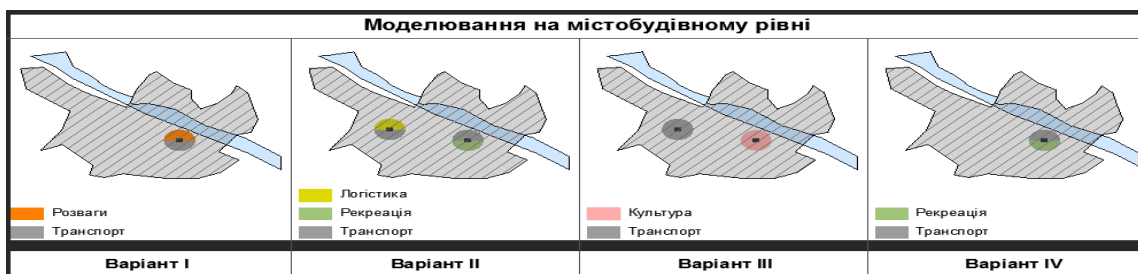


Рис.3. Моделювання на містобудівному рівні

На основі даних моделей можна зробити висновок, що у варіанті I послуги транспорту та розваг надаються близько до центру міста неподалік рекреаційної зони поблизу річки. У свою чергу у варіанті II простежується подвійність

активних точок: транспорт та рекреація близько центру міста, а також логістика та транспорт поблизу ринку. Варіант III відзначається існуванням активних точок, проте транспорт переноситься на периферію, а поблизу центру міста

з'являється культурно-виставкова функція. У варіанті IV до транспортної функції додається також рекреація, зважаючи на розміщення біля центру міста, а також неподалік річки.

Наступним рівнем є моделювання зв'язків між комбінаторними елементами (рис.4).

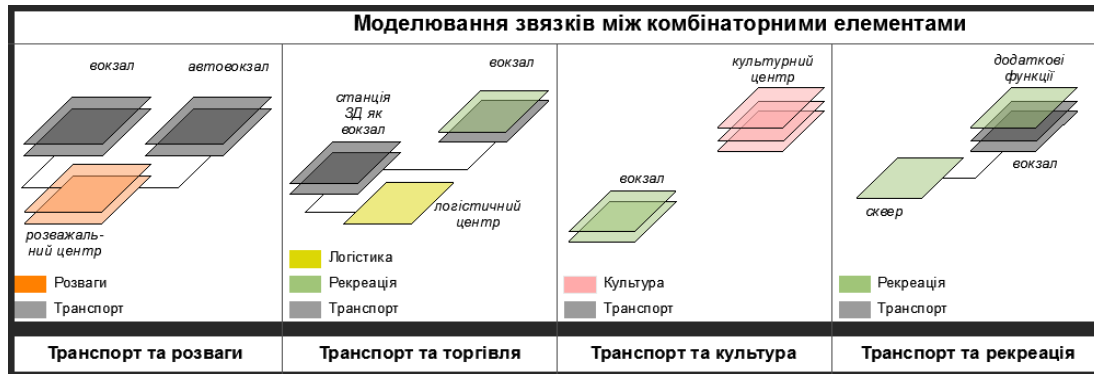


Рис.4. Моделювання зв'язків між комбінаторними елементами

У варіанті I розглядається зв'язок між транспортною функцією – реконструкція існуючого залізничного вокзалу, реконструкція існуючого автовокзалу, та розважальною – проектування нового торгово-розважального центру.

Варіант II демонструє зв'язок транспортної функції, що виражається у реконструкції існуючого залізничного вокзалу, з торгівельною – проектування нового залізничного вокзалу біля ринку, а також нового логістичного центру поряд з ринком.

У варіанті III розглянуто взаємозв'язки між транспортом та культурою – проектування нового залізничного вокзалу поза містом та влаштування культурно-виставкового центру у приміщенні старого вокзалу.

Варіант IV включає транспортну (реконструкція існуючого залізничного вокзалу та додаток нових планувальних рішень) та рекреаційну складові (проектування нового скверу поблизу вокзалу).

**Висновки.** Отже кожен з варіантів характеризується своїми особливостями та роллю у формуванні інфраструктури міста та може бути застосований відповідно до потреб, що виникають у даний період часу. Кожен з поєднаних елементів може бути доповнений та доданий у будь-якому порядку, відповідно до необхідності, що виникла. Таким чином, можливим є визначення основних архітектурно-планувальних характеристик.

#### Список використаної літератури

1. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. Учебник. Под

общ. ред. И.Е. Рожкина и А.И. Урбаха. – М.: Стройиздат, 1985. 544с.

2. Белоусова Наталья Сергеевна. Функционально-организационные характеристики транспортно-логистических комплексов и их элементов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://archvuz.ru/2006\\_3/10](http://archvuz.ru/2006_3/10).

3. Древаль І.В., Чинники формування і розвитку залізничних вокзальних комплексів. Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов № 101 (2011). – Харьков: ХНАГХ, 2011. С. - 552-555

4. Железнодорожный вокзал. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

5. Зейтун Ж. Организация внутренней структуры проектируемых архитектурных систем / пер. с франц. Л.Я. Хрустовой; под. ред. Э.П. Григорьева. – М.: Стройиздат, 1984. –160 с.

6. Иванов Г.П., Шур И.П., Коковихин И.Ю., Коковихина И.В., Шелехова Е.А. Железнодорожные вокзальные комплексы в период с XIX по XXI века.

7. Куцевич В.В. Методологічні основи проектування об'єктів соціо-культурного призначення//Перспективні напрями проектування житлових та громадських будівель: спеціальний випуск: зб. наук. праць. Сучасні тенденції в архітектурі та будівництві: – К.: КиївЗНДІЕП, 2003. – С. 30-32.

8. Промин Е.С. Теоретические основы архитектурной комбинаторики: Учеб. для в/зov: Спец. «Архитектура»/ Е.С Пронин. — М.: «Архитектура-С».2004. — 252 с: ил.

**Полозюк Сергій Юрійович**

магістрант 2 курсу, кафедри архітектури  
Факультет архітектури, будівництва та дизайну НАУ,  
м. Київ, Україна

**Мартинов Вячеслав Леонідович**

д.т.н., проф., професор кафедри архітектури  
Факультет архітектури, будівництва та дизайну НАУ,  
м. Київ, Україна

## РОЗВИТОК ТА ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ-КОМПЛЕКСІВ

**Анотація.** У статті аналізується історичний і сучасний досвід проектування енергоефективного житла, визначено актуальність проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів, а також про роль такої забудови. Описано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель.

**Ключові слова:** архітектура, енергоефективні будівлі, енергозбереження, енергоефективні технології.

**Вступ.** У наш час є великі можливості зменшення енергоспоживань будівель та зниження витрат на їх утримання, збереження екології за рахунок використання екологічної чистої енергії оточуючого середовища. Ці зниження є основною метою Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), яка полягає в зменшенні викидів вуглецю в світі на 77% проти прогнозованих даних на 2050 рік для досягнення стабілізованого рівня CO<sup>2</sup>, передбаченого Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). Важливою складовою у вирішенні цього завдання, вважають експерти МЕА, повинен стати перехід від будівництва звичайних будинків до будівництва енергоефективних житлових будівель та житлових комплексів. Найбільшу увагу експертів приділено проектуванню та будівництву енергоефективних житлових будівель та комплексів по всьому світу.

Енергоефективна житлова будівля - це будинок, який значною забезпечує себе енергією, мало не залежить від зовнішніх комунікацій, і, часто, сам може слугувати постачальником енергії. Це стає можливим завдяки раціональному використанню джерел тепла і енергії самої будівлі та комплексу і території навколо нього [1]. Проектування енергоефективної житлової будівлі, або комплексу - це комплексна робота, враховує різноманітний підхід, раціональний вибір теплозахисту огорожувальних конструкцій, вибір інженерного обладнання і ефективність використання поновлюваних джерел енергії.

Одна з найважливіших складових проектування такої будівлі забезпечення екологічного та ефективного життєвого циклу будівлі (рис. 1),

тобто така будівля, або комплекс спочатку має бути розрахований на певний термін експлуатації, бути найбільш енергетично ефективним протягом даного терміну, і бути безпечно знесений, не завдаючи своїм руйнуванням шкоди навколишньому середовищу. Таким чином, життєвий цикл будівлі спочатку визначений,

розрахований, і повинен бути забезпечений умовами експлуатації.

Проведено аналіз теоретичної бази досліджень з проектування енергоефективних будівель, визначено праці дослідників за наступними напрямками:

- з вивченням архітектури житла займалися: Л.Г. Бачинська, Т.М. Заславець, В.П. Король, О.О. Костюк, К.С. Чечельницька, Г.Д. Яблонська, Д.Н. Яблонський;

- проблеми архітектури багатоквартирного житла та комплексів висвітлені в роботах науковців: І.П. Гнеся, Л.М. Ковальського, В.І. Книша, В.В. Кудевича, В.П. Мироненка, І.Г. Новосад та ін.;

- проблеми енергозбереження в архітектурі України розглядалися дослідниками: С.Г. Буравченком, О.М. Печеником, Г.В. Казаковим, Т.О. Кашенко, Г.Н. Хавхун, Л.О. Шулдан, В.М. Симоненко та ін.;

- питання енергозбереження в будівництві – В.Ф. Гершковичем, В.Л. Мартиновим, О.В. Сергейчуком, Г.Г. Фаренюком, Є.Г. Фаренюком, Р.А. Фертом, Л.П. Хохловою, Г.Ф. Черних та ін.;

- характер впливу клімату на проектування будівель та питання інсоляції житлових приміщень досліджували: В.С. Буравченко, О.Б. Василенко, О.В. Сергейчук, І.Н. Скриль, П.І. Скриль, І.П.Козятник, І.І. Устінова, О.Г. Пивоваров, В.М. Симоненко. та ін. Аналіз попередніх досліджень свідчить про недостатність розгляду питання розвитку принципів енергоефективних житлових будівель та комплексів.

**Мета дослідження** проаналізувати історичний і сучасний досвід проектування енергоефективних житлових будівель, визначити основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів.

**Результати та обговорення дослідження** Середній життєвий цикл для енергоефективних будівель та комплексів становить 30-40 років.





Рис. 1. Ефективне енергоспоживання при експлуатації будівлі - запорука успішного забезпечення його життєвого циклу (за матеріалами ВСПУР (WBCSD))

Сучасний досвід проектування і будівництва будівель такого типу бере початок в 70-80-х роках ХХ століття, коли були побудовані дві всесвітньо відомі будівлі, що вважаються першими енергоефективними будівлями сучасного типу. Одна з них - це будівля «ECONO-HOUSE», побудована в 1973-1979 роках в місті Отаніємі, Фінляндія. У будівлі крім складного об'ємно-планувального рішення, що враховує особливості розташування і клімату, була застосована особлива система вентиляції, при якій повітря нагрівається за рахунок сонячної радіації, тепло якої акумулювалось спеціальними склопакетами і жалюзі. Пізніше доктор Вольфганг Файст,

засновник «Інституту пасивного будинку» в Дармштадті (Німеччина), і професор Бо Адамсон з Лундського університету (Швеція) запропонували концепцію «пасивного будинку», яка набула поширення у багатьох проєктах, в тому числі у відомому пасивного будинку в м. Дармштадті, побудованому в 1990 році. Найбільш цікаві приклади сучасних енергоефективних будівель можна знайти в Канаді, Німеччині, Фінляндії, США, Китаї та ОАЕ. Як приклад можна привести забудову району Еко-Вііккі У Гельсінкі, Фінляндія (рис. 2а) та проєкт нового будинку The Beaver Barracks Community Housing в Канаді (рис. 2б).



Рис. 2а Житловий будинок Еко-Вііккі (EkoViikki).

Рис. 2б. Житловий будинок The Beaver Barracks Community Housing.

Для умов Києва та інших великих міст України енергоефективне будівництво житлових будівель та житлових комплексів такого типу має велике значення, та надає можливості підвищити енергозбереження забудови уцілому. Перш за все, це пов'язано з компактністю планувань кварталів комплексів і використанням громадських просторів (для можливого розташування в них зимових садів або теплиць), а також з використанням прибудинкової території. Варто особливо відзначити, що в будівлях такого типу можна максимально ефективно використовувати замкнуту термічну (теплоізоляційну) оболонку, що охоплює комфортні зони[2]. Така оболонка включає в себе поліпшену теплоізоляцію стін, утеплення підвалу, покрівлі та інші заходи по створенню безперервного теплового контуру будівлі. У таких будівлях та житлових комплексах за рахунок правильного співвідношення кількості і розмірів,

особливостей конструкції світлових прорізів, орієнтованих на південну, південно-західну торону, можна домогтися пасивного сонячного обігріву приміщень. Також енергоефективним є використання вікон з подвійним склінням або з заповненням інертним газом. Разом із застосуванням системи природної вентиляції і кондиціонування такі житлові будівлі, або житлові комплекси стають дійсно енергоефективними. Принцип блокування даних будівель також дозволяє зберігати тепло, але вже на містобудівному рівні.

Щодо інженерних рішень, які можна ефективно застосовувати в житлових будівлях та житлових комплексах: застосування теплових насосів в системі гарячого водопостачання, застосування рекуператорів тепла в системі центральної механічної вентиляції, а також застосування сонячних фотоелектричних

установок для вироблення електричної енергії, і сонячних колекторів, що підігрівують воду для потреб опалення.

Комплексний підхід в проектуванні і в дослідженні енергетичних показників житлових будівель та комплексів, а також пошук правильних рішень оптимізації їх енергоефективності визначають рішення складних взаємопов'язаних завдань, які охоплюють три основні напрями [3]:

- організація мікроклімату приміщень будинку;
- мінімізація енергетичних витрат;

- економічність будівлі, раціональне витрачання матеріальних ресурсів.

Вибір оптимальної форми будівлі, його орієнтації і розташування, призначення площ світлових прорізів, управління мікрокліматом приміщень

дозволяють зменшити негативний вплив клімату на тепловий баланс житлової будівлі.[3]. Взаємозв'язок основних архітектурних та інженерних рішень, які повинні враховуватися при проектуванні енергоефективної житлової будівлі та житлового комплексу, показана на рис. 3.

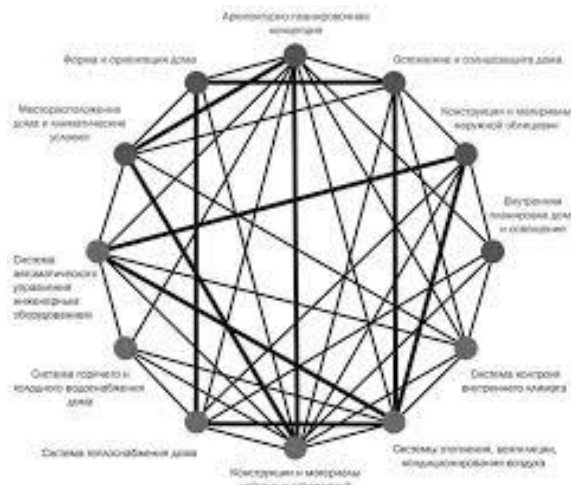


Рис. 3. Взаємозв'язок архітектурних та інженерних рішень в процесі проектування енергоефективної житлової будівлі та житлового комплексу

В Україні у 2017 році був прийнятий Закон про енергоефективність будівель, який визначає правові, соціально-економічні та організаційні основи діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель та спрямований на зменшення споживання енергії в будівлях. Цей закон визначає основні принципи державної політики України у цій сфері, а саме: забезпечення належного рівня енергетичної ефективності житлових будівель (комплексів) відповідно до технічних регламентів, національних стандартів, норм і правил; стимулювання зменшення споживання енергії в будівлях; забезпечення скорочення викидів парникових газів в атмосферу; створення умов для залучення інвестицій з метою здійснення заходів щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності будівель; забезпечення термомодернізації будівель, стимулювання використання поновлюваних джерел енергії; розробка і реалізація національного плану по збільшенню кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії.

На основі наведеного вище сформульовано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та житлових комплексів, а саме:

1) раціональний вибір енергозберігаючої форми будівлі і його правильна орієнтація по відношенню до сонця;

2) висока енергоефективність оболонки будівлі, тобто взаємозв'язок між конструктивними рішеннями дому та інженерними системами для досягнення високого рівня енергозбереження;

3) ефективна теплоізоляція будинку, конструювання без «мостів холоду»;

4) застосування енергоефективних конструктивних елементів і інженерних систем (стіни, які утримують тепло, ґрунтовий теплообмінник, система опалення, вентиляції, кондиціонування, подачі холодної і гарячої води і т.д.);

5) застосування механічної припливно-витяжної вентиляції для забезпечення нормального повітрообміну при установці герметичних енергоефективних вікон (подвійне застеклення або вікна з заповненням інертним газом);

6) пасивне використання сонячної енергії (системи сонячного опалення, застосування термічної маси, використання «парникового» ефекту зимового саду для опалення будинку);

7) ефективна система контролю над інженерними системами (теплові лічильники і термостатичні вентилі, лічильники гарячої води і т.д.);

8) комп'ютерна система управління і обліку тепло- і енергопостачання будинку, робота якої заснована на математичному моделюванні теплового балансу з урахуванням фактичного

енергетичного впливу зовнішнього клімату і внутрішніх тепловиділень;

9) застосування інженерних систем використання і перетворення енергії поновлюваних джерел (теплові насоси, сонячні колектори, фотоелектричні установки, вітрові генератори, приливні ГЕС та ін.)

10) правильне планування ділянки будинку із застосуванням

енергоефективних рішень (правильне використання рельєфу ділянки для збору дощових вод, ефективне зонування ділянки, організація ділянки в гармонії з природним місцевістю і ін.).

Особливу увагу при проектуванні житлових просторів енергоефективних будівель та житлових комплексів приділено природному освітленню. Широтна орієнтація енергоефективних житлових будівель та комплексів, велика площа скління південного фасаду, ліхтарі верхнього світла дозволяють при необхідності максимально ефективно «пропускати» сонячне світло всередину будівлі. Спеціальні «сонячні пастки» з використанням матеріалів з високою відбивною здатністю розраховані на транспортування в житлові приміщення енергії зимового сонця.

З точки зору містобудування - важливим методом підвищення енергоефективності житлової будівлі та комплексів при проектуванні є зміна його форми шляхом формування одного об'єкта з кількох блоків. Блокування дозволяє зменшити теплоспоживання будівлі внаслідок зменшення площі зовнішніх огорожувальних конструкцій до 50%, матеріаломісткості будівництва - на 8-10%, площі території, що забудовується - на 30-40%, скорочення довжини комунікацій, під'їзних шляхів і т.д. [7]. У практиці проектування блокування енергоефективних будівель та комплексів можливо як по горизонталі, так і по вертикалі. Найбільшого ефекту можна досягти при збільшенні числа освітлених внутрішніх граней щодо кількості заблокованих об'єктів. Цей висновок наочно демонструє приклад блокування будівель зі створенням внутрішнього двору. При відкритому дворі забезпечується зменшення площі зовнішніх поверхонь заблокованого будинку по відношенню до сумарної площі окремих об'єктів в 1,5 рази. Однак якщо внутрішній дворик перетворити в атриум, заклавши його зверху, то ефективність блокування може ще більше зрости, до 1,6 оскільки збільшується число внутрішніх граней [8].

Інженерне рішення таких будівель та має ключове значення. У енергоефективній житловій будівлі та комплексі з великою кількістю приміщень, що мають різну орієнтацію, враховується нерівномірність впливу сонячного випромінювання, а також протилежний вплив (швидкість і напрям вітру) зовнішнього середовища. Тому опалювальна система цього будинку розділена на самостійні зони відповідно до орієнтації по сторонах світу (особливо на північну і південну). Ізольований тепловий контур енергоефективний житловий будівель та комплексів

насамперед забезпечує мінімальні теплові втрати будівлі та комплексів за рахунок ефективної ізоляції та енергоефективних вікон.

Буферні зони (мобільні житлові зони на південній стороні, теплиці) за рахунок механізму нагріву-тепловіддачі-охолодження дозволяють взимку економити електроенергію на опалення за рахунок власної теплової віддачі в житлові приміщення безпосередньо (тепловіддача стін) або через систему вентиляції між приміщеннями, а також через сходовий проліт всередині будівлі.

Важливу роль в пасивному опаленні будівлі грають віконниці-жалюзі (також можливе використання рафштор), які знижують теплові втрати через вікна на 70%.

Природна вентиляція здійснюється за рахунок охолодження буферних зон (мобільні житлові зони на південній стороні, теплиці) які влітку нагріваються вдень, охолоджуються вночі, не даючи нагріватися внутрішнім приміщенням.

Вертикальна вентиляція, здійснювана через спеціальні регульовані отвори в конструкціях стін і переkritтів, дозволяє повітряним потокам переміщатися по всій будівлі, забезпечуючи охолодження і вентиляцію внутрішніх приміщень.

Також використовується система механічної вентиляції, що складається з двох систем провітрювання. Перша заснована на застосуванні пристроїв, які відкривають і закривають стулки вікна механічно (за допомогою електроприводу). Друга система передбачає застосування припливних пристроїв-клапанів, вбудованих в віконну конструкцію і забезпечують безперервний приплив свіжого повітря - так зване мікропровітрювання. Ця система дозволяє постачати приміщення повітрям з вулиці навіть при закритому вікні. Основа принципу дії пристроїв цієї групи - різниця руху повітряного потоку зовні і всередині будівлі, що виникає через вітер або внаслідок роботи природної витяжної вентиляції. При нормально функціонуючої в квартирі вентиляції клапан не дає повітрю застоюватися і позитивно діє на мікроклімат в приміщенні.

Кондиціонування поєднане з припливною вентиляцією. Повітря кондиціонує шляхом очищення в системі фільтрів різних конструкцій, підігрівається або охолоджується, зволожується або осушується і подається по системі повітроводів в приміщення. Застосовуються центральні кондиціонери.

Від центральних кондиціонерів повітря подається в приміщення. Енергетична ефективність таких кондиціонерів - близько 70%. Енергоефективна житлова будівлі та житлові комплекси забезпечується рекуператорами тепла - спеціального кліматичного обладнання, яке дозволяє нагрівати припливне холодне повітря за рахунок тепла відпрацьованого повітря приміщень. Рекуперативні теплообмінники вбудовуються безпосередньо в вентиляційну систему. Енергетична ефективність теплообмінників досягає 60%.

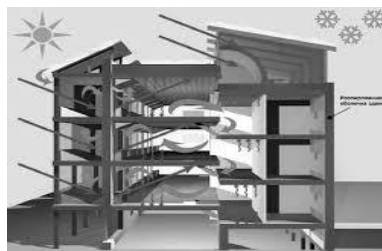
На рис. 4 графічно умовно показана робота систем опалення, вентиляції та кондиціонування в різні пори року[4].

При проектуванні енергоефективних житлових будівель, комплексів можливо

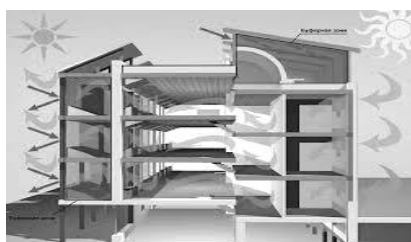
використовувати енергію поновлюваних джерел шляхом застосування сонячних колекторів для підігріву води та геотермального ґрунтового теплового насоса для потреб системи опалення.



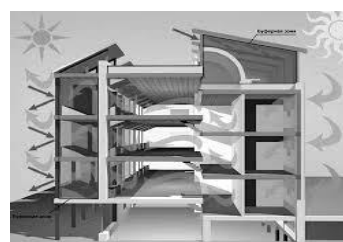
a) взимку в день;



b) взимку вночі



c) влітку в день



d) влітку вночі

Рис. 4 Робота інженерних систем і архітектурних рішень, спрямованих на енергозбереження в будинку протягом року.

Проектування енергоефективних житлових будівель - це складна комплексна робота багатьох фахівців, робота яких заснована на принципах максимального забезпечення енергоефективності, екологічності та економічної ефективності будівлі. У енергоефективній житловій будівлі або житловому комплексі забезпечити такі критерії представляється часом більш можливим, ніж в малоповерховій будівлі. З огляду на те, що власники енергоефективного житла спільно управляють будинком, можливий більш раціональний і вигідний для всіх підхід до витрат енергії, води і т.н. [7].

**Висновок** Проведено історичний аналіз розвитку сучасних енергоефективних житлових будівель та комплексів. Сформовано та описано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів. Визначено, що проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів на сьогоднішній день є одним з найбільш пріоритетних у сучасній архітектурі.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автономный дом. Солнечные батареи. Ветрогенераторы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sibdom.ru/publication/articles/36/698/> 402 Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 50. 2018
2. Афанасьева О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Дисс. канд. арх. наук / Московский архитектурный институт. М.: 2009.

3. Афинская хартия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://corbusier.totalarch.com/charte>.

4. Энергоактивные здания / Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей та ін; Під ред. Е. В. Сарнацький і Н. П. Селиванова. - М.: Стройиздат, 1988. - 376с.

5. У. А. Бекман, С. А. Клейн, Дж.А.Даффи. Розрахунок сонячного теплопостачання. - М.: Энергоіздат, 1982. - 79 с.

6. Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологічної системи» № 1, січень 2004р, Бумаженко О.В.

7. [www.sciteclibrary.com](http://www.sciteclibrary.com) Аналітичні огляди «Енергоефективне будівництво», Жуков Д.Д., Лаврентьев Н.А. «Теплопостачання будинків з використанням систем утилізації сонячної енергії», д.т.н. В. С. Степанов, професор; к.т.н. І. І. Айзенберг, доцент; к.т.н. Є. Е. Баймачев (В якості вихідної інформації використані результати експериментів, проведених авторами в м. Іркутську на власній моделі сонячного колектора (рис. 2. Додаток 3).

8. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективное здание - симбиоз мастерства архитектора и инженера // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - М., 2002. - №4. - С.22-23.17. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективное здание учебного центра / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин // АВОК : Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. - 2002. - № 5. - С. 10-21.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 51-74  
ГРНТИ 28.17.19

*Sabziev Elkhan Nariman oğlu*  
PhD in Physics and Mathematics,  
Leading scientific researcher,  
Institute of Control Systems of ANAS  
9, B.Vahabzade st., Baku- AZ1141, Azerbaijan

## MATHEMATICAL MODEL OF ADJUSTMENT OF CONTROL PARAMETERS FOR DRONE FLIGHT ALONG THE PLANNED FLIGHT PATH

*Сабзиев Эльхан Нариман оглы*  
кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт Систем Управления АНАН  
Азербайджан, Баку - AZ1141 ул. Б.Вахаизаде, 9

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТИРОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОЛЕТА ДРОНА ПО НАМЕЧЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ

**Summary.** In the paper, the modeling method has been offered and investigated for an adjusting the movement of an unmanned aerial vehicle (drone) based on navigation data. The constructed mathematical model is described in terms of distributed forces and is universal in nature. It allows determining the distributed control force, which within a short time offsets the deviation from the planned path. The proposed model is applied to solution of the problem of adjusting control parameters for quadcopter type drones. It is assumed that the design of a quadcopter is absolutely rigid, its propulsion systems (four identical motors that rotate propellers) are symmetrically located and rigidly fixed relative to its central part. The variation of the propeller rotation speed needed to control the quadcopter is calculated on the basis of data from navigation devices (gyroscopes and an accelerometer) that specify the Krylov angles. The numerical experiments allowed to estimate the values of suitable matching factors between the components of the angular velocity vector of the propellers and the rate of variation of pitch and roll angles.

**Аннотация.** В работе исследуется метод моделирования корректировки движения летательного аппарата (дрона) на основании навигационных данных. Построенная математическая модель описывается в терминах распределенных сил и носит универсальный характер. Она позволяет определить управляющее распределенное усилие, которое в пределах короткого времени компенсирует отклонение от намеченной траектории. Предложенная модель применена к задаче корректировки параметров управления для дронов типа квадрокоптера. Считается, что конструкция квадрокоптера абсолютно жесткая, его силовые установки (четыре идентичные моторы, вращающие пропеллеры) являются симметрично расположенными и жестко укреплены относительно его центральной части. Необходимое для управления квадрокоптером изменение частот вращения пропеллеров вычисляются на основе данных навигационных приборов (гироскопов и акселерометра), задающих углы ориентации Крылова. Проведенные численные эксперименты позволили оценить значения подходящих коэффициентов согласования между компонентами вектора угловой скорости пропеллеров и скоростью изменения углов тангажа и крена.

*Key words: mathematical model, coordinate system, Krylov angles, flight path, control, drone*

*Ключевые слова: контрольная область, рейтинговая оценка, формирование шкалы оценки.*

### Introduction

The widespread use of drones has led to numerous publications devoted to various aspects of controlling individual drones or a group of drones. The starting point of all these models is obviously the classical laws of mechanics, and one or another approach is used, depending on the design, control principles and the task, see e.g. [1-4].

The fulfillment of tasks by a drone naturally involves flying along a certain trajectory, which can be drawn by an operator or an automatic planning system relative to the earth.

A simplified model of drone movement results in its deviation from the planned trajectory under the influence of random external factors (wind, poor balance of the drone, etc.). It becomes necessary to adjust the flight movement to minimize the deviation along the entire flight path. Similar problems were considered, for instance, in [5-8]. In these studies, the orientation of the drone is set by Euler angles, and they are convenient to use in the computer simulation of a drone flight. However, currently widely used navigation devices installed on board drones calculate Krylov angles.

In this paper, the universal modeling method has been developed and investigated for drone movement adjustment based on processed sensor data, orientation and propeller speed of the propulsion systems. The coordinates of the location and current speed of the drone are determined on the basis of data from the gyroscopes and the accelerometer.

#### Problem statement

Suppose that a drone flies in such limited boundaries that in calculating its flight path, the curvature of the Earth can be neglected and a Cartesian coordinate system can be used to describe its position in space. Let us introduce the “earth-fixed” right-handed coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ , placing its origin at some point on the earth’s surface, directing the axes  $O_g x_g$  and  $O_g y_g$ , respectively, say, to the north and the west, and the axis  $O_g z_g$  upward vertically (perpendicular to the plane  $O_g x_g y_g$ ). It is known that at each time instant  $t$  considered, the position of a solid in space can be determined by six parameters: the spatial coordinates of the center of gravity  $x_g(t)$ ,  $y_g(t)$ ,  $z_g(t)$  and the angles that specify its orientation relative to the Earth’s fixed coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ .

Typically, operators set the planned flight path, which can be implemented in different ways, within the technical capabilities of the drone [9]. Depending on the flight mission, such a line can be parameterized in time in various ways. In this paper, we will assume that the flight path is plausibly parameterized and represented by the known functions  $x_p(t)$ ,  $y_p(t)$ ,  $z_p(t)$  set in the coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ .

When modeling the process of controlling the flight path adjustment, the following conditions are accepted:

The elements of the drone have a negligibly small impact on its flight qualities, and the design of the drone is considered absolutely rigid;

At each instant  $t_0$ , the current coordinates  $x(t_0)$ ,  $y(t_0)$ ,  $z(t_0)$  and the flight speed  $x'(t_0)$ ,  $y'(t_0)$ ,  $z'(t_0)$  can be determined based on sensor data;

Within a limited time, the impact of external factors is systematic, and the drone mass  $m$  remains unchanged.

**Problem:** Given the planned flight path  $\mathcal{L}_p = \{x_p(t), y_p(t), z_p(t)\}$ , the mass of the drone  $m$ , the current location  $\{x(t_0), y(t_0), z(t_0)\}$  and the flight speed  $\{x'(t_0), y'(t_0), z'(t_0)\}$  at moment  $t_0$ . Find the distributed control force  $\Delta \mathbf{F}$ , which within a short time  $\Delta t$  compensates for the cumulative deviation from the planned path.

A quadcopter of symmetrical shape will be considered as a specific type of drone. Since the air flow created by the propulsion systems is directed downward and the lifting force is directed perpendicularly upward, when implementing the compensation  $\Delta \mathbf{F}$ , it is necessary to tilt the drone during the maneuver, adjusting the angular rotation velocities of the propellers.

When solving the problem of adjusting the drone’s flight, it will be necessary to know the drone’s

orientation in space. The yaw angle  $\varphi(t)$ , the pitch angle  $\vartheta(t)$ , and the roll angle  $\gamma(t)$  are taken as the angles of current orientation [10]. The setting of these six functions completely determines the trajectory and orientation of the aerial vehicle.

Analysis of the impact of the forces acting on the drone

Let us introduce the drone-fixed coordinate system  $Oxyz$ . The origin is located at some arbitrary point, usually the center of gravity of the drone. The axes  $Ox$ ,  $Oy$  and  $Oz$  are directed so that at the starting moment of flight they are parallel to the axes  $O_g x_g$ ,  $O_g y_g$  and  $O_g z_g$ .

Suppose  $\{\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots\}$  denotes the set of all forces that act on the drone. These include the drone’s gravity, the lift generated by the drone’s propulsion systems, aerodynamic drag, gyroscopic forces, Coriolis force [8], etc. As is known [11, P.234], all forces acting on a solid can be reduced to one resultant force  $\mathbf{F}$  and the resulting moment  $\mathbf{M}$  applied to its center of gravity.

Each force  $\mathbf{F}_k$  creates torque relative to the drone’s center of gravity. The moment of force will change depending on the drone specific design features (for instance, tricopter drones with a propulsion system rotating around an axis located at an angle to the direction of thrust), on the orientation of the drone in space during flight (the gravity of the drone is always directed along the earth vertical axis).

Suppose  $\{\alpha_k^{(1)}, \alpha_k^{(2)}, \dots\}$  denotes the parameters determining the arm of force  $\mathbf{F}_k$  relative to the center  $O$ . For instance, the coordinates of the points of force application and the Krylov angles [10, P.9] of its orientation in space can act as these parameters. Obviously, the formula for calculating the arm of force, depending on its nature, can be described analytically. Let us denote this arm by  $R_k(\alpha_k^{(1)}, \alpha_k^{(2)}, \dots)$ . Then the resulting force and torque created by the forces  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots$  are calculated, respectively, from the formulas:

$$\mathbf{F} = \sum_{k \geq 1} \mathbf{F}_k,$$

$$\mathbf{M} = \sum_{k \geq 1} \mathbf{F}_k R_k(\alpha_k^{(1)}, \alpha_k^{(2)}, \dots), \quad (1)$$

It should be noted that when the resulting force is different, due to the specific design features of the drones, the resulting moment  $\mathbf{M}$ , in the general case, can depend nonlinearly on  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots$ . Since the problem of adjusting deviations occurring over a short period of time in the following paragraphs has been considered, the nonlinearity of dependence (1) can be neglected and it can be assumed that during this period the values of  $R_k(\alpha_k^{(1)}, \alpha_k^{(2)}, \dots)$  remain constant.

Determining the resulting control vector

In accordance with the statement of the problem, it is need to determine a distributed control force  $\Delta \mathbf{F}$  such that the deviation from the flight path is compensated for over a sufficiently small  $\Delta t$  time period. Since  $\Delta t$  is a fairly short time, the adjusting force can be realized as a vector  $\Delta \mathbf{F} = (\Delta F_x, \Delta F_y, \Delta F_z)$



with constant components  $\Delta F_x, \Delta F_y, \Delta F_z$ . Denote  $\Delta x = x(t) - x_p(t)$ ,  $\Delta y = y(t) - y_p(t)$ ,  $\Delta z = z(t) - z_p(t)$ . Then the system of equations for the compensating term of the flight path is written in the form:

$$\begin{cases} m\Delta x''(t) = \Delta F_x, \\ m\Delta y''(t) = \Delta F_y, \\ m\Delta z''(t) = \Delta F_z. \end{cases} \quad (2)$$

Here, initial condition (3) will represent the detected deviation at  $t_0$ , and condition (4) – the fact of compensation for this deviation over time  $t_0 + \Delta t$ :

$$\begin{cases} \Delta x(t_0) = x_p(t_0) - x(t_0), \\ \Delta y(t_0) = y_p(t_0) - y(t_0), \\ \Delta z(t_0) = z_p(t_0) - z(t_0), \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Delta x(t_0 + \Delta t) = 0, \\ \Delta y(t_0 + \Delta t) = 0, \\ \Delta z(t_0 + \Delta t) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

System (2) - (4) can be supplemented with the condition that the deviation compensation rate be equal to zero:

$$\begin{cases} \Delta x'(t_0 + \Delta t) = 0, \\ \Delta y'(t_0 + \Delta t) = 0, \\ \Delta z'(t_0 + \Delta t) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Solving problem (2)-(5), the values of the components of the control vector  $\Delta \mathbf{F}$  has been obtained:

$$\begin{cases} \Delta F_x = \frac{2m}{\Delta t^2} (x_p(t_0) - x(t_0)), \\ \Delta F_y = \frac{2m}{\Delta t^2} (y_p(t_0) - y(t_0)), \\ \Delta F_z = \frac{2m}{\Delta t^2} (z_p(t_0) - z(t_0)). \end{cases} \quad (6)$$

As mentioned above, the propulsion systems of the drone are located in different points of the drone, depending on the technological solution and specific design features. Therefore, if, on the one hand, a change in the forces of the propulsion systems creates excess torque (e.g. drones with fixed propulsion systems), then, on the other hand, a change in the torque and redistribution of the components of the resulting force relative to the earth can be the result of a rotation of the axes of the propulsion systems (e.g. tricopter type drones [1]). It will be reflected in the variation of the corresponding angles  $\{\alpha_k^{(1)}, \alpha_k^{(2)}, \dots\}$ . Thus, for the drone to offset its deviation along the planned trajectory, it is necessary that the propulsion systems of the drone, within the limits of their capabilities, change the generated forces  $\mathbf{F}_k^*$  so that the following condition is satisfied:

$$\sum_{k \geq 1} (\mathbf{F}_k^* - \mathbf{F}_k) = (\Delta F_x, \Delta F_y, \Delta F_z).$$

Ensuring a quadcopter's stable flight mode

The description and mathematical model of the movement of a typical quadcopter have been studied in various sources [2, 3, 12, 13]. The propulsion systems of quadcopters are four identical propeller-rotating motors symmetrically and rigidly fixed relative to the central hardware component of the drone. For clarity, we number them from 1 to 4 in the counterclockwise direction around the center of the drone (Figure 1).

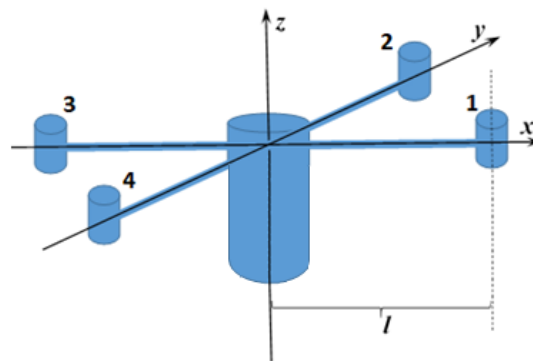


Figure 1. Quadcopter schematic

Let us introduce the bound right-handed Cartesian coordinate system  $Oxyz$  with the origin in the center of the quadcopter. Suppose the propulsion systems are located in the points

$$(l, 0, 0), (0, l, 0), (-l, 0, 0), (0, -l, 0). \quad (7)$$

Let us number them in the order indicated in (7) and assume that propellers 1 and 3 create a moment in the clockwise direction, and 2 and 4 in the opposite direction. If it is assumed that the mass of the

quadcopter is concentrated only on the segments connecting the center of the drone and the point (7), then its inertia matrix will be diagonal, with elements  $J_{xx}, J_{yy}, J_{zz}$  [14, P.18].

Suppose  $\omega_i(t)$  denotes the rotation speed of the  $i$ -th propeller at the instant  $t$ . The task of controlling the flight of the drone along the planned path involves determining new values of  $\omega_i^*(t)$ , which contribute to the variation of the components of the generated force by values (6). The input information for solving this

problem is at the time  $t_0$  the rotation velocities of all propellers  $\omega_i(t_0)$ , ( $i = 1,2,3,4$ ), the current yaw angle  $\varphi(t_0)$ , the pitch angle  $\vartheta(t_0)$  and the roll angle  $\gamma(t_0)$  and the components of force (6). Let the pitch and roll angles vary within the interval  $(-\pi/2, +\pi/2)$ .

Due to the smallness of the angular acceleration of the drone during maneuvering and the smallness of gyroscopic forces and Coriolis force arising during rotation, they can be neglected. According, for instance, to [13, P.3], the  $i$ -th propeller creates thrust and torque relative to its rotation axis

$$f_i = k\omega_i^2, \mathfrak{S}_i = b\omega_i^2,$$

where  $k$  and  $b$  are the known coefficients determined experimentally for a particular type of

$$A(\gamma) \equiv \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_\gamma & -S_\gamma \\ 0 & S_\gamma & C_\gamma \end{pmatrix}, A(\vartheta) \equiv \begin{pmatrix} C_\vartheta & 0 & -S_\vartheta \\ 0 & 1 & 0 \\ S_\vartheta & 0 & C_\vartheta \end{pmatrix},$$

$$A(\varphi) \equiv \begin{pmatrix} C_\varphi & -S_\varphi & 0 \\ S_\varphi & C_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

where  $C_\xi \equiv \cos \xi$ ,  $S_\xi \equiv \sin \xi$  are denoted for brevity. Since force  $\mathbf{F}$  generated by the propellers is always directed along the axis  $Oz$ , then the following representation can be written for it in the coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ :  $\mathbf{F} = F(-S_\vartheta, -S_\gamma C_\vartheta, C_\gamma C_\vartheta)$ . Let us denote

$$\mathcal{F} = (\Delta F_x - S_\vartheta F, \Delta F_y - S_\gamma C_\vartheta F, \Delta F_z + C_\gamma C_\vartheta F). \quad (12)$$

In order for the quadcopter to offset its deviation from the planned trajectory, the propulsion systems must change the rotation speed of the propellers by some values  $\omega_i^*(t)$ , ( $i = 1,2,3,4$ ) to:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \gamma^* = -\frac{\Delta F_y - S_\gamma C_\vartheta F}{\Delta F_z + C_\gamma C_\vartheta F}, \\ \operatorname{tg} \vartheta^* = \frac{\Delta F_x - S_\vartheta F}{(\Delta F_y - S_\gamma C_\vartheta F) C_\gamma^*}, \\ \varphi^* = \varphi. \end{cases}$$

These angles, over a short period of time  $\Delta t$  can be implemented by changing angles  $\{\varphi, \vartheta, \gamma\}$  at the rate of  $\{v_\varphi = 0, v_\vartheta = \kappa_\vartheta \frac{\vartheta^* - \vartheta}{\Delta t}, v_\gamma = \kappa_\gamma \frac{\gamma^* - \gamma}{\Delta t}\}$ , where the coefficients  $\kappa_\vartheta$  and  $\kappa_\gamma$  can be determined experimentally. Then the angular velocity vector  $\mathbf{v}_g$  relative to the coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ , accordingly [14, P.164], is

$$\mathbf{v}_g = \begin{pmatrix} v_{gX} \\ v_{gY} \\ v_{gZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_\gamma C_\varphi C_\vartheta + v_\vartheta S_\varphi \\ v_\gamma S_\varphi C_\vartheta - v_\vartheta C_\varphi \\ v_\gamma S_\vartheta \end{pmatrix} \quad (13)$$

Successively applying the transformations  $A(\varphi)$ ,  $A(\vartheta)$  and  $A(\gamma)$  to (13), the representation for the

propulsion system. Total force  $F$  and torques  $M_{Ox}$ ,  $M_{Oy}$ ,  $M_{Oz}$  generated by the propellers relative to the axes  $Ox$ ,  $Oy$  and  $Oz$ , respectively, will be [11, P.138, §11]:

$$F = \sum_{i=1}^4 f_i = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad (8)$$

$$M_{Ox} = f_2 l - f_4 l = kl(\omega_2^2 - \omega_4^2), \quad (9)$$

$$M_{Oy} = f_3 l - f_1 l = kl(\omega_3^2 - \omega_1^2), \quad (10)$$

$$M_{Oz} = \mathfrak{S}_1 - \mathfrak{S}_2 + \mathfrak{S}_3 - \mathfrak{S}_4 = b(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2), \quad (11)$$

Transformation matrices corresponding to the rotation by the set  $\{\varphi, \vartheta, \gamma\}$  are the matrices [10, P.42]

(A) create a force equal in modulus to  $|\mathcal{F}|$ , on the one hand, and

(B) tilt it in the direction of the vector  $\mathcal{F}$  relative to the coordinate system  $O_g x_g y_g z_g$ .

It is easy to calculate the necessary angles  $\{\varphi^*, \vartheta^*, \gamma^*\}$  providing an inclination of direction of the axis  $Oz$  along  $\mathcal{F}$ . It is clear that the yaw angle  $\varphi$  is not involved in representation (12), therefore, it can be considered unchanged during the adjustment maneuver. Thus, next formulas have been written below:

angular velocity vector in the coordinates of the bound coordinate system  $Oxyz$  has been obtained below:

$$\begin{pmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{pmatrix} = A(\gamma)A(\vartheta)A(\varphi) \begin{pmatrix} v_{gX} \\ v_{gY} \\ v_{gZ} \end{pmatrix}.$$

Further, taking into account the above assumptions and following [14, P.167], next formulas for calculating the torques have been obtained

$$\begin{cases} M_{Ox} = J_{xx} v_X, \\ M_{Oy} = J_{yy} v_Y, \\ M_{Oz} = J_{zz} v_Z. \end{cases}$$

Now, based on (8) - (11), conditions (A) and (B) will be rewritten as follows:

$$\begin{cases} (\omega_1^*)^2 + (\omega_2^*)^2 + (\omega_3^*)^2 + (\omega_4^*)^2 = \frac{1}{k} |\mathcal{F}|, \\ (\omega_2^*)^2 - (\omega_4^*)^2 = \frac{J_{xx}}{kl} v_X, \\ (\omega_3^*)^2 - (\omega_1^*)^2 = \frac{J_{yy}}{kl} v_Y, \\ (\omega_1^*)^2 - (\omega_2^*)^2 + (\omega_3^*)^2 - (\omega_4^*)^2 = \frac{J_{zz}}{b} v_Z. \end{cases} \quad (14)$$

The main determinant of the system (14)  $\Delta = 8$ , therefore all  $\omega_i^*(t)$ , ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) are determined uniquely.

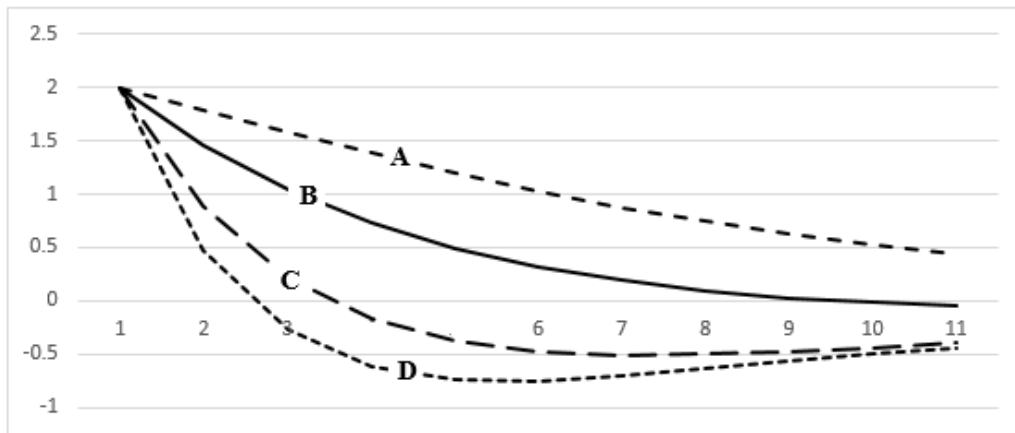


Figure 2. Diagram of deviation compensation at  $\kappa_\gamma = 6.2$  for different values of  $\kappa_\theta$ : (A)  $\kappa_\theta = 3.0$ ; (B)  $\kappa_\theta = 6.0$ ; (C)  $\kappa_\theta = 9.0$ ; (D)  $\kappa_\theta = 10.0$ .

A software module has been developed for estimating the coefficients  $\kappa_\theta$  and  $\kappa_\gamma$ . Our experiments conducted for the case  $k = 1.5 \times 10^{-5}$  and  $b = 0.5 \times 10^{-6}$  have demonstrated that the coefficients  $\kappa_\theta$  and  $\kappa_\gamma$  can be taken within the interval (5, 7). Fig. 2 shows the plots of deviation compensation for different values of  $\kappa_\theta$ , at  $\kappa_\gamma = 6.2$ . The horizontal axis shows time, in 100 milliseconds, the vertical – deviation from the flight path, in meters. Similar plots are obtained for different values of  $\kappa_\gamma$  at  $\kappa_\theta \in (5, 7)$ .

#### Results

A mathematical model has been developed and proposed for determining the distributed control force, which compensates for the deviation from the planned flight path within a short time. The proposed model is applied to the problem of adjusting control parameters for quadcopter type drones, which are calculated based on feedback from sensors that specify orientation angles in Krylov angles. Numerical experiments have been carried out, and the values of the suitable matching factors between the components of the angular velocity vector and the rate of variation of pitch and roll angles have been estimated.

#### References

1. Tikhonov N.O., Lepikhin T.A., Zhabko N.A. Mathematical Modelling of Tricopter // Proceedings of the II International scientific conference "Convergent cognitive information technologies" (Convergent'2017), Moscow, Russia, November 24-26, 2017, P. 335-340.
2. Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером // Электронный научно-

технический журнал "Инженерный вестник", Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им.Н.Э.Баумана". Эл № ФС77-51036, 2014, С. 522-534. [Guryanov A.Y. Quadcopter control modeling // Inzhenerniy Vestnik Electronic Scientific and Technical Journal, FGBOU VPO N.E. Bauman MSTU. E-No FS77-51036, 2014, P. 522-534]. (in Russian)

3. Савицкий А.В., Павловский В.Е. Модель квадрокоптера и нейросетевой алгоритм управления // Препринты ИПМ им.М.В.Келдыша. 2017, № 77, 20 С. doi:10.20948/prepr-2017-77. [Savitskiy A.V., Pavlovskiy V.Y. Quadcopter model and neural network control algorithm // KIAM Preprints. 2017, № 77, 20 P. doi:10.20948/prepr-2017-77]. (in Russian)

4. Pashayev A.B., Sabziev E.N., Alizada T.A. Mathematical modeling of the performance of aerobatic figures by a group of drones during joint flight // Informatics and Control Problems, Vol.39, Issue 1 (2019), P. 64-70.

5. Mellinger D., Michael N., Kumar V. Trajectory generation and control for precise aggressive maneuvers with quadrotors // Experimental Robotics. – Springer Berlin Heidelberg, 2014. P. 361–373.

6. Гэн К., Чулин Н.А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера // Наука и Образование. МГТУ им.Н.Э.Баумана. Электронный журнал. 2015, № 05, С. 218-235. [Gen K., Chulin N.A. Stabilization algorithms for automatic control of the quadcopter trajectory movement // Nauka i Obrazovaniye. N.E. Bauman MSTU. Electronic journal. 2015, № 05, P. 218-235]. (in Russian)

7. Логачев В.Г., Минин И.В. Метод стабилизации положения и управления квадрокоптером в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11 (часть 1) С. 85-91. [Logachev V.G., Minin I.V. A method of stabilizing the position and controlling a quadcopter in space using data from inertial and visual sensors // *Fundamentalnie Issledovaniya*. 2015. № 11 (Part 1) P. 85-91]. (in Russian)
8. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira. Modeling, Identification and Control of a Quadrotor Aircraft. Master's Thesis. Czech Technical University, Prague. 2011. 75 P.
9. Яковлев К.С., Макаров Д.А., Баскин Е.С. Метод автоматического планирования траектории беспилотного летательного аппарата в условиях ограничений на динамику полета // *Искусственный интеллект и принятие решений*. № 4, 2014, С. 3-17. [Yakovlev K.S., Makarov D.A., Baskin Y.S. A method of automatic planning of the flight path of an unmanned aerial vehicle under conditions of restrictions on flight dynamics // *Iskusstvenniy Intellekt i Prinyatie Resheniy*. № 4, 2014, P. 3-17]. (in Russian)
10. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. ГОСТ 20058-80. Москва, 1980, 52 С. [Dynamics of aerial vehicles in the atmosphere. Terms, definitions and designations. GOST 20058-80. Moscow, 1980, - 52 P]. (in Russian)
11. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Кинематика, статика, динамика материальной точки. Ч.1. М.: Наука, 1965, 468 С. [Buchholz N.N. The basic course theoretical mechanics. Kinematics, statics, dynamics of a material point. Part 1. M.: Nauka, 1965, 468 P]. (in Russian)
12. Alderete T.S. "Simulator Aero Model Implementation" NASA Ames Research Center, Moffett Field, California. P. 21. <https://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/publications/hitl/rtsim/Toms.pdf>
13. Luukkonen T. Modelling and Control of Quadcopter. School of Science, Espoo, August 22, 2011. P. 26. [https://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11\\_public.pdf](https://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11_public.pdf)
14. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Динамика системы материальных точек. Ч.2. М.: Наука, 1966, 332 С. [Buchholz N.N. The basic course theoretical mechanics. Dynamics of a system of material points. Part 2. M.: Nauka, 1966, 332 P]. (in Russian)

**Буй Ван Туен (Bui Van Tuyen)**

*Master, faculty of civil construction*

*Van Lang University - Ho Chi Minh city – Vietnam*

**Чу Донг Сюань (Tu Dong Xuan)**

*Doctor, faculty of civil construction*

*Van Lang University*

*Ho Chi Minh city - Vietnam*

## ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОНУ, ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

**Анотація.** В статті відзначено, що для будівництва доріг і благоустрою території у всьому світі застосовують асфальтобетон, що дає якісне і довговічне покриття. Асфальтобетон є надзвичайно популярним матеріалом який використовується в сучасній будівельній галузі. Відзначно, що може бути отриманий додатковий ефект від отримання нових знань про процес виробництва асфальтобетонної суміші. Так, якщо присутні і деякі показники компонентів асфальтобетонної суміші, і показники якості готової продукції, то за допомогою розробленої математичної моделі є можливість досліджувати статистичні технологічні залежності виду  $\omega_m - \varphi(v_i)$  і отримати моделі технологічного процесу виробництва асфальтобетонної суміші, які можуть бути використані в тому числі і для підвищення ефективності управління виробництвом.

В статті реалізовано та запропоновано підхід на самому верхньому рівні пропонованої системи управління. В даний час закінчується розробка автоматизованої системи управління виробництвом асфальтобетону, в якій реалізується викладений в даній статті підхід, заснований на розширенні поняття об'єкта управління за межі АБЗ і включенні в контур управління транспорт, укладання і навіть експлуатацію готового асфальтобетонного покриття.

**Ключові слова:** автоматизація, асфальтобетон, управління транспорту, покриття, управління виробництвом, підвищення управління.

Для будівництва доріг і благоустрою території у всьому світі застосовують асфальтобетон, що дає якісне і довговічне покриття. Асфальтобетон є надзвичайно популярним матеріалом який використовується в сучасній будівельній галузі. Його відносна недорога вартість матеріалу поряд з оптимальними характеристиками дозволяють

використовувати асфальтобетон як верхнє дорожнє покриття. Асфальтобетон досить міцний і надійний матеріал, тому виготовлення асфальту, будівництво заводів з виробництва асфальтних сумішей - один з перспективних напрямків бізнесу. Виробництво асфальту в Україні ще довго буде залишатися одним з найприбутковіших видів бізнесу. Сьогодні

будівництво та проектування асфальтових заводів тільки набирає хід. Розвиток галузі асфальтового виробництва є одним із пріоритетних завдань транспортної сфери будівельного сектора і економіки країни в цілому.

Локальні системи управління технологічним процесом виробництва асфальтобетонної суміші знаходяться на найнижчому рівні ієрархії і забезпечують функціонування технологічного обладнання. У більшості випадків на багатьох заводах штатні електромеханічні системи дозування та управління вже непрацездатні.

Всі ці системи управління реалізовані на сучасному рівні з використанням мікроконтролерів і забезпечують функціонування технологічного обладнання асфальтобетонного заводу (АБЗ). Але вони не забезпечують оперативного управління виробництвом з метою стабілізації якості продукції. Це пов'язано зі складністю об'єкта управління.

Виробництво асфальтобетонної суміші як об'єкт управління характеризується рядом особливостей:

Він являє собою суміш природних мінералів і дорожнього бітуму. Натуральні складові забезпечують міцність покриття, а бітум пов'язує їх в єдину консистенцію. Технологія його укладання практично не відрізняється в різних країнах, але якість дорожнього покриття залежить від сучасних компонентів, які додають або не додають в асфальтову суміш. Приготування асфальто бетону виробляється з високоякісних матеріалів, що відповідають державним стандартам. Виходячи з передбачуваних навантажень, клімату та інших умов експлуатації асфальтобетонної суміші, необхідно дотримуватися необхідних показників міцності, щільності, стійкості до води і до можливих зрушень.

асфальтобетон є багатокомпонентної структурою, на кінцеві властивості якого впливають: якість проекту покриття автомобільної дороги; властивості компонентів асфальтобетонної суміші; рецептура і структура суміші; технологія виробництва, технологія транспортування суміші від АБЗ до об'єкта, технологія укладання і ущільнення суміші;

не існує строгого математичного опису зв'язків між вимірними фізичними параметрами суміші і експлуатаційними властивостями. Для них можна провести лише якісне оцінювання та прогнозування;

використання компонентів асфальтобетону з нестабільними параметрами призводить до варіації властивостей суміші. Більшість розроблених методик визначення параметрів суміші і технологічного процесу засновані на обчисленні середніх значень, що не може гарантувати виробництва асфальто-бетону зі стабільними значеннями параметрів;

практично відсутня придатна для цілей управління теорія мування властивостей

асфальтобетонної суміші як функції від властивостей котрі нентов, рецептури і параметрів.

на АБЗ є лабораторії, але їх приладове і методологічне забезпечення не орієнтоване на оперативне управління технологічним процесом, а тільки забезпечує атестацію виробленої суміші більшість АБЗ є притрасові і розташовані в польових умовах.

Незважаючи на зазначені труднощі в останні роки з'явилися результати досліджень, успішно розвивають управління виробництвом для АБЗ. Важливим кроком у побудові систем управління якістю асфальтобетону є робота, в якій запропонована ідея пошуку екстремуму зв'язку міцності асфальтобетону з витратою бітуму. Однак в ній не досліджені методи пошуку екстремуму функції, не проведено оцінку області застосування і ефективності запропонованого способу. Цей підхід отримав певний розвиток за рахунок запропонованого методу пошуку екстремуму зв'язку "міцність - витрата бітуму". Відсутність контури управління з обурення знижує загальну ефективність такого управління.

Мета робіт полягала в розробці теоретичних основ управління виробництвом асфальтобетонної суміші. Було показано, що автоматизоване управління компенсує обурення, що впливають на технологічний процес. В результаті досліджень створена автоматизована система оптимального управління, яка забезпечує максимальні міцнісні та інші експлуатаційні характеристики асфальто бетонної суміші.

У цих роботах розглянуті питання побудови системи управління як по обуренню (з прямим зв'язком), так і по відхиленню (зі зворотним зв'язком). Аналітичною основою управління зерновим складом є регламентовані характеристики розподілів розмірів зерен мінеральної складової, які виражаються через повні залишки на ситах. За результатами розсіву мінерального порошку, піску і щебеню різних фракцій визначаються такі дози мінеральних компонентів, при яких квадрат відхилення повних залишків на ситах від регламентованих значень буде мінімальним. Цільовою функцією оптимізації в цьому випадку буде середньоквадратичне відхилення фактичного розподілу розмірів зерен  $F_l(D)$  в мінеральній складової від регламентованого розподілу  $F_r(D)$  по  $m$  ситам

$$\sigma(M, S, G) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (F_r^i(D) - F_l^i(D))^2}{m}}. \quad (1)$$

де  $M$  — витрата мінерального порошку;

$S$  — витрата піску;

$G$  — витрата щебеню.

Тоді оптимальні частки мінеральних компонентів обчислюються з системи рівнянь:

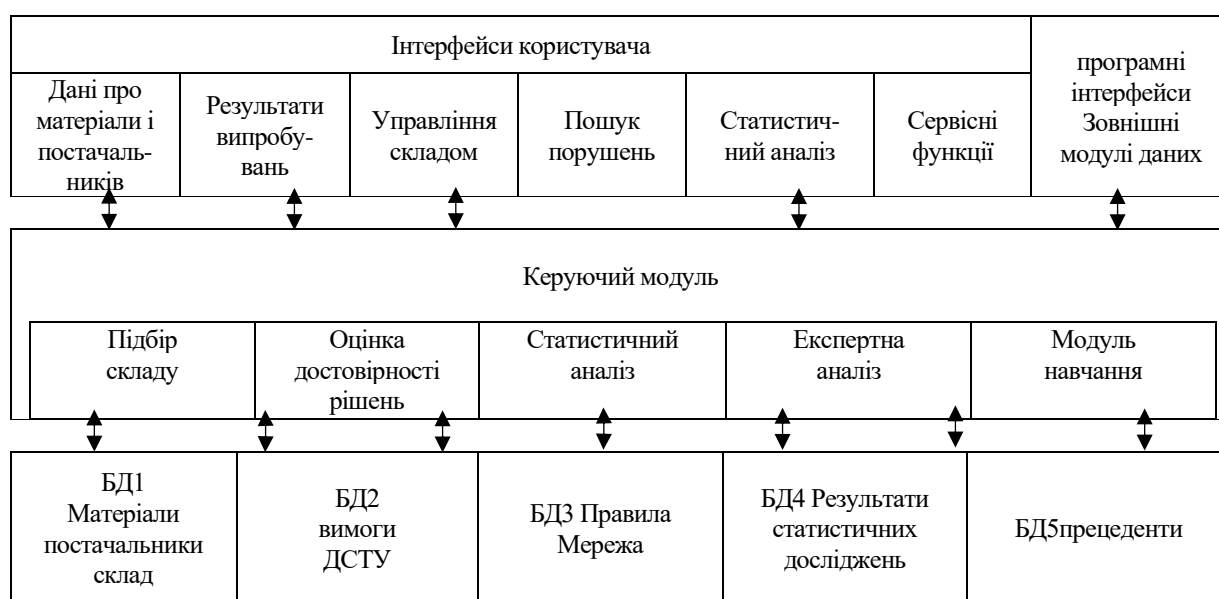
$$\sum_{i=1}^n k_i \sum_{j=1}^m \{F_i(D_j) F_l(D_l)\} = \sum_{i=1}^n \{F_r(D_j) F_l(D_j)\}. \quad (2)$$

Управління по обуренню дозволяє звести до мінімуму відхилення фактичного розподілу мінеральної складової асфальтобетонної суміші за розмірами від регламентованих ДСТУ значень при довільно заданих розподілах мінерального порошку, піску і щебеню. Вимірювання показників якості у виробництві асфальтобетонної суміші проводиться як для атестації продукції, що випускається, так і для інформаційного забезпечення процесу управління. Перший напрямок формалізовано існуючою системою стандартів (ДСТУ Б В.2.7-75-98, ДСТУ Б В.2.7-232:2010, ДСТУ Б В.2.7-319:2016, ДСТУ 8772:2018, ДСТУ Б В.2.7-89-99, ДСТУ Б В.2.7-129:2013). Другий напрямок використання інформації для забезпечення завдань оперативного управління виробництвом практично не забезпечено

нормативними документами (за винятком завдань проектування складу асфальтобетонної суміші).

У роботах вирішувалися питання автоматизації лабораторії АБЗ. Одним з основних наукових результатів цієї роботи є аналіз впливу частоти контролю і точності вимірювань на ефективність відновлення реальних динамічних характеристик параметрів і, отже, на ефективність управління.

Як показали дослідження, частота контролю надає істотно більш сильний вплив на точність відновлення тимчасового ряду міцності, ніж точність одноразового вимірювання. Наприклад, показано, що збільшення частоти контролю в'язкості бітуму і змісту піску в суміші до трьох разів на зміну знижує похибку визначення міцності асфальтобетону на 30%, що підвищує ефективність управління виробництвом.



Мал.1 Структурні модулі системи управління з використанням методів штучного інтелекту

У роботах використовують методи експертних систем для автоматизації виробництва асфальтобетону, що дозволило врахувати позитивний досвід і знання, накопичені експертами в області технології і управління якістю асфальтобетону. Мал.1 представляє структуру програмного комплексу на основі експертної системи.

Всі розглянуті вище системи управління мають подібну структуру (мал. 2). Вони забезпечують той чи інший спосіб і з різною ефективною стабілізацією на заданому рівні якості асфальтобетонної суміші на виході АБЗ.

**Рівень 1.** Система локального управління (ЛСАУ) власне технологічним обладнанням агрегатами і механізмами. Тут вирішуються два основних Типу завдань:

Завдання логікопрограмного управління. Ці завдання пов'язані з управ-лінням окремими

механізмами поточнотранспортних систем підприємства та іншими аналогічними об'єктами.

Завдання цифрового управління. Ці завдання характерні для підсистем управління тепловими процесами, дозуванням компонентів. Тут використовуються алгоритми оптимального управління, фільтрації і прогнозування, статистичної обробки даних.

**Рівень 2.** Узгодження роботи окремих елементів технологічного процесу.

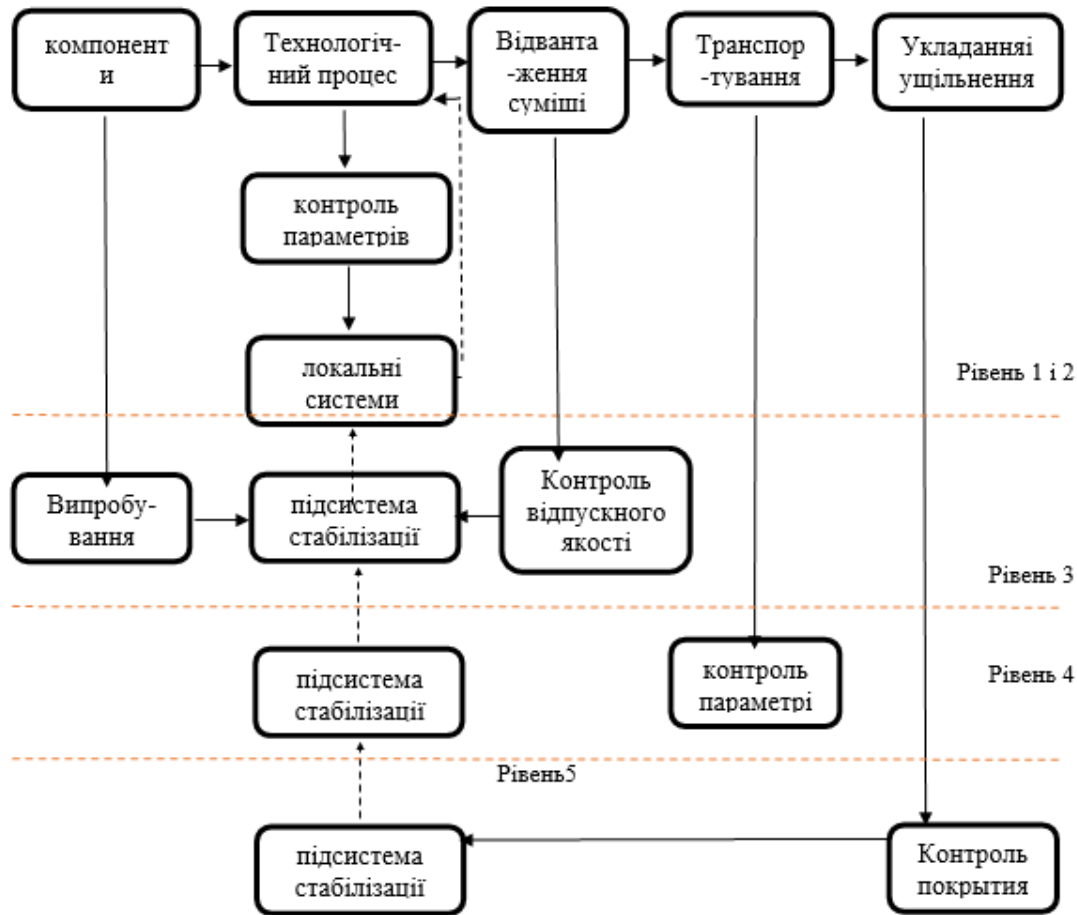
**Рівень 3.** Забезпечується рішення задачі стабілізації якості асфальтобетонної суміші на виході АБЗ. Управління базується на інформації, що постав-ляється лабораторією заводу:

Інформація про параметри компонентів асфальтобетонної суміші.

Інформація про параметри технологічного процесу.

Інформація про якість готової продукції.





Мал. 2 Нова структура комплексної системи управління

**Рівень 4.** Аналізується інформація про транспортування асфальтобетонної суміші від АБЗ до місця її укладання.

**Рівень 5.** Аналізується інформація про результати укладання і ущільнення асфальтобетонної суміші. Тут дуже важливо забезпечити ефективний та оперативний контроль основних параметрів.

На якість готового асфальтобетонного покриття впливає не тільки якість асфальтобетонної суміші на виході АБЗ, але і технологічний процес транспортування суміші до місця її укладання. При цьому на властивості суміші в момент її укладання впливають характеристики транспортного засобу:  $A$ , умови зовнішнього середовища (температура  $-t^\circ$ , вологість  $-W$ , швидкість  $-V$  переважно напрямку вітру  $-D$  щодо переміщення транспортного засобу) і час транспортування  $-t$ . Виходячи з цього, для кожного транспортного засобу можна записати:

$$\Delta z_i^n(t) = \varphi[A_k, t_k^o(t), W_k(t), V_k(t), D_k(t), n] \quad (3)$$

де  $\Delta z_i^n(t)$  — відхилення  $i$ -го властивості асфальтобетонної суміші від його рівня на виході АБЗ для моменту часу  $l$  для  $n$ -го майданчика.

Тут в якості показника часу використовується дискретна величина — поставка порції асфальтобетонної суміші даним транспортним

засобом. Безліч значень  $l$  впорядковано по моменту часу доставки до  $n$ -го місця укладання;  $A_k$  — набір характеристик  $k$ -го транспортного засобу;  $t_k^o(t)$ ,  $W_k(t)$ ,  $V_k(t)$ ,  $D_k(t)$  — середні температура, вологість, швидкість і напрямок вітру в момент доставки асфальтобетонної суміші  $k$ -м транспортним засобом в  $l$ -й постачання;

$n$  — майданчик, на якому проводиться укладання асфальтобетонної суміші. Один АБЗ може обслуговувати кілька майданчиків. Тоді можна отримати оцінку відхилення показника якості асфальтобетонної суміші для  $n$ -го майданчика для інтервалу часу  $t_2 - t_1$ , виду:

$$\Delta z_i^n = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} \Delta z_i^n(t)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

При усередненні характеристик суміші не тільки по часу, але і по майданчиках отримаємо:

$$\Delta z_i = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{\sum_{t_1}^{t_2} \Delta z_i^n(t)}{t_2 - t_1}}{N} \quad (5)$$

Маючи в своєму розпорядженні значеннями відхилень  $\Delta z_i^n(t)$  і їх оцінками (4) і (5), можна ввести відповідну корекцію в алгоритми управління для підсистеми стабілізації властивостей асфальтобетонної суміші на виході

АБЗ (рівень 3). Організація такого управління (рівень 4) ускладнюється низкою факторів:

- Запізнення в отриманні характеристик. Суміш, яка в поточний момент буде відвантажена із заводу, вже не може бути «виправлена». Тому необхідно прогнозувати оцінки  $\Delta z$ .

- Стратегія управління істотно залежить від кількості майданчиків і розподілу між ними обсягів поставок, При цьому слід або мінімізувати сумарні відхилення з урахуванням обсягів поставок, або, можливо, враховувати пріоритети для різних об'єктів.

Ні збір інформації, ні її обробка безпосередньо на місці укладання асфальтобетонної суміші ніяк не організована, тому необхідно розробити як комплекс технічних і програмних засобів для вирішення цього завдання, так і вирішити певні організаційні проблеми.

В процесі укладання і ущільнення асфальтобетонної суміші може бути отримана інформація про властивості суміші по виникненню різних видів дефектів. Виникнення цих дефектів пов'язане в тому числі і з властивостями асфальтобетонної суміші: склад і структура мінеральної частини суміші, частка бітуму в суміші, температура суміші і її температурна неоліт народностей, її сегрегація. Оперативне поступлення інформації про виявлені дефекти сприяють введенню необхідної корекції в управління технологічним процесом на рівні 3 ієрархії систем управління.

Крім того, безпосередньо після укладання і ущільнення суміші, а також в процесі експлуатації покриття проводяться відповідні випробування готового асфальтобетону із застосуванням нормованих інструментальних методів. Ця інформація може бути ефективно використана для управління процесом виробництва.

Тут може бути отриманий додатковий ефект від отримання нових знань про процес виробництва асфальтобетонної суміші. Так, якщо присутні і деякі показники компонентів асфальтобетонної суміші, і показники якості готової продукції, то за допомогою розробленої математичної моделі є можливість досліджувати статистичні технологічні залежності виду  $\omega_m - \varphi(v_i)$  і отримати моделі технологічного процесу виробництва асфальтобетонної суміші, які можуть бути

використані в тому числі і для підвищення ефективності управління виробництвом.

Даний підхід реалізується на самому верхньому рівні пропонованої системи управління (рівень 5). В даний час закінчується розробка автоматизованої системи управління виробництвом асфальтобетону, в якій реалізується викладений в даній статті підхід, заснований на розширенні поняття об'єкта управління за межі АБЗ і включенні в контур управління транспорт, укладання і навіть експлуатацію готового асфальтобетонного покриття.

### Література

1. Гольную Д. М. Сучасні інформаційні технології в автоматизації виробництва асфальтобетону / Д. М. Гольную, О. Ю. Мілосердін, С. В. Римкевич, ДН.Суворов // Матер. Міжнар. конгресу "Сучасні технології в промисловості будівельних матеріалів і стройіндустрії" // Вісник БГТУ-Білгород, 2003.-Ч. 3.-N 6.-С. 134-136.
2. Гольную ДМ. Автоматизоване управління виробництвом асфальто-бетону з використаних експертних систем. Нове в інвестиційних процесах і технологіях будівельного промисловства / Д. М. Гольев, Д. Н. Суворов // Тр. секції «Будівництво» РІА.-Вип. 2.-М., 2001.-С. 134-141.
3. Воробьев В. А. Автоматизация лаборатории асфальтобетонного завода и управление производством / В. А. Воробьев, О. Ю. Милосердин, Д. Н. Суворов/ /Прогрессивные технологические и инвестиционные процессы строительстве: Тр, секции "Строительство" РІА.- Вып. 4.- Ч. 1.-М. Изд-во РІА, 2003.- С. 90-100.
4. Марухин А. В. Автоматизация управления состава асфальтобетонной смеси / А. В. Марухин: Автореф. дис.
5. Бунькин И. Ф. Моделирование и оптимизация управления составом асфальтобетонных смесей /И. Ф. Бунькин, В. А. Воробьев, В. П. Попов, В. А. Горшков, Д. Н. Суворов, А. Е. Александров.-М., Изд-во РІА, 2001.-328 с.
6. Доценко А. И. К вопросу о концепции управления качеством изделия / А. И. Доценко Е.С. Усачев, Ф. Б. Шарипов: Матер. конф. МИКХИС. М.: МИКХИС, 2004.-С. 45-51.

*Александр Васильевич Выговский ктн, снс<sup>1</sup>,  
Татьяна Викторовна Краснянская инженер<sup>2</sup>*

*1 Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины*

*2 ДП НАЭК «Энергоатом» отдел опыта эксплуатации дирекции по производству*

*1 07270; Киевская обл., Иванковский р-н., г. Чернобыль ул. Кирова 36 а*

*Тел.\ факс +380(44)525-0586*

*2 01032; г. Киев, ул. Назаровская, 3*

*Тел. 380(44)277-7883*

## РОЛЬ И МЕСТО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БЕДУЮЩЕМ МИРОВОМ ЭНЕРГОБАЛАНСЕ

*Alexander Vasilievich Vygovskiy<sup>1</sup>*

*Cand. of sciences(engineering), Senior Researcher ,*

*Tatyana Viktorovna Krasnyanskay<sup>2</sup>*

*engineer*

*1 Institute for safety problems of nuclear power p*

*lants national academy of sciences of Ukraine.*

*Kirova str. 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*

*2 National Nuclear Energy Generating Company "Energoatom"*

*Operating Experience Section Directorate on Production.*

*Nazarovskay str., 3, Kyiv, 01032, Ukraine*

## THE ROLE AND PLACE OF NUCLEAR POWER IN THE POOR GLOBAL ENERGY BALANCE

**Аннотация.** Приведены два основных отличительных преимущества ядерной энергетики перед ископаемым топливом. Указано, что в настоящее время мы на пороге так называемого «Великого перехода». Коротко описана программа «Гармония», действующая до 2050 года, и приведены три её основные цели. Описаны три альтернативные глобальные сценарии развития мировой энергетики до 2060 и указана доля ядерной энергетики в мировом энергобалансе при каждом из этих сценариев. Показано, что ядерная энергия займёт своё место в мировом энергетическом балансе и будет способствовать устойчивому развитию.

**Abstract.** Two main distinctive advantages of nuclear power over fossil fuels are given. It is indicated that we are currently on the threshold of the so-called "Great Transition". The program "Harmony", operating until 2050, is briefly described, and its three main goals are given. Three alternative global scenarios for the development of world energy up to 2060 are described and the share of nuclear energy in the world energy balance is indicated for each of these scenarios. It is shown that nuclear energy will take its place in the global energy balance and will contribute to sustainable development.

*Ключевые слова: атомная энергетика, атомная электростанция, ядерный реактор, мировой энергобаланс*

*Key words: nuclear energy, nuclear power plant, nuclear reactor, world energy balance*

В настоящее время все больше признается тот факт, что ядерная энергия займет свое место в будущем глобальном энергетическом балансе и будет вносить вклад в устойчивое развитие. Однако на развитие ядерной энергетики и возрастание её роли в рамках общемирового перехода к безуглеродистой энергетике будет влиять ряд факторов. Ядерная энергетика, безусловно, имеет ряд преимуществ перед тепловыми электростанциями. По сравнению с ископаемым топливом, ядерная энергия обладает двумя отличительными преимуществами. Во-первых, она является низкоуглеродистой источником энергии. Во-вторых, она является предсказуемым и относительно недорогим источником электроэнергии: стоимость топлива на единицу мощности является предельной и не колеблется по цене так сильно, как ископаемое топливо. Однако, общеизвестны случаи аварий на атомных электростанциях [1, 2]. Также существует проблема

обращения с ОЯТ [3]. Поэтому ведущие компании, профильные научные учреждения и международные организации по всему миру работают над повышением безопасности, надежности и экологической эффективности ядерной энергетики.

Повсеместно наблюдаются быстрые, фундаментальные трансформации энергетических систем за счет новых технологий, которые развиваются ускоренными темпами, на фоне все больших изменений в социальной сфере, геополитике и окружающей среде.

Ядерная энергетика является одним из наиболее рентабельных способов производства электроэнергии во многих странах, и управление проектами в данной отрасли активно совершенствуется, как это происходит в рамках поточных программ в Азии, России и других регионах [4, 5]. Успехи этих проектов наглядно демонстрируют возможности ускоренных темпов

внедрение инноваций и использование преимуществ цифровизации и стандартизации для обеспечения конкурентоспособности ядерной энергетики в целом. Высокая удельная мощность и надежность ядерных энергетических установок делают их пригодными для обеспечения базовых нагрузок энергетических систем.

В настоящее время наблюдается процесс так называемого «Великого перехода» (Grand Transition), который предусматривает фундаментальные социально-экономические сдвиги в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности. В более широком контексте перспективы атомной и других форм производства энергии определяются сложной и непредсказуемым взаимодействием глобальных факторов, таких как децентрализация, декарбонизация, цифровизация и геополитика. Появляются многочисленные развилки на пути к успешному общемировому переходу к низкоуглеродистой энергетике [4]. Все больше признается тот факт, что ядерная энергия займет свое место в будущем глобальном энергетическом балансе и будет вносить весомый вклад в устойчивое развитие.

Всемирной ядерной ассоциацией (World Nuclear Association, WNA) разработана и координируется программа «Гармония» [6]. В указанной программе изложено видение будущего электроэнергии с учетом цели обеспечения к 2050 году доли ядерной генерации не менее 25 % от ее общемирового объема. Это обусловлено стремлением к созданию чистого и надежного низкоуглеродистого мирового энергобаланса. Программа «Гармония» работает со всем энергетическим сообществом, чтобы заручиться поддержкой ключевых стейкхолдеров для обеспечения низкоуглеродистого будущего, при максимальном вкладе ядерной энергетики.

Программа «Гармония» преследует три цели [6]:

Создание равных конкурентных условий на энергетических рынках, которые будут стимулировать инвестиции в будущую экологически чистую энергетику, где атомная энергия будет рассматриваться наравне с другими способами генерации с низким уровнем выбросов углерода, и где будет признаваться ее ценность для надежного и устойчивого мирового энергобаланса.

Обеспечение унифицированных процессов регулирования для обеспечения более согласованного, эффективного и предсказуемого режима лицензирования деятельности в области использования атомной энергии. Это должно также способствовать значительному росту атомных энерго мощностей и своевременному лицензированию новых проектов реакторов.

Создание эффективной парадигмы безопасности, ориентированной на благосостояние населения, где преимущества атомной энергии по безопасности для здоровья и окружающей среды оцениваются наравне с другими типами генерации.

В настоящее время будущее ядерной энергетики рассматривается сквозь призму сценариев развития мировой энергетики до 2060, вероятные три альтернативных пути развития мировой энергетики [4]: «Джаз модерн» (Jazz modern), «Неоконченная симфония» (Unfinished symphony), «Хард рок» (Hard rock).

Согласно трем сценариям ядерная энергетика будет частью мирового энергобаланса, однако каждый сценарий предполагает достаточно отличные друг от друга пути развития [4]:

Сценарий «Джаз модерн» представляет инновационный, ориентированный на глобальный рынок мир, коренным образом преобразованный за счет цифровых технологий. Согласно этому сценарию, ядерная энергетика имеет потенциал к модернизации, начиная с сооружения новых реакторов и заканчивая предоставлением различных услуг. В крупнейших ядерных государствах и странах, с развивающейся экономикой, которые увеличивают свои мощности ядерной генерации, ядерная энергетика характеризуется потенциалом к сохранению статуса лучшего энергоресурса. При таком сценарии к 2060 году на долю ядерной энергетики будет приходиться 8,5 % от общего объема производимой электроэнергии. Установленная мощность АЭС увеличится на 52 % с 407 ГВт в 2015 году до 620 ГВт в 2060 году.

Это ориентированный на потребителя, транспарентный, динамичный цифровой мир, характеризующийся энергоэффективностью и быстрой монетизацией инвестиций. Высокий темп инноваций способствует неравномерному, но ускоренному росту производительности и создает потенциал для кардинальных изменений. В этом мире процветает чистая энергия, а электрификация конечных потребителей происходит быстрее, чем ожидалось. Это история экспоненциальных возможностей роста, созданных информированными потребителями, а также снижением цен на энергоносители.

В мире «Джаз-модерна» инновации происходят быстрее как в части предложения, так и спроса на энергию. В 2020-х годах стоимость производства электроэнергии ВИЭ значительно уменьшается, что приводит к переводу энергоснабжения «с молекул на электроны». Данное обстоятельство, в сочетании с разработкой решений для хранения энергии и ростом спроса на энергетические услуги, привлекает инвестиции как в централизованную, так и в децентрализованную гибридную инфраструктуру. Автоматизация, цифровизация и искусственный интеллект обеспечивают «просьюмеризм» на развитых рынках, когда многие потребители энергии также становятся производителями, поставляют обратно в сеть электроэнергию, полученную, например, от солнечных батарей или находящуюся в резерве.

В этих условиях новой, основанной на потреблении и услугах экономики, атомная отрасль растёт медленнее, чем в двух других сценариях.

Темпы строительства новых АЭС в странах Европы и Северной Америки замедляются. На многих рынках не оценён по достоинству вклад ядерной энергетики в качестве контролируемого источника электроэнергии за счёт крупных «умных» сетей, децентрализованной генерации, вариативности мощности и эффективного хранения энергии.

Несмотря на то, что продление срока службы существующих реакторов является одной из лучших инвестиций на рынке производства электроэнергии с точки зрения снижения её стоимости, США и ряд стран ЕС оказывают лишь ограниченную поддержку ядерной энергии. В передовых странах стабильность поставок настолько зависит от гибкости со стороны спроса и оптимизации со стороны предложения, что «мощности старого мира» больше не кажутся необходимыми.

Большинство реакторов старшего поколения в США и ЕС запланировано для окончательного останова и вывода из эксплуатации, что к 2040 году снизит объём мощностей для удовлетворения базовой нагрузки для всей энергосистемы. Среди многих стран, которые решили не продлевать срок службы своего парка АЭС, некоторые с трудом пытаются достичь поставленных целей в декарбонизации.

Растущий спрос на услуги по выводу из эксплуатации и, в гораздо меньшей степени, продление срока службы преобразуют ландшафт атомной отрасли в развивающихся странах, где небольшие и инновационные инженерные фирмы широко применяют цифровые технологии для разработки и запуска проектов в области вывода из эксплуатации. Крупные игроки атомной отрасли будут конкурировать с этими динамичными новичками на сервис-ориентированном рынке.

В мире «Джаз-модерна» строительство новых АЭС в 2020-2030 годах в значительной степени обеспечивается Китаем, Индией и Россией, развивающимися экономиками на Ближнем Востоке, такими как Иран, Турция, Египет, а также Бангладеш и Индонезией в 2030-2040 годах. Подобное строительство чётко определит будущее атома в качестве источника энергии для стран с развивающейся экономикой.

Основной технологией для централизованных энергосистем будут являться реакторы большой мощности поколений III и III+, предлагаемые, прежде всего, Россией и Китаем. Обе страны постепенно совершенствуют реакторы поколения III+, активно используя цифровые технологии на всех этапах жизненного цикла АЭС. Существует также целый ряд финансовых инструментов, межгосударственных кредитов и финансовой поддержки со стороны стран-вендоров. Данные меры сочетаются с соглашениями о покупке электроэнергии и моделями «строй, владей, эксплуатируй».

Фактором, способствующим развитию волатильного, инновационного мира «Джаз-модерна», являются цифровые технологии,

которые коренным образом преобразуют весь энергетический сектор. Также будет наблюдаться рост производительности за счёт цифровизации: цифровые технологии помогут поставщикам и операторам значительно усовершенствовать управление жизненным циклом АЭС, включая их сооружение и эксплуатацию, а также извлечь полезные уроки для проектов по продлению сроков эксплуатации. Все это окажет существенное влияние на общий уровень производительности мировой атомной энергетической промышленности, снижение себестоимости её продукции, что к 2035 году приведёт к безоговорочному доверию клиентов в странах с развивающейся экономикой. В это время ядерная энергия становится основным средством декарбонизации для развивающихся рынков, постепенно вытесняя уголь.

В этом мире электроэнергетическая промышленность претерпевает глубокую трансформацию в сторону низкоуглеродистых энергоресурсов. Коэффициент электрификации (количество электроэнергии в конечном потреблении энергии) увеличивается вдвое с 18% в 2015 году до 37% к 2060 году. Из-за конкуренции со стороны других низкоуглеродистых источников доля атомной энергетики в мировом энергобалансе к 2060 году составляет всего 8,5% по сравнению с 11% в 2015 году. Установленная мощность АЭС увеличивается примерно на 52% с 407 ГВт в 2015 году до 620 ГВт в 2060 году.

Сценарий «Неоконченная симфония» представляет собой мир, в котором скоординированные и устойчивые модели экономического роста сочетаются с ориентацией на применение низкоуглеродистых источников энергии. Данный сценарий предполагает повсеместное использование ядерной энергии в качестве одного из надёжных и доступных мер реагирования на изменение климата. При таком сценарии доля ядерной энергетики достигнет 13,5 % от общего объёма производства электроэнергии к 2060 году, а установленная мощность увеличится почти в три раза - до 1003 ГВт. В дополнение к проектам по строительству новых АЭС и продлению срока эксплуатации существующих, значительный вклад в мировой парк ядерных реакторов вносят новые ядерные технологии (малые модульные реакторы, плавучие установки и реакторы IV поколения).

Данный сценарий развития представляет собой мир, повестка дня которого выходит за рамки изменения климата и обращает более пристальное внимание к целям ООН по устойчивому развитию, водопользованию, состоянию окружающей среды и экономическому развитию. Целостность подходов стимулирует развитие международного сотрудничества, создание глобальной институциональной структуры и наднациональных политик. Отраслевое регулирование и политика, в конечном итоге, синхронизируются на глобальном уровне для продуманного управления

энергетическим переходом с минимальными затратами, учётом внешних факторов и пользы для общества. Несмотря на то, что присутствует общее согласие относительно того, какие действия необходимы для достижения нулевого уровня выбросов, различные регионы следуют своим собственным путём и разрабатывают собственный комплекс энергетических мероприятий для достижения этих целей. При этом признается, что достижение благополучия и устойчивое развитие требуют использования принципа субсидиарности и межотраслевого взаимодействия.

«Незаконченная симфония» является миром с интегрированной стратегией развития, на повестке которой находятся климатические цели, экология и благополучие. Благодаря государственной и общественной поддержке в поиске доступных путей глубокой декарбонизации, государственно-частные инвестиции в широкий спектр технологий чистой энергии позволяют отделить рост выбросы CO<sub>2</sub> от экономического развития.

После того, как в 2010-х годах первые несколько западных проектов по строительству новых АЭС превысили график и бюджет, атомная отрасль изучила и позаимствовала передовой опыт новых проектов строительства в Азии, чтобы существенно переосмыслить свой подход к проектированию станций и управлению проектами по их сооружению. Это стало возможным благодаря передаче ведущей роли цифровым технологиям, которые помогли отрасли последовательно реализовывать проекты по всему миру с целью вернуть утраченное доверие рынка.

Более скоординированная климатическая политика, поддерживаемая новыми энергетическими правилами и финансовыми институтами, побудит Европейский Союз пересмотреть свою позицию в отношении роли ядерной энергетики в решении проблемы изменения климата начиная с 2020-х годов. Волна строительства новых ядерных объектов с помощью цифровых технологий прокатилась по ЕС, особенно на рынках Болгарии, Чехии, Финляндии, Венгрии, Словакии и Великобритании, привыкшим к ядерным технологиям и идеально вписывающимся в развивающийся рынок электросетей и электроэнергии ЕС. В 2030 году Южная Корея пересматривает своё решение об отказе от атомной энергии и возобновляет программу строительства новых АЭС.

В 2020–2030 гг. основная доля новых атомных мощностей сооружается с использованием идеологии создания «парка АЭС» в Китае, Индии, России и на Ближнем Востоке. В Африке основные программы строительства атомных объектов запускаются Южной Африкой, Нигерией, Танзанией и другими странами, чтобы удовлетворить растущий спрос на электроэнергию в результате быстрой урбанизации. Станции строятся вовремя и в рамках бюджета благодаря усилению мировой атомной отрасли, а также широкому использованию цифровых технологий

на этапах проектирования, планирования и строительства. Цифровые двойники обеспечивают безопасную, надёжную и эффективную работу АЭС.

Продление срока эксплуатации остаётся одним из главных вопросов атомной энергетической повестки в 2020–2030 гг. как в ЕС, так и в США. Цифровые инструменты приобретают важное значение для анализа и принятия решений. Большинство реакторов «прошлой эпохи» включены в программы продления срока эксплуатации, что позволяет продлить их в работу ещё на 20 или более лет.

В Японии все реакторы подвергаются модернизации и повторному запуску. К 2035 г. Япония также возвращается на мировой рынок атомных технологий в качестве крупного экспортёра атомных энергетических технологий, сооружая атомные электростанции в ЕС, США и на Ближнем Востоке.

С 2040 г. экспансия атомной промышленности Южной Кореи распространяется на территорию от Ближнего Востока до ЕС и Африки. Растёт глобальный спрос на атомную энергетику и конкурентоспособные глобальные цепочки поставок со стороны основных вендоров в России, Франции, Японии, Кореи и Китае.

В «Незаконченной симфонии» электрификация и эффективность находятся в авангарде на пути к глубокой и доступной декарбонизации. Им сопутствуют более развитая межсистемная интеграция, интеллектуальные энергосистемы и эффективное управление сетевой нагрузкой. К 2060 г. уровень потребления электроэнергии в конечном потреблении достигнет 41%. На атомную энергию будет приходиться 13,5% от общего производства электроэнергии, а установленная мощность увеличится практически в три раза с 407 ГВт в 2015 г. до 1003 ГВт в 2060 г.

По сценарию «Хард рок» рассматриваются последствия для слабого и неустойчивого мирового экономического роста в условиях ориентации стран на развитие национальных экономик. При таком сценарии доля ядерной энергетики в общемировом производстве электроэнергии достигнет 12,5 % к 2060 году, при этом установленная мощность в 2060 году вырастет на 70 % - до 696 ГВт. Мировая атомная отрасль будет фокусироваться на строительстве новых реакторов в развивающихся странах и продлении срока эксплуатации АЭС в странах с развитой экономикой.

Данный сценарий представляет собой разобщенный мир с низкими темпами экономического роста, растущей геополитической напряженностью и неразвитым уровнем межгосударственного сотрудничества. Главными задачами стран является укрепление национальной безопасности, создание новых рабочих мест, развитие кадров и решение локальных экологических проблем. Доступная декарбонизация является нормой во всем мире, т. к. страны не готовы жертвовать экономическим



ростом ради климатических соображений. Энергетический ландшафт является отражением регионализма, движимого геополитическими факторами и факторами безопасности. Отраслевое регулирование остается слабым, глобальная синхронизация практически отсутствует.

С ростом геополитической напряженности и ограниченностью международного сотрудничества, обмен информацией, технологиями и мировым капиталом усложняется. Для обеспечения энергетической безопасности правительства вынуждены опираться на собственные силы, включая природные ресурсы, существующие активы и системы, а также применять меры по стимуляции спроса. Государства уделяют большее внимание созданию рабочих мест, вопросам здравоохранения и локальным экологическим вопросам, в меньшей степени, чем мировым проблемам.

В 2020-2030 гг. новые атомные мощности будут введены в строй главным образом с использованием комплексного подхода к развитию парка АЭС в Китае, Индии, России - странах, которые сделали стратегическую ставку на атомную энергетику как основной источник энергии.

Затем в 2030-2040 гг. национальные программы по сооружению АЭС будут реализовываться на Ближнем Востоке, в том числе в Саудовской Аравии, Объединенных Арабских Эмиратах, Иране, Турции, Египте и других странах. В этих странах основными атомными технологиями остаются реакторы большой мощности поколений III и III+ для централизованных энергосистем. Усовершенствования в конструкции и использование цифровых технологий делают реакторы поколения III+ естественным выбором для всех стран-новичков, поскольку они являются надежным, хорошо изученным, серийным и экономически эффективным решением в области атомной энергетики.

По сценарию «Хард-рок» энергетическая безопасность способствует эффективности, однако разобщенность мира и торговые барьеры препятствуют интенсивному техническому прогрессу. В то время как реакторы поколений III и III+ составляют основу атомных энергетических программ на развивающихся рынках, а также в некоторых развитых странах, инновации внедряются относительно медленно и слабо интегрируются.

Россия и Китай остаются доминирующими игроками на рынке атомных технологий, а большая часть средств на новое строительство поступает от государственных институтов. Строительству новых АЭС способствуют финансовые инструменты, такие как межгосударственные целевые кредиты, а также модели «строй, владей, эксплуатируй», соглашения о закупке электроэнергии и гарантии со стороны

национальных правительств или аффилированных с ними организаций.

В 2030 г. Россия и Китай успешно введут в строй промышленные атомные реакторы IV поколения и ММР. К 2045 г. российские и китайские реакторы IV поколения и ММР также будут размещены на других площадках по всему миру. При этом, к 2060 г. ни реакторы IV поколения, ни ММР не окажут существенного влияния на общемировую энергетическую систему.

Замыкание ядерного топливного цикла и развитие модульного принципа строительства остаются главными инновационными приоритетами, главным образом, благодаря государственным программам НИОКР в России и Китае, которые будут реализовываться на протяжении десятилетий.

Несмотря на то, что двустороннее сотрудничество в решении проблем ядерного наследия будет сохраняться, многие страны будут придерживаться позиции, согласно которой обращение с ядерными отходами должно осуществляться в стране их происхождения.

В 2020 гг. ЕС и США в целом поддержали политику, которая позволила продлить срок службы существующих реакторов, что с точки зрения нормативной стоимости электроэнергии является одной из лучших доступных на рынке инвестиций в производство чистой электроэнергии. В 2020–2030 гг. у большинства устаревших реакторов в США и ЕС срок службы будет увеличен на 20 лет, что позволит им функционировать в период после 2040–2050 гг.

Тем не менее, между 2035 и 2040 гг., когда продление срока службы больше не подходит для большей части существующего парка АЭС в ЕС и США, будут идти жаркие споры о том, как заменить этот значительный объем низкоуглеродистых мощностей. Некоторые, ранее занимающие пассивную позицию страны постепенно приступают к сооружению новых атомных станций, чему способствует очевидный успех атомной энергетики в развитых странах, не остановивших свои программы. Тем не менее, останется ряд стран, которые решают отказаться от использования атомной энергии.

При таком сценарии США и большинство стран ЕС неохотно приступают к строительству новых атомных электростанций в 2020–2030 гг., в некоторых случаях вследствие низкого уровня общественной приемлемости, а в других - вследствие неясной экономической эффективности. Тем не менее, некоторые страны идут в противоположном направлении. Чешская Республика, Венгрия, Словакия и Болгария принимают решение продлить свои программы развития атомной энергетики на 2030-2040 гг. Это обеспечивает их не только энергетическим решением, но и возможностью продвигать экологическую повестку, поддерживать экономический рост и развития кадровых ресурсов. Некоторые из этих проектов позволили всем

извлечь тяжелые уроки: перерасход средств и нарушение графика заставили участников отрасли и лиц, принимающих решения, пересмотреть свои подходы к проектированию АЭС и управлению проектами по их сооружению.

Во всем мире к 2060 г. некоторые страны будут значительно менее углеродостоекими, чем другие. Воздействие погодных катаклизмов, нехватки воды и изменения климата все чаще ощущаются в различных обстоятельствах. Это вынуждает страны сотрудничать на субрегиональном уровне для создания технологических и экономических решений для ускорения адаптации к изменению климата.

По сценарию «Хард-рок» в 2060 г. на сектор производства электроэнергии будет приходиться 23 % от конечного потребления энергии, тогда как в структуре энергопотребления будут преобладать ископаемые виды топлива, хотя и в меньшей степени, чем сегодня. К 2060 г. доля атомной энергетики в производстве электроэнергии достигнет 12,5% по сравнению с 11% в 2015 г. Установленная мощность АЭС увеличится на три четверти с 407 ГВт в 2015 г. до 696 ГВт в 2060 г.

Исторически сложилось так, что масштабные изменения в ядерной энергетике занимали срок от десятилетия и более; это отражает реальный факт, что на проектирование, финансирование и сооружение атомных станций требуются годы. Однако при использовании методики сценариев внимание лиц, принимающих решения, переориентируется на изменения за пределами сферы энергетике, а также на новые технологии, находящиеся на начальных стадиях своего развития. Данный процесс отслеживания информации из различных источников призван предложить альтернативные точки зрения на ключевые драйверы изменений, которые будут формировать будущее ядерной энергетике.

Электроэнергия, вырабатываемая АЭС, может обладать конкурентоспособной ценой, со значимой частью прибыли за счёт строительства стандартизированных проектов, максимальным внедрением модульных компонентов при строительстве и реализации программ комплексного сооружения парка АЭС. Такой комплексный подход или серийное строительство – Наиболее эффективный метод развития национальной атомной энергетике, поскольку он снижает стоимость технологии по ходу её освоения и обеспечивает экономию за счёт эффекта масштаба на всей производственно-сбытовой цепи. Обычно он ведет к сокращению сроков строительства и значительному снижению стоимости энергоблоков. Недавние программы по сооружению АЭС в таких странах, как Россия, Китай, Южная Корея, Япония и Индия, показали преимущества программ комплексного строительства. К другим странам, пошедшим по пути комплексного подхода или выразившим желание встать на него, относятся государства Ближнего Востока (например, Объединенные

Арабские Эмираты, Саудовская Аравия, Иран, Турция и Египет), а Южная Африка, Нигерия и Бразилия также включили такую возможность в свои будущие планы. [4, 5].

В результате роста населения, экономического развития и спроса на электроэнергию ряд развивающихся стран рассматривает использование ядерных энергетических технологий. По данным Международного агентства по атомной энергии, 28 стран, иногда называемых «новичками», впервые рассматривают, планируют или реализуют национальные атомные энергетические программы, в то время как еще 20 стран выразили интерес к атомной энергетике и в той или иной мере развивают ядерную инфраструктуру. Эти процессы указывают на продолжающееся распространения мирного использования атомной энергии в восточном и южном направлениях.

### **Выводы**

1. В мировом сообществе последние десятилетия ведутся дискуссии о будущем ядерной энергетике. Безусловно, ядерная энергетика имеет ряд преимуществ, в то же время общеизвестны последствия аварий на Чернобыльской атомной электростанции и Фукусиме. Также существует проблема обращения с ОЯТ. Поэтому ведущие компании, профильные научные учреждения и международные организации по всему миру работают над повышением безопасности, надёжности и экологической эффективности ядерной энергетике.

2. Приведенный анализ современных мировых тенденций развития ядерной энергетике. Показано, что в настоящее время наблюдаются быстрые, фундаментальные трансформации энергетических систем за счёт новых технологий, развивающихся ускоренными темпами, на фоне все более крупных изменений в социальной сфере, геополитике и окружающей среде. Общество стоит на пороге так называемого «Большого перехода», который предусматривает фундаментальные социально-экономические сдвиги в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности.

3. Показано, что ядерная энергетика является одним из наиболее рентабельных способов производства электроэнергии во многих странах. Высокая удельная мощность и надёжность ядерных энергетических установок делают их пригодными для обеспечения базовых нагрузок энергосистемы. По сравнению с ископаемым топливом, ядерная энергия имеет определённые преимущества. Во-первых, она является низкоуглеродистой источником энергии. Во-вторых, она является предсказуемым и относительно недорогим источником электроэнергии.

4. Приведён вариант развития ядерной энергетике, который разработан и курируется Всемирной ядерной ассоциацией и отражён в программе «Гармония». В программе изложено видение будущего электроэнергии с учётом цели обеспечения к 2050 году доли ядерной генерации не

менее 25 % от общемирового объёма производства электроэнергии в рамках стремлений к созданию чистого и надёжного низкоуглеродистого мирового энергобаланса.

5. Рассмотрены три глобальных альтернативных сценарии развития мировой энергетики до 2060, разработанных Всемирным энергетическим Советом: «Джаз модерн» (Jazz modern), «Неоконченная симфония» (Unfinished symphony), «Хард рок» (Hard rock). По этим сценариям ядерная энергетика будет частью мирового энергобаланса, однако каждый сценарий предполагает различную долю ядерной энергетики в мировом энергобалансе и довольно отличные друг от друга пути развития.

6. Темпы и направления глобального перехода к безуглеродистой энергетике являются частью гораздо более широкого комплекса общемировых изменений. В настоящее время идёт процесс так называемого «Большого перехода» (Grand Transition), который предполагает фундаментальный социально-экономический сдвиг в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности. В более широком контексте перспективы атомной и других форм производства энергии определяются сложным и непредсказуемым взаимодействием глобальных факторов, таких как децентрализация, декарбонизация, цифровизация и геополитика. Появляются многочисленные развилки на пути к успешному общемировому переходу к низкоуглеродистой энергетике.

7. Всё больше признаётся тот факт, что ядерная энергия займёт своё место в будущем мировом энергобалансе и будет способствовать устойчивому развитию.

#### Литература

1. Біль і тривоги Чорнобиля / Упоряд. Ю.В. Сафонов. – К.: ВАТ «Вид – во «Київ. Правда», 2006. – 288 с. [Chernobyl pain and anxiety / In order. Yu.V. Safonov. - Kyiv: OJSC "Publishing House" Kyiv. Pravda », 2006. - 288 p. ]

2. Опыт АЭС Фукусима-1 для повышения Экологической безопасности энергетики Украины: монография / Д.В. Билей, В.Н. Вашенко, В.В. Злочевский, А.Ю. Погосов, В.И. Скалозубов, А.В. Шавлаков. – К.: Государственная экологическая академия последипломного образования, 2012. – 194 с. [Experience of Fukushima-1 NPP to increase the environmental safety of energy in Ukraine: monograph / D.V. Biley, W.N. Vashenko, V.V. Zlochevskiy, A.Yu. Pogosov, V.I. Skalozubov, A.V. Shavlakov. - K.: State Ecological Academy of Postgraduate Education, 2012. - 194 p. ]

3. Виговський О. В. Основні проблеми розвитку атомної енергетики України та шляхи їхнього вирішення / О. В. Виговський // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2016. – Вип. 27. – С. 5 – 12. [Vygovskiy A. V. (2016). [The basic problems of development of nuclear energy in Ukraine and ways of their decision]. Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya [Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chernobyl], vol. 27, pp. 5–12. ]

4. The Future of Nuclear: Diverse Harmonies in the Energy Transition. - London: The World Energy Council (with assistance the World Nuclear Association), 2019. - 64 p.

5. К. Маркевич. Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку / К. Маркевич, В. Омельченко. - К.: Центр Разумкова, 2015. - 26 с. [K. Markevich. Nuclear energy in the world and in Ukraine: current state and prospects of development / K. Markevich, V. Omelcheko. - K.: Razumkov Center, 2015. - 26 p. ]

6. World Nuclear Association. The Harmony programme. - Режим доступу: <https://www.world-nuclear.org/temp/new-papers/harmony-2019.aspx> .

7. Енергоатом України. Офіційний сайт. — Режим доступу:

<http://www.energoatom.kiev.ua>. [Energoatom Ukraine. Official web-site. Available at: <http://www.energoatom.kiev.ua>. ]

***Qurbonalizoda S.SH.***

*Dr., Deputy Director of cascade*

*Varzob's HPPs OSHC «Barqi Tojik», Tajikistan*

*Candidate of Technical Sciences, Deputy Director*

*cascade of Varzob HPPs, OJSCHK "Barki Tojik", Tajikistan*

***Kurbonalizoda Saidabdullo Shamsullo***

## THE QUALITY OF ELECTRIC ENERGY IN POWER SUPPLY SYSTEMS AND GENERAL STANDARDS

***Курбонализода Саидабдулло Шамсулло***

*кандидат технических наук, Заместитель Директора каскада Варзобских ГЭС ОАХК «Барки Точик», Таджикистан*

## КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НОРМЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Summary.** This article discusses indicators of the quality of electricity and their impact on the operation of the main types of electrical equipment, issues of monitoring and improving the quality of electricity. In turn, the normal operation of electrical equipment depends on the quality of electricity. The mutual influence of electrical equipment and supply networks is called electromagnetic compatibility. The solution to the problem of electromagnetic compatibility is associated with the determination and maintenance of optimal indicators of the quality of electricity, at which the technical requirements are met with minimal cost.

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются показатели качества электроэнергии и их влияние на работу основных видов электрооборудования, вопросы контроля и улучшения качества электроэнергии. В свою очередь нормальная работа электрооборудования зависит от качества электроэнергии. Взаимное влияние электрооборудования и питающих сетей называется электромагнитной совместимостью. Решение проблемы электромагнитной совместимости связано с определением и поддержанием оптимальных показателей качества электроэнергии, при которых выполняются технические требования с минимальными затратами.

*Key words:* electricity, frequency, voltage, technical, electrical network, loss, quality.

*Ключевые слова:* электроэнергия, частота, напряжения, технический, электрических сеть, потери, качества.

Electromagnetic interference in electrical networks of industrial enterprises, caused by powerful nonlinear, asymmetric and shock loads, degrade the operation of power electrical installations, automation systems, communications and relay protection, which can lead to a decrease in the reliability of power supply, an increase in power losses, a deterioration in quality and a decrease in the number of products. In this regard, the problem of the quality of electricity arises, the study of which is given much attention in industrialized countries.

Electricity is a special type of product and has certain characteristics that make it possible to judge its suitability. The set of characteristics at which power receivers are able to perform their functions are united by the general concept of power quality, which is assessed by indicators of power quality.

Power quality affects power consumption, reliability of power supply systems, and the technological process. Low-quality electricity causes damage caused by damage to materials, disruption of the technological process, deterioration in product quality, reduced productivity, etc. - technological damage. In addition, there is electromagnetic damage from low-quality electricity, which is characterized by an increase in electricity losses, failure of electrical equipment, disruption of automation, telemechanics, communications, etc. Ensuring the proper quality of electricity leads to an increase in production efficiency. Solving this problem, one should proceed from a comparison of the expected effect of improving the quality of electricity and the inevitable additional costs.

Modern production is characterized by the use of such consumers of electrical energy, which affect the quality of electricity supply networks. These include: high-power rectifiers, electric arc steel-making furnaces, welding machines, etc.

Electricity quality indicators: GOST 13109-97 "Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems" establishes the following power quality indicators (PQE):

- 1) steady-state voltage deviation;  $\delta U_s$ ;
- 2) the range of voltage change;  $\delta U_t$ ;
- 3) the dose of flicker;  $P_t$ ;

4) the distortion factor of the sinusoidal voltage curve;  $K_U$ ;

5) voltage harmonic coefficient;  $K_{U(V)}$ ;

6) coefficient of voltage unbalance in the reverse sequence;

7) zero-sequence voltage unbalance factor;  $K_{0U}$ ;

8) frequency deviation;  $\Delta f$ ;

9) the duration of the voltage dip;  $\Delta t_n$ ;

10) impulse voltage;  $U_{\text{имп}}$ ;

11) temporary overvoltage factor.  $K_{\text{пер}U}$ .

When determining the PQE values, the following auxiliary parameters of electricity are used:

- frequency of repetition of voltage changes;  $F_{\delta U_t}$ ;

- the interval between voltage changes;  $\Delta t_{i,i+1}$ ;

- the depth of the voltage dip;  $\delta U_n$ ;

- the frequency of voltage dips;  $F_n$ ;

- pulse duration at the level of 0.5, its amplitude;

$t_{\text{имп}0.5}$ ;

- the duration of temporary overvoltage.  $\Delta t_{\text{пер}U}$ .

The value of the PQE in the normal operation of the electrical network should not go beyond the maximum permissible values and, at the same time, for at least 95% of the time of each day, it should remain within the normally permissible values specified in GOST 13109-97.

Control over the observance of the requirements of the standard by power supply organizations and consumers of electric energy is carried out by supervisory bodies and test laboratories for the quality of electric power accredited in the prescribed manner.

Electricity quality control (CE) at the points of general connection of electricity consumers to general-purpose power supply systems is carried out by power supply organizations.

Control points are selected in accordance with regulatory documents.

The frequency of PQE measurements is set as follows. For steady-state voltage deviation - at least twice a year, and in the presence of automatic counter voltage regulation in the power center - at least once a year. For other indicators - at least once every two years with the unchanged network layout and a slight change in the load that affects the quality of electricity.

**Frequency deviation:** The frequency deviation in hertz is the difference between the average  $f_y$  and nominal  $f_{\text{HOM}}$  frequency values:  $\Delta f = f_y - f_{\text{HOM}}$ .

The averaged value of the frequency is calculated as a result of averaging  $N$  observations  $f_i$  over a time interval of 20 s using the formula

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}, \quad (1)$$

where is  $f_i$  the actual value of the frequency for the  $i$  observation.

The number of observations must be at least 15.

Normally permissible and maximum permissible values of frequency deviation are equal to  $\pm 0,2$  and  $\pm 0,4$  Hz, respectively.

All frequency deviation values measured within 24 hours should not exceed the maximum permissible value, and 95% of all measured values should not exceed the normally permissible value.

The electromagnetic component of the damage is caused by an increase in active power losses and an increase in active and reactive power consumption. Reducing the frequency by 1% increases network losses by 2%. For an induction motor, the expression [5] is valid:

$$U \approx E_1 = 4,44 f_1 W_1 k_{o\delta 1} \Phi_{\text{макс}} \quad (2)$$

where is  $U$ ,  $E_1$  the supply voltage and the EMF of the stator winding;  $f_1$  - power supply frequency;  $W_1$  - the number of turns of the stator winding;  $k_{o\delta 1}$  - winding ratio of the stator winding;  $\Phi_{\text{макс}}$  - Is the flow amplitude.

With constant voltage, lowering the frequency will increase the flow. As a result, saturation increases, no-load current increases, and losses in steel increase.

An increase in frequency leads to a decrease in flow. This means that at a constant load torque, the currents of the rotor and stator will increase. Active power losses increase and motor heating increases. For an asynchronous motor, permissible frequency change  $\Delta f = \pm 2,5\%$ . The above formula is also valid for the transformer ( $k_{o\delta 1} = 1$ ).

A decrease in frequency leads to an increase in the transformer flux, an increase in no-load current and losses in steel.

The technological component of the damage is mainly caused by under-production by the enterprise and the cost of additional work time to fulfill the plan. The value of technological damage is an order of magnitude higher than the electromagnetic one. The main reason for the damage is a decrease in the productivity of technological lines and mechanisms due to a decrease in the speed of drive electric motors, mainly asynchronous ones. To determine the damage, it is necessary to know the dependence of the change in the rotational speed of the asynchronous motor on the change in the network frequency and the dependence of the performance of the technological lines on the rotational speed of the induction motor.

Annual economic damage from frequency reduction (in rubles) [2]:

$$Y = C_y \left[ \Pi(T - T_1) - \sum_{i=1}^k \int_0^{T_i} \Pi_n dt \right] \quad (3)$$

where are  $C_y$  the planned unit costs per unit of production when operating at the nominal frequency, rubles;  $P$  - productivity of technological lines per hour at rated frequency;  $T$  - duration of work per year, h;  $T_1$  - duration of operation per year at nominal frequency;  $k$  - the number of frequency changes per year;  $T_i$  - duration of frequency change, h;  $P_n$  - the dependence of the performance of the lines on the frequency of rotation of the asynchronous motor.

The rotational speed of an induction motor with a fan torque of the load can be determined by the formula

$$n = n_1 \left( 1 - \frac{\gamma^2 k_f^4 S_{\text{HOM}}}{\alpha^2 k_u^2} \sqrt{\frac{k_3^2 - k_{i0}^2}{1 - k_{i0}^2}} \right) \quad (4)$$

where is  $n_1$  the synchronous rotation frequency at  $f = f_{\text{HOM}}$ ;  $\gamma$ ,  $\alpha$  - correction factors taking into account saturation of the magnetic circuit (1.05 - 1.15);  $k_f = f / f_{\hat{1}\hat{1}} S_{\text{HOM}}$ ; - rated slip;  $k_u = U / U_{\text{HOM}}$ ;  $k_3 = I / I_{\text{HOM}}$  - load factor; -  $k_{i0} = I / I_{1\text{HOM}}$  multiplicity of no-load current.

$$n = n_1 \left( 1 - \frac{\gamma^2 k_f^2 S_{\text{HOM}}}{\alpha^2 k_u^2} \sqrt{\frac{k_3^2 - k_{i0}^2}{1 - k_{i0}^2}} \right) \quad (5)$$

At constant moment of resistance

Determination of damage, knowledge of its structure makes it possible to develop scientific and technical measures to reduce the negative consequences of frequency changes. Maintaining a normal frequency is a purely technical challenge. The main way to solve it is to create power reserves in the power system.

**Voltage deviation:** Voltage deviation is a measure of the steady-state voltage deviation. This is the difference between the actual and rated voltage, the first being the average value of the positive sequence voltage of the fundamental frequency over a set period of time.

The normally permissible and maximum permissible values of this PQE are 5 and 10%, respectively. It is defined as follows.

For each  $i$  th observation over a period of time equal to 24 hours, the effective value of the linear (phase) voltage of the positive sequence of the fundamental frequency is determined  $U_{1(1)i}$ . It is allowed to use the formula

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (U_{AB(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i}) \quad (6)$$

where are the  $U_{AB(1)i}$ ,  $U_{BC(1)i}$ ,  $U_{CA(1)i}$  effective values of the line voltages of the fundamental frequency in the  $i$ -th observation, V, kV.

Calculate the value of the averaged voltage  $U_y$  value as a result of averaging  $N$  observations  $U_{(1)i}$  or  $U_{1(1)i}$  for a time interval of 1 min:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}} \quad (7)$$

where is  $U_i$  the voltage value  $U_{(1)i}$  or  $U_{1(1)i}$  in the  $i$ -th observation, V, kV.

The number of observations for 1 min must be at least 18.

Next, the steady-state voltage deviation  $\delta U_y$  in percent is calculated:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{HOM}}{U_{HOM}} \cdot 100 \quad (8)$$

The quality of electrical energy for the steady-state voltage deviation at the point of common connection to the electrical network is considered to be in compliance with the requirements of the standard if all the steady-state voltage deviation values measured for each minute within 24 hours are within the range limited by the maximum permissible value, and not less than 95% of the values are within an interval limited by a normally permissible value.

The main reason for the voltage deviation is the change in the load in the networks. Large deviations (and fluctuations) in the voltage in the supply network occur when powerful (in relation to the short-circuit power) power consumers operate, the load of which is of a sharply variable nature (electric arc steel-making furnaces, welding machines and powerful valve converters).

When the voltage deviates, the performance of the electrical equipment deteriorates. Let's consider some of its types.

**Lighting installations:** When the voltage drops by 10%, the luminous flux of incandescent lamps is reduced by 30%, and when the voltage is increased by 10%, the lamp life is reduced by 5 times. The electrical network must be designed so that in the event of an emergency shutdown of a network element, the voltage on the lighting lamps does not decrease by more than 12%.

**Asynchronous motors:** Let's analyze expression (14). Let's assume that the load torque is constant and the mains frequency is constant. Then a change in voltage leads to a proportional change in flux. A decrease in flux causes an increase in current, which in turn leads to an overload of the motor, an increase in losses in power lines and transformers. A 10% reduction in voltage causes a 19% reduction in torque. An increase in flux leads to an increase in no-load current and an increase in losses in steel. In asynchronous motors, when the supply voltage changes, the rotor speed and the consumption of reactive and active power change. Because of this, the reduced costs of work change in comparison with the working conditions at rated voltage by the value [2]

$$\Delta 3_{AD} = k\Delta Q + \beta(\Delta P + \Delta P_{TOT}) + Y_{\Delta n} + Y_u \quad (9)$$

Where  $\Delta Q$  and  $\Delta P$  increment of consumed reactive and active power;  $-\Delta P_{TOT}$  increment of active power losses;  $Y_{\Delta n}$  - damage from changes in engine speed;  $\beta$  - the cost of 1 kWh of electricity;  $Y_u$  - additional costs associated with a change in the life of the engine;  $k$  - unit cost of 1 kvar of reactive power.

Synchronous motors: With voltage deviation, reactive power changes and, accordingly, active power losses:

$$\Delta P_{CZ} = D_1 \left( \frac{Q}{Q_{HOM}} \right) + D_2 \left( \frac{Q}{Q_{HOM}} \right)^2 \quad (10)$$

where  $D_1$  and  $D_2$  are constant loss factors;  $Q$  and  $Q_{HOM}$  - current and rated reactive power.

When the mains voltage rises, the reactive power supplied to the mains by the synchronous motor decreases, and when the voltage decreases, it increases.

Valve converters: When the voltage rises, the automatic control system increases the control angle, which leads to a deterioration in the power factor. Thus, an increase in voltage by 1% leads to an increase in the consumption of reactive power by the converter by  $(1 \div 1.4)\%$ . Other indicators improve with increasing voltage. It is beneficial to increase the voltage within the permissible range.

Electric furnaces: Lowering the voltage by 7% leads to a 1.5-fold deterioration in the melting process. Increasing the voltage above  $1.05 U_{HOM}$  leads to excessive consumption of electricity.

With a decrease in voltage, losses in the networks increase due to an increase in current, and the service life of the insulation decreases.

For more details on the influence of voltage deviation on electrical networks and electrical equipment, see [4].

#### Voltage fluctuations

General provisions: Voltage fluctuations mean rapid changes in its effective value, occurring at a rate of at least 1% per second.

Voltage fluctuations are characterized by the voltage swing and the flicker dose. In addition, when evaluating these PQEs, such auxiliary parameters as the frequency of voltage changes and the interval between voltage changes are used.

The voltage range - the difference between the following one after another extrema of the envelope of the effective voltage values - in percentage is calculated by the formula

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{HOM}} \cdot 100 \quad (11)$$

where  $U_i, U_{i+1}$  are the values of the following extrema or extremum and the horizontal section of the envelope of the effective values of the voltage of the fundamental frequency, determined at each half-period (Fig. 1).

It is allowed with a voltage distortion factor of sinusoidality not exceeding 5%, to be determined as a percentage by the formula

$$\delta U_t = \frac{|U_{ai} - U_{ai+1}|}{\sqrt{2}U_{HOM}} \cdot 100 \quad (12)$$

$$F_{\delta U_t} = \frac{m}{T} \quad (13)$$

where  $U_{ai}$ ,  $U_{ai+1}$  are the values of the following one after the other extrema or extremum and the horizontal section of the envelope of the amplitude values of the voltage, determined at each half-period of the fundamental frequency, V, kV.

The repetition rate of voltage changes during periodic oscillations is calculated by the formula

where  $m$  - is the number of voltage changes over time  $T$ ;  $T$  - measurement time interval, taken equal to 10 min.

The interval between voltage changes in seconds or minutes

$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i+1} - t_i \quad (14)$$

where are the initial moments of the following changes  $\Delta t_{i,i+1}$  one after another, s, min.

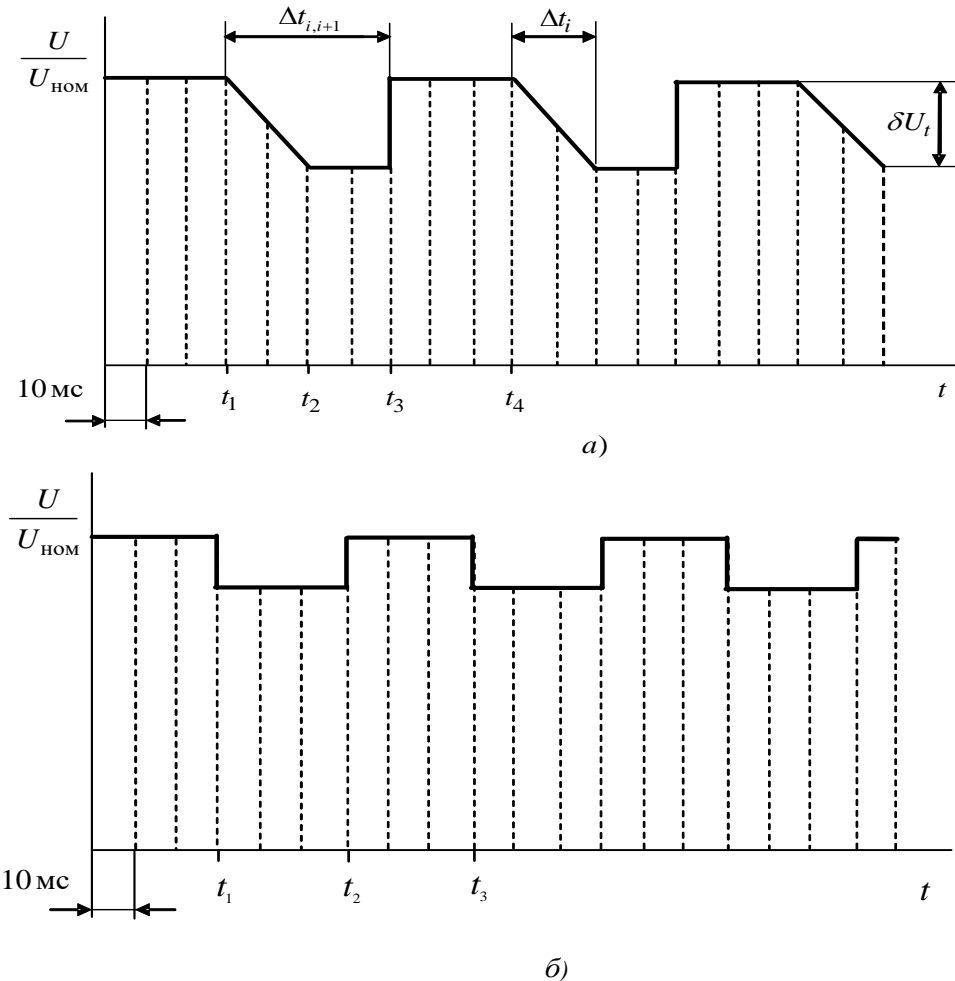


Figure 1. Voltage fluctuations of arbitrary shape (a) and having the shape of a meander (b)

If the interval between the end of one change and the beginning of the next, occurring in the same direction, is less than 30 ms, these changes are considered as one.

If the envelope of the voltage swing has a meander shape (rectangular), the maximum permissible values are determined  $\delta U_t$  depending on the frequency of

repetition of voltage changes  $F_{\delta U_t}$  or the interval between voltage changes  $\Delta t_{i,i+1}$  [1] along curve 1, and for electricity consumers with incandescent lamps in rooms where significant visual voltage - along curve 2, shown in Fig. 2.

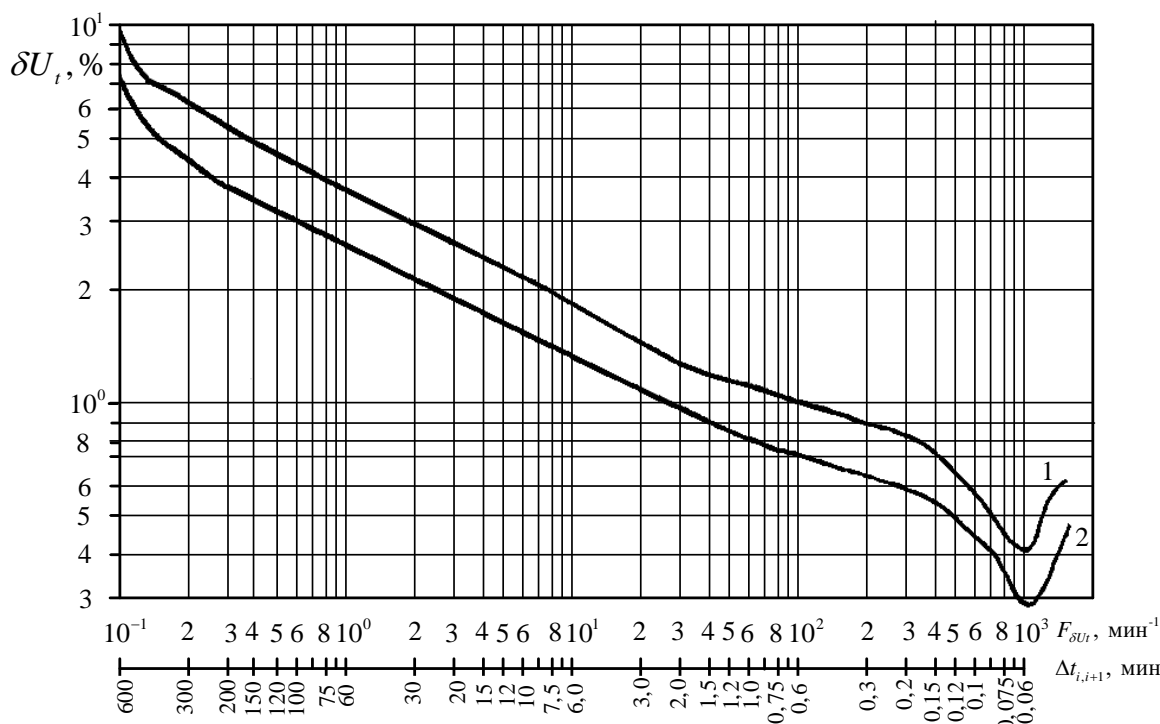


Figure 2. Maximum permissible range of voltage changes

The measured peak-to-peak value must not exceed the values determined from the curves.

The maximum permissible value of the sum of the steady-state voltage deviation  $\delta U_y$  and the voltage swing for networks  $\delta U_t$  with a voltage of 0.38 kV is equal to 10% of the rated voltage.

The flicker dose is a measure of a person's susceptibility to the effects of fluctuations in the luminous flux (flicker) of artificial light sources caused by voltage fluctuations over a set period of time.

It characterizes the power of voltage fluctuations taking into account human perception of fluctuations in the luminous flux of incandescent lamps and is determined by the integral [4].

$$P_t = \frac{k}{\theta} \int_{t-\theta}^t dt \int_0^{35} g^2(f) G(f, t) df \tag{15}$$

Where  $g(f)$  are the values of the amplitude-frequency characteristic (AFC) of the visual analyzer;  $G(f, t)$  - frequency spectrum of the process of voltage change at time  $t$ ;  $\theta$  - averaging interval, taking into account the effect of memory of perception,  $\theta = 300$  ms;  $k$  - the coefficient is chosen in such a way that the value corresponds to  $P_t = 1$  the visual sensitivity threshold.

The short-term dose of flicker is normalized  $P_{St}$ , determined at an observation time  $T_{Sh}$  interval of 10 minutes, and a long-term dose of flicker  $P_{Lt}$ , determined

at a time interval  $T_L$  of 2 hours. When the voltage waveform is different from the meander, the maximum permissible value of the short-term dose of flicker is 1.38, and long-term dose of flicker - 1.0. At the points of general connection of consumers with incandescent lamps in rooms where significant visual stress is required, the maximum permissible values of the short-term and long-term dose of flicker are 1.0 and 0.74, respectively.

The flicker dose (short-term and long-term) for voltage fluctuations of any form is determined as follows:

1. Measure with a flickermeter for a time interval  $T_{Sh}$  equal to 10 minutes flicker levels (%) 2, corresponding to the integral probability of 0.1; 0.7; 1.0; 1.5; 2.2; 3.0; 4.0; 6.0; 8.0; 10.0; 13.0; 17.0; 30.0; 50.0; 80.0%.

2. Determine with a flicker meter or calculate smoothed flicker levels  $P_S$ :

$$P_{1S} = \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3}; P_{3S} = \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3};$$

$$P_{10S} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}; P_{50S} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}, \tag{16}$$

where are  $P_{1S}$ ,  $P_{3S}$ ,  $P_{10S}$ ,  $P_{50S}$  smoothed flicker levels at integral probabilities of 1, 3, 10, and 50%, respectively.

3. Determine using a flickermeter or calculate the short-term dose of flicker  $P_{St}$ , p.u., at a time interval of 10 minutes:

$$P_{St} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1S} + 0,0657 \cdot P_{3S} + 0,28 \cdot P_{10S} + 0,08 \cdot P_{50S}} \tag{17}$$



4. Determine using a flickermeter or calculate the long-term dose of flicker  $P_{Lt}$ , p.u., over a time interval  $T_L$  of 2 hours:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{n=1}^{12} P_{Stn}^3} \quad (18)$$

where is  $P_{Stn}$  the short-term dose of flicker at the n-th time interval during  $T_{Sh}$  the observation period  $T_L$ .

The quality of electrical energy in terms of the flicker dose is considered to comply with the requirements of the standard if each short-term and long-term dose of flicker, determined by measuring within 24 hours or by calculation, does not exceed the maximum permissible values.

Analytical methods for assessing the quality of electricity with periodic and non-periodic voltage fluctuations are described in [1].

The influence of voltage fluctuations on electrical equipment: Voltage fluctuations in networks occur as a result of the operation of powerful abruptly variable loads: electric arc steel-making furnaces, welding units, valve converters, etc. They adversely affect the operation of electrical consumers.

Blinking of lighting lamps (flicker) causes an unpleasant psychological effect, eye and body fatigue and, as a result, a decrease in labor productivity. The most powerful effect is the blinking of light with a frequency of 3-10 Hz. With the same voltage fluctuations, incandescent lamps have a greater effect on a person than gas-discharge lamps.

The voltage swing  $\delta U_t = 10\%$  can lead to extinguishing of gas discharge lamps.

If  $\delta U_t > 15\%$  the magnetic systems of the starters may fall off.

If  $\delta U_t = 10 \div 15\%$  capacitors and rectifier units can fail.

Voltage fluctuations in the mains supply to the electric arc furnace will increase the melting time.

The operation of continuous rolling mills is disrupted due to the impossibility of maintaining the ratio of the mill stands' speeds unchanged. The quality of rolling is deteriorating. The misalignment of the mill drive speeds occurs at  $\delta U_t > 5\%$ . Possible marriage, under-production. The same effects cause voltage fluctuations in the paper and textile industry.

Voltage fluctuations affect small induction motors (torque fluctuations).

Oscillation of the turbine generators can occur, resulting in effects on the turbine blades and regulators. This affects the efficiency of the station. Voltage fluctuations can cause erratic performance.

Voltage fluctuations lead to increased electrode wear and reduced service life of electrolysis plants.

Voltage fluctuations have an effect on resistance welding. At  $\delta U_t > 3 \div 5\%$ , the quality of welding and the reliability of equipment operation (welding control schemes) decrease. The duration of permissible voltage fluctuations (3 ÷ 5)% is limited to no more than 0.2 s in order to avoid false operation of the control equipment.

Voltage fluctuations can cause radio interference, disrupt the operation and shorten the life of radios, and distort images on TV screens.

Voltage fluctuations at  $\delta U_t = 1 \div 1.5\%$  can cause malfunction of the computer.

The question of the influence of voltage fluctuations on individual electrical installations is poorly understood. There is only accumulated statistical material. Therefore, when designing networks with abruptly varying loads, technical and economic analysis is difficult.

**Calculation of voltage fluctuations:** Let us consider the occurrence of voltage deviations and fluctuations using the example of load operation with a powerful valve converter. The equivalent resistance of the supply network contains inductive  $X_c$  and active  $R_c$  components. Ratio  $X_c/R_c = 10 \div 30$ . The vector diagram of the network is shown in Fig. 3.

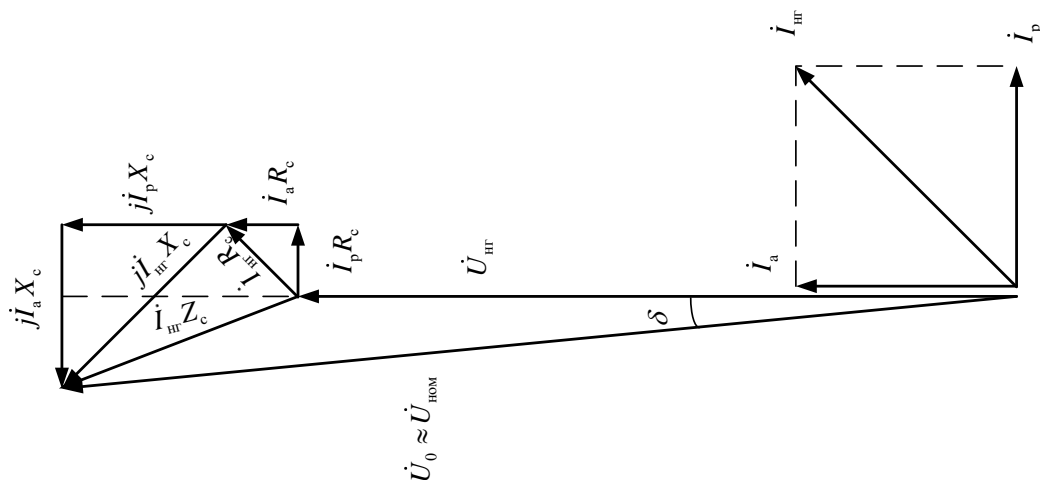


Figure 3. Vector diagram of the power supply network

When the valve converter is off, the bus voltage is equal to the open circuit voltage, and assuming there is no other load, it is equal to the system voltage. When the load is switched on, the load current creates a

voltage drop across the system resistances, which leads to a change in the voltage on the buses both in phase and in amplitude.

The voltage change is represented by vectors  $\dot{I}_a R_c$ ,  $j\dot{I}_a X_c$ ,  $\dot{I}_p R_c$ ,  $j\dot{I}_p X_c$ , and the voltage decrease is mainly determined by the vectors  $\dot{I}_a R_c$  and  $j\dot{I}_p X_c$  ( $\delta \leq 10^\circ$ ). With a sufficient degree of accuracy, the voltage deviation  $\delta U$  and range of change  $\delta U_t$  can be determined (in relative units) by the formula

$$\delta U = \delta U_t \approx \frac{I_a R_c + I_p X_c}{U_{HOM}} \quad (19)$$

The difference between deflection and voltage fluctuations is only in the rate of voltage change.

The numerator and denominator are multiplied by  $3U_{HOM}/X_c$

$$\delta U = \delta U_t \approx \frac{\frac{3U_{HOM} I_a R_c + 3U_{HOM} I_p X_c}{X_c}}{\frac{3U_{HOM}^2}{X_c}} = \frac{P \frac{R_c}{X_c} + Q}{S_K} \quad (20)$$

Where  $P$  and  $Q$  - active and reactive power of the load;  $S_K$  - short-circuit power on power buses.

A change in load also leads to a change in voltage. Therefore, for  $Q = \Delta Q$  and  $P = \Delta P$  we get

$$\delta U = \delta U_t \approx \frac{\Delta P \frac{R_c}{X_c} + \Delta Q}{S_K} = \frac{\Delta P(0,03 \div 0,1) + \Delta Q}{S_K} \quad (21)$$

For approximate calculations, you can take, %,

$$\delta U = \delta U_t \approx 100 \frac{\Delta Q}{S_K} \quad (22)$$

When determining the permissibility of voltage fluctuations at the design point of the network, the initial data are load graphs. If the load fluctuations are different in value, then the equivalent voltage fluctuation is determined. The range of the equivalent voltage fluctuation, %, [2]

$$\delta U_{t3} = \frac{100}{S_K} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta Q_i^2}{n}} \quad (23)$$

where  $\delta Q_i$  the value of the  $i$ -th range of reactive power, determined according to the schedule;  $n$  - the total number of swings during the calculation cycle. To check the permissible  $\delta U_{t3}$ , the average vibration frequency is calculated by the formula

$$f_{cp} = \frac{n}{T} \quad (24)$$

where  $T$  - is the cycle time of the load according to the graph of changes in the consumed reactive power.

**Reducing voltage fluctuations in electrical networks:** Voltage fluctuations that occur during abruptly alternating loads are practically proportional to fluctuations in reactive power. Therefore, to eliminate voltage fluctuations, it is necessary to use compensating devices that meet the following conditions:

- a) have a speed corresponding to a change in the reactive power graph;
- b) have sufficient reactive power to compensate for the alternating component (voltage fluctuations) and the direct component (improving the power factor);
- c) in case of a sharp voltage asymmetry, for example, during the operation of electric arc furnaces, it is necessary to control compensating devices in phases.

Longitudinal capacitive compensation of parameters allows to reduce the inductive  $X_n$  and impedance  $Z_n$  of the line. It is carried out by including capacitors in the line cut. The use of longitudinal compensation units (UPK) is most effective at a large ratio  $X_n/R_n$ , as well as at low values of the power factor. UPK are used for power supply of welding installations and ore-thermal furnaces.

Load sharing helps to reduce voltage fluctuations. The simplest is the scheme with a double reactor: quiet and fast-changing loads are connected to different sections of the reactor (Fig. 4). The voltage drop across each of the sections is reduced due to the mutual inductive coupling.

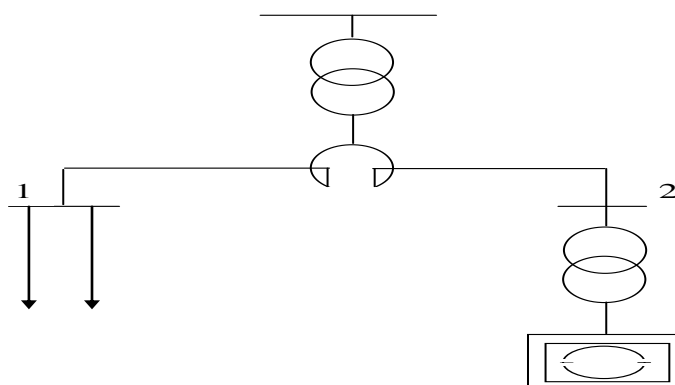


Figure 4. Loads supply circuit using a dual reactor: 1 - quiet loads; 2 - shock loads

We assume that the load currents of the sections  $I_1$  и  $I_2$  are equal, the inductive resistance of the reactor

section  $X_L$ , and the coefficient of mutual inductive coupling  $k_M = M/L = 0,5 \div 0,6$ . Then the voltage drop across the sections

$$\Delta U = X_L(I_1 - k_M I_2) = X_L(I_2 - k_M I_1) = X_L I_{1(2)}(1 - k_M)$$

decreases by about half, which leads to a decrease in voltage fluctuations on the buses of a quiet load.

Split-winding transformers are also used for load sharing. The relationship between the voltage drops on the low side  $\Delta U_2$  and  $\Delta U_3$  can be represented as [2]:

$$\Delta U_2 = \Delta U_3 \frac{4-k_p}{4+k_p} \quad (25)$$

where is  $k_p = U_{K(2-3)}/U_K$  the splitting coefficient, on average equal to 3.5;  $U_{K(2-3)}$  - short-circuit voltage between the split secondary windings of the transformer; -  $U_K$  voltage of the through short-circuit transformer.

### References

1. GOST 13109-97. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Electricity quality standards in general-purpose power supply systems] – Mn.: Mezhdgosudarstvennyy Sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. 1997. – 30 p.
2. Ivanov V.S. i Sokolov V.I. Rezhimy potrebleniya i kachestvo elektroenergii sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy

[Modes of consumption and quality of electricity in power supply systems of industrial enterprises]. – M.: Energoatomizdat. 1987. – 337 p.

3. Zhezhelenko I.V. Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh [Power quality indicators and their control at industrial enterprises]. – M.: Energoatomizdat. 1986. – 167 p.

4. Zhezhelenko I.V., Sayenko YU.L. Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh [Power quality indicators and their control at industrial enterprises]. – M.: Energoatomizdat. 2000. – 253 p.

5. Vol'dek A.I. Elektricheskiye mashiny. – L.: "Energiya" [Energy]. 1974. – 839 p.

6. Rekomendatsii po zazemleniyu i zashchite personal'nykh [Recommendations for grounding and protection of personal computers] EVM. – M.: VNIPI «Tyazhpromproyekt», 2001. – 5 p.

7. Zhokhov B.D. Osobennosti elektrosnabzheniya tekhnicheskikh sredstv vychislitel'nykh sistem // Promyshlennaya energetika [Features of power supply of technical means of computing systems // Industrial energy], 1996, №3. – p. 17-24.

ГРНТИ 55.19.03  
УДК 621.9.01;02

**Rakunov Y.P.**  
*PhD. Tech. Sci.*  
**Abramov V.V.**  
*Dr. of Tech. Sci., professor*  
**Rakunov A.Y.**  
*Engineer;*

*National Research Moscow State University of Civil Engineering*

## THEORETICAL AND PRACTICAL METHODS FOR DETERMINING THE OPTIMAL CUTTING CONDITIONS FOR METALS AND ALLOYS USING UNIFIED CUTTERS

**Ракунов Юрий Павлович**  
*канд. техн. наук, доцент*  
**Абрамов Валерий Васильевич**  
*д-р техн. наук, профессор*  
**Ракунов Александр Юрьевич**  
*инженер; Национальный исследовательский*  
*Московский государственный строительный университет, Россия.*

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ УНИФИЦИРОВАННЫМИ РЕЗЦАМИ

**Summary.** The article considers the scientific and technical approaches to the problem of determining the cutting speed during the machining of the working surfaces of machine parts with a unified tool on CNC machines. A comparison was made of the optimum cutting temperatures obtained during steel turning with the temperatures of their structural-phase  $\alpha$ - $\gamma$  transformations. Methodological errors of researchers on the purpose of tool life and cutting speed, based on Taylor's formulas, are analyzed. Accelerated methods for determining the optimal cutting

conditions are classified. It is shown that the law of constancy of the optimum cutting temperature provides the maximum tool life, the highest machining accuracy at the optimum cutting speed for both structural and hard-to-machine materials.

**Аннотация.** В статье рассмотрены научно-технические подходы к проблеме определения скорости резания при механической обработке рабочих поверхностей деталей машин унифицированным инструментом на станках с ЧПУ. Произведено сопоставление оптимальных температур резания, полученных при точении сталей, с температурами их структурно-фазовых  $\alpha$ - $\gamma$  превращений. Разобраны методические ошибки исследователей по назначению стойкости инструмента и скорости резания, основанного на формулах Тейлора. Классифицированы ускоренные способы определения режимов оптимального резания. Показано, что закон постоянства оптимальной температуры резания обеспечивает максимальную стойкость инструмента, наивысшую точность обработки при оптимальной скорости резания, как для конструкционных, так и труднообрабатываемых материалов.

*Key words:* *optimal cutting efficiency, optimal cutting speed, economic tool life, methodological errors, cutting conditions, optimum cutting temperature, temperature of structural and phase transformations, wear rate, maximum tool life.*

*Ключевые слова:* *эффективность оптимального резания, оптимальная скорость резания, экономическая стойкость инструмента, методические ошибки, режимы резания, оптимальная температура резания, температура структурно-фазовых превращений, интенсивность износа, максимальная стойкость инструмента.*

### **Введение. Постановка проблемы.**

Важнейшей задачей науки о резании металлов является установление действительных закономерностей основных характеристик процесса в зависимости от изменения свойств обрабатываемого материала (ОМ), параметров режимов резания (РР), материала и геометрии режущего инструмента (РИ) и других внешних условий с целью оптимизации процесса по выбранным критериям оптимизации. Для оценки процесса резания наибольшее значение имеют: размерный износ и стойкость унифицированного РИ (УРИ), производительность и себестоимость обработки и показатели качества деталей: их эксплуатационная надежность и долговечность [1-3]. Наибольшие резервы повышения эффективности и качества обработки, снижения расхода инструментальных материалов (ИМ) содержатся в правильном выборе скорости резания  $V$ , так как она определяет тепловую напряженность процесса резания, производительность и качество обработки. Определение оптимальной  $V$  представляет наибольшую трудность, т.к. зависимость интенсивности износа УРИ от  $V$  носят характер сложных кривых с одной или несколькими точками минимума. В ряде научных коллективов СССР и РФ были проведены исследования указанных вопросов, которые заложили основы теории резания металлов с направлением оптимизации процессов по физическим параметрам – интенсивности износа  $h_{on}$  РИ и параметрам качества поверхностного слоя [1-6].

Основой и стимулом для развития исследований послужила выдвинутая А.Д. Макаровым гипотеза о постоянстве температуры резания  $\theta_0$ , при которой наблюдаются минимальная интенсивность износа унифицированного РИ и его максимальная размерная стойкость [2, с.67-73]. Эта гипотеза нашла экспериментальное подтверждение для продольного точения, затем оказалась справедливой и для многих видов обработки

металлов лезвийными РИ: торцового точения, растачивания, торцового фрезерования, фрезерования концевыми фрезами, сверления, нарезания резьбы, зубофрезерования, протягивания, зенкерования и развертывания, в том числе для труднообрабатываемых материалов (ТОМ), таких как жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. Из указанного закона выведено свыше десятка следствий, значительно расширивших и углубивших его действие [2]. Инвариантность оптимальной температуры  $\theta_0$  к изменению большого числа внешних условий процесса резания [2-6] позволяет:

- значительно повысить размерную стойкость УРИ и снизить его расход, что особенно важно при обработке труднообрабатываемых материалов;

- производить адаптивное управление процессом резания по  $\theta_0$  (величине ТЭДС) и автоматически поддерживать процесс резания на оптимальном уровне.

### **1. Основное содержание и результаты работы**

Оптимальное управление процессом резания при обработке крупногабаритных деталей сложной формы (дисков турбин и компрессоров газотурбинных двигателей) было внедрено на ряде предприятий с большим экономическим эффектом. Важным достоинством оптимальных по интенсивности износа УРИ скоростей резания является то, что указанные скорости являются оптимальными и по основным характеристикам качества поверхностного слоя [6]. Равенство или совпадение указанных скоростей резания (как и само существование оптимальных температур контактного взаимодействия при резании металлов) вытекает из установленной и уточняемой в течение ряда лет физической сущности оптимальной температуры  $\theta_0$ . Так в работе [7] была выдвинута гипотеза о равенстве  $\theta_0$  при обработке сталей температуре точки АС<sub>3</sub> структурно-фазового  $\alpha$ - $\gamma$  превращения, а в работе [2, с.73] отмечалось, что  $\theta_0$  титанового сплава примерно

равна температуре его рекристаллизации. Естественно, что совпадение  $\theta_0$  с температурой структурно-фазовых или иных превращений в обрабатываемых материалах является закономерным. При температурах структурно-фазовых превращений в приповерхностных контактных слоях обрабатываемых материалов происходит резкое, скачкообразное изменение физических свойств (параметра кристаллической решетки, коэффициента линейного расширения, удельных теплоемкости и электросопротивления, термоэлектродвижущей силы, модуля упругости и др.), ослабление межатомных связей и потеря устойчивости решетки исходной фазы к смещениям атомов при нагреве. Исчезновение ферромагнетизма при температурах точек Кюри (для железа  $-768\text{ }^\circ\text{C}$ , никеля  $-365\text{ }^\circ\text{C}$ , кобальта  $-1150\text{ }^\circ\text{C}$ ) также сопровождается скачкообразным изменением ряда физических свойств. Экспериментальные исследования чистового (финишного) точения ( $t = 0,25\text{ мм}$ ,  $S_0 = 0,1\text{ мм/об}$ ) сталей твердосплавными УРИ из Т15К6 и Т30К4, показали (см. рис 1 и табл. 1), что  $\theta_0$ , измеренные методом естественной термопары, как температуры, обеспечивающие наименьшую  $h_{on}$  УРИ, практически совпадают с температурами точек АС<sub>3</sub> структурно-фазовых превращений в указанных сталях. Убедительное экспериментальное подтверждение гипотезы о равенстве  $\theta_0$  температурам структурно-фазовых  $\alpha$ - $\gamma$  превращений получено также при точении железо-

никелевых сплавов [4]. Тот факт, что  $\theta_0$  связывается с температурами критических точек структурно-фазовых или иных превращений ОМ, является основанием для инвариантности  $\theta_0$  по отношению к различным видам обработки. В силу того, что износ УРИ по задней поверхности  $h_z$  и образование поверхностного слоя детали являются результатом действия одних и тех же физических причин (работа сил трения в контакте УРИ-деталь), при наличии **экстремальной** зависимости интенсивности износа от  $V$ , зависимости шероховатости поверхности, глубины и степени наклепа, плотности дислокаций от  $V$  должны иметь экстремальный характер с точками минимума при **оптимальных скоростях резания** –  $V_0$ . Детали, обработанные на  $V_0$ , как показали исследования, имеют более высокую жаропрочность, длительную прочность, коррозионную стойкость и износостойкость по сравнению с деталями, обработанными на более низких или более высоких скоростях резания. Рабочие поверхности, обработанные на  $V_0$ , обладают максимальной контактной жесткостью [2,5]. Так же оптимальные по интенсивности износа РР являются оптимальными по форме и характеру схода стружки и объемной деформации сжатия стружки. Работа на режимах оптимального резания (РОР) приводит к достижению наиболее высокой точности чистовой и финишной обработки и повышает надежность ее обеспечения [3-7].

Табл. 1

**Сопоставление оптимальных температур резания, полученных при точении сталей, с температурами их структурно-фазовых  $\alpha$ - $\gamma$  превращений**

Марка стали	Оптимальная температура / скорость резания $\theta_0/V_0$ ; ( $V_{60}^{T15K6}$ ); ( $V_{60}^{T30K4}$ ) °C / м/мин	Температура точки АС <sub>3</sub> $\theta_1$ , °C	$\Delta_0 = \theta_0 - \theta_1$ , °C	$\Delta = (\theta_0 - \theta_1) / \theta_0$ , %
Сталь Э	910 /540; (452); (640)	890	20	2,2
10	850 /460; (615); (872)	860	30	3,36
20	870 /390; (436); (618)	840	30	3,44
30	840 /340; (356); (504)	820	20	2,38
40	820 /300; (258); (366)	730	30	3,65
45	790 /280; (249); (353)	775	15	1,9
45	800 /285; (260); (369)	775	25	3,12
50	790 /270; (211); (299)	760	30	3,80
12Х2Н4А	800 /240; (230); (325)	780	20	2,5
20ХН	850 /320; (386); (547)	835	15	1,76
20ХНМ	820 /315; (376); (533)	810	10	1,22
30ХГСА	820 /160; (192); (273)	830	-10	1,22
30ХГСНА	800 /155; (180); (256)	815	-15	1,87
50Х	780 /220; (228); (323)	770	10	1,28
50ХНС	800 /235; (225); (320)	770	30	3,75

Прим.:  $V_{60}^{T15K6}$ ;  $V_{60}^{T30K4}$  – скорости резания, дающие стойкости  $T = 60$  мин для Т15К6; Т30К4

Трудно переоценить положительные свойства  $V_0$  при изготовлении особо ответственных деталей приборов и машин и при эксплуатации УРИ, специализированного и специального РИ в условиях автоматизированного производства [6]. Оптимальные  $V_0$  позволяют также производить объективную сравнительную оценку режущих

свойств инструментальных материалов и обрабатываемости металлов резанием [7]. Знание  $V_0$  является совершенно необходимым для технически грамотной и эффективной эксплуатации УРИ в многообразных условиях его применения. Таким образом, использование  $V_0$  позволяет исключать все еще имеющиеся на

практике случаи неправильной (или преднамеренной), технически неграмотной эксплуатации инструмента, когда в погоне за

высокой стойкостью РИ на производстве в ряде случаев используют заниженные скорости резания  $V_T$  [2,7] (табл. 1).

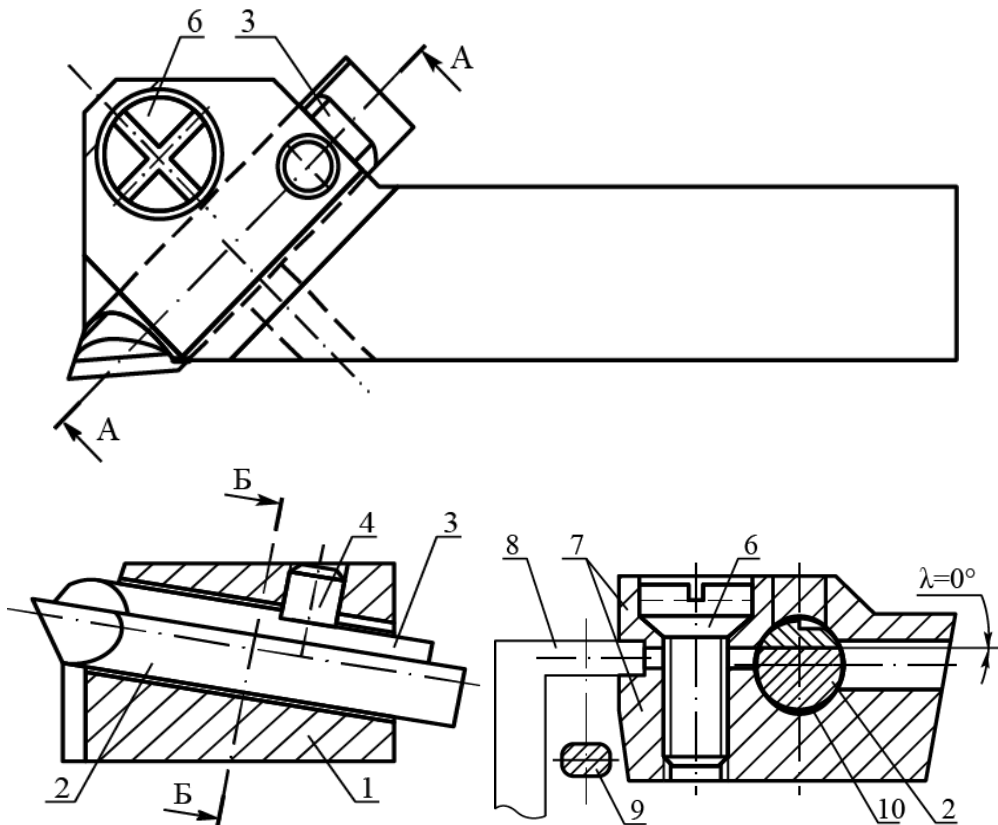


Рис.1. Унифицированный наружный контурный резец с многократно перетачиваемыми режущими элементами (РЭ)

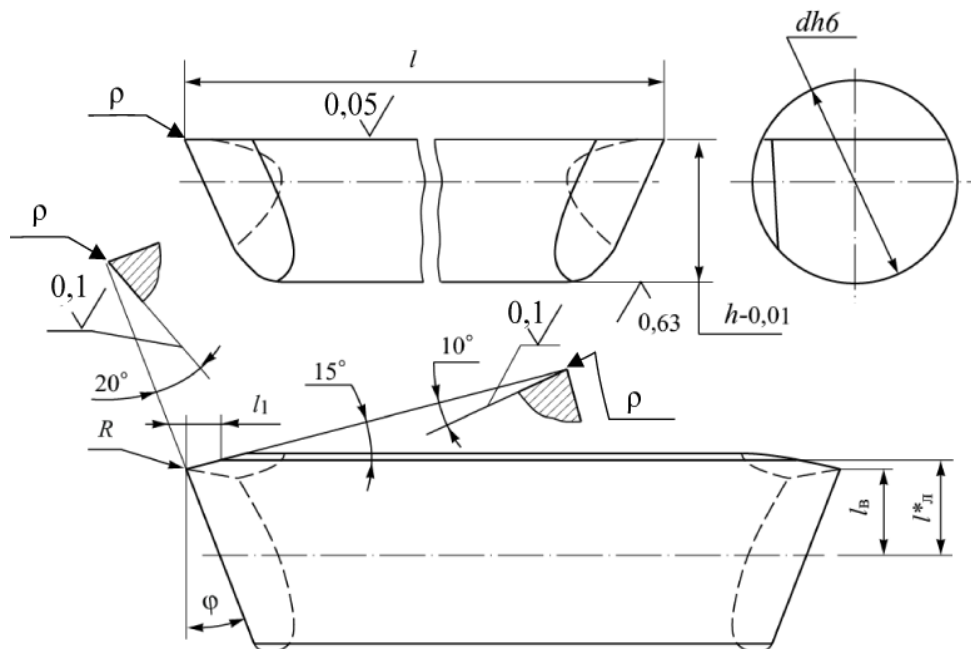


Рис.2. Режущий элемент УРИ лево-правый, контурный:  $\rho_{np} = 5 \dots 10 \text{ мкм}$   
 $\rho_{\phi} = 3 \dots 5 \text{ мкм}$ .

К сожалению, в погоне за «производительностью» часто жертвуют стойкостью инструмента  $T$ , назначая завышенную скорость резания  $V_T$ , соответствующую по давно

устаревшей и несправедливой формуле Тейлора, произвольно выбранному периоду стойкости  $T_{\Sigma}$  [1,2,5,8]. При этом повышение производительности на 33...46% приводит к снижению стойкости в 4...6

раз [2,3], что недопустимо, как по причине низкого качества обработки, так и высокой инструментальности процесса, частоты смены и наладки РИ, что нарушает режим станков с ЧПУ «настройки и коррекции размеров» обрабатываемых поверхностей деталей и приводит к экономическим потерям [10,11]. . . С этой точки зрения весьма показательным является *пример*, приведенный в статье, которую написал Патрик де Вос (Patrick de Vos) – управляющий по корпоративному техническому обучению компании Seco Tools [9]. «Упрощенный пример непредвиденного влияния факторов обработки: при обработке детали 2 мин требуется на резание и 2 мин – на загрузку и разгрузку заготовки. На смену РИ уходит 1 мин; период стойкости инструмента  $T=10$  мин – 5 заготовок, то есть время индексации инструмента (настройки на размер) составляет 0,2 мин на деталь. Для каждой детали требуется 4,2 мин времени обработки, следовательно, производительность немного превышает 14 заготовок в час. Стоимость РИ составляет 15 евро, а его стойкость, равная 5 заготовкам, означает, что для производства 14 заготовок требуется 2,8 РИ (стоимость - 42 евро). Стоимость станка – 50 евро в час. Итого стоимость производства 14 заготовок за 1 час составляет 92 евро. Затем, пытаясь ускорить выработку и производительность, цех увеличивает  $V$  на 10%. Это сокращает время резания на 10% (до 1,8 мин), но при этом снижает стойкость инструмента примерно вдвое. Это значит, что одна режущая кромка обработает только 2,5 заготовки до того, как потребуется индексация. Время индексации РИ по-прежнему составляет 1 минуту, загрузка/разгрузка заготовки – 2 мин. Время производства 1 заготовки остается 4,2 мин (1,8 мин резания, 2 мин перемещение заготовки и 0,4 мин индексации инструмента) или 14 заготовок в час. Стоимость станка и РИ неизменны, поэтому требуется использовать в час 5,6 РИ (стоимость - 84 евро). **Несмотря на попытку повысить производительность**, время обработки 14 заготовок остается прежним, а затраты повышаются с 92 до 134 евро. (в 1,45 раза)! В данном случае увеличение  $V$  не повышает производительность перехода. Этот казус происходит по причине несоответствия условий обработки РОР, т.е. в виду отсутствия у ведущих производителей РИ со сменными неплетачиваемыми пластинами (СМП) технологических рекомендаций по РР для обеспечения точности обработки при необходимой стойкости РИ [8,10]. Изменение времени резания влияет на другие факторы в системе обработки: в данном примере – на стойкость и время индексации РИ. Поэтому, цех должен тщательно учитывать все последствия изменений процесса». Другая форма скрытых затрат включает выполнение вспомогательных переходов в процессе. Например, на многих предприятиях классическим примером скрытых затрат является время, затраченное на индексацию СМП. Время на индексацию СМП,

может составлять 1 мин. Однако время, фактически измеряемое на рабочем месте, может быть на 2, 3 или 10 мин больше, что означает разницу от 1 до 10 мин в зависимости от точности размеров детали (заготовки), особенно, при финишной контурной обработке нескольких точных поверхностей за один установ в одном переходе (одним РИ). Зарубежные исследователи еще в 1960...70-х годах 20-го века убедились в несправедливости формулы Тейлора, которая не дает точного выражения зависимости  $T=f(V)$  при стойкостях РИ меньших 120 мин. Соответствующие ей формулы экономических стойкости  $T_3$  и скорости резания  $V_3$  – неверны. Их использование дает очень малые экономические стойкости. Поэтому была предложена зависимость  $T-V$ , которая выражается формулой  $V(C+T) = L$ , где  $C$  – постоянная для данной пары материалов (ОМ-ИМ). Эта формула более точно определяет  $T_3$  в диапазоне 10-120 мин [5,8]. . Важно отметить, что как снижение, так и повышение  $V$  по сравнению с оптимальными  $V_0$  приводит к значительному повышению интенсивности износа и снижению размерной стойкости инструмента. Например, полуторакратное повышение скоростей резания по сравнению с  $V_0$  при чистовом точении стали 12Х18Н10Т унифицированными резцами Т30К4 на подачах 0,1–0,15 мм/об приводит к более чем двадцатикратному снижению размерной стойкости, а уменьшение  $V$  в два раза по сравнению с оптимальными в ряде случаев вызывает снижение размерной стойкости в 6–36 раз. Использование параметрических уравнений максимальной размерной стойкости во многих случаях позволяет повысить размерную стойкость инструмента (в 1,15–3,34 раза) при одновременном повышении производительности обработки (в 1,17–2,57 раза) и снизить себестоимость изготовления деталей (в 1,19–2,56 раза) по сравнению с нормативными данными [1,2-4]. . . Для определения оптимальных  $V_0$  обычно проводят стойкостные исследования на 6-8 скоростях резания и скорости резания, при которой обеспечивается максимальная размерная стойкость РИ или наименьшая интенсивность его износа, и принимают за оптимальную -  $V_0$ . Этот метод определения  $V_0$  является достаточно надежным, но обладает очень высокой трудоемкостью и требует большого расхода исследуемых на обрабатываемость материалов. Использование же оптимальной температуры резания  $\theta_0$ , являющейся физической константой обрабатываемого материала, позволяет определять  $V_0$  для любых видов обработки лишь на основе температурных исследований без постановки и организации трудоёмких стойкостных испытаний.

**2. Ускоренные способы определения  $V_0$  подразделяют на следующие группы:** 1. Методы, основанные на сокращении продолжительности стойкостных испытаний, когда интенсивность износа УРИ определяют лишь по начальному участку периода нормального износа без доведения УРИ до полного износа [2,4]. К этой группе

относится и метод, основанный на том, что за одно затупление (допустимый износ) УРИ производится определение интенсивности его износа не для одной, а для нескольких (3-5) скоростей резания [4].

2. Способы, основанные на замене трудоемких стойкостных испытаний для построения кривой относительного поверхностного износа УРИ  $h_{on} = f(V)$ , опытами по установлению закономерностей изменения от скорости резания каких-то других, легко и быстро определяемых характеристик процесса резания. Естественно, такая замена правомерна в том случае, если заменяющие характеристики процесса резания в той или иной степени реагируют на переход  $v$  через оптимальную. Вообще говоря, такими характеристиками могут быть: усадка стружки, микротвердость ее прирезцово-й стороны, ширина пятна контакта стружки с передней поверхностью УРИ, глубина повторного резания, параметры качества обработанного поверхностного слоя – шероховатость, глубина и степень наклепа. Точность этих методов будет зависеть от резкости и стабильности реагирования той или иной характеристики на переход  $v$  через оптимальное значение, от наличия надежных средств измерения, необходимых для фиксации критических точек на кривых зависимости отмеченных выше заменяющих характеристик от  $V$ . Для всех методов, отмеченных во второй группе, проведение процесса резания на 6-8 скоростях резания также является обязательным. Сокращение продолжительности испытаний здесь также может быть весьма значительным, так как для определения заменяющих характеристик время работы УРИ на каждой  $V$  обычно не превышает 20-30 секунд. 3. Третья группа ускоренных способов определения  $V_0$  основана на научно установленных фактах совпадения  $\theta_0$  с критическими

температурами различного рода превращений в ОМ: точки  $AC_3$  структурно-фазовых  $\alpha$ - $\gamma$  превращения, точка Кюри и др. Известно, что в превращениях наблюдается скачкообразное (превращение 1 рода) или резкое (превращение 2 рода) изменения основных физических свойств металлов и сплавов [4]. Следовательно, определив температуру критических точек по температурным зависимостям физических свойств ОМ и приняв ее за  $\theta_0$ , можно легко определить и  $V_0$  по кривым  $\theta = f(V)$ . Если при температурах структурных и фазовых превращений на температурных зависимостях физико-механических свойств ОМ (показатели пластичности, прочности твердости и др.) также наблюдаются критические точки (в виде точек максимума или минимума, точек перегиба и др.), то в этом случае оптимальные температуры (а, следовательно, и скорости) резания могут определяться по критическим точкам на указанных зависимостях. Для облегчения практического использования возможностей быстрого подбора оптимальных режимов в производственных условиях разработаны специальные номограммы [2,3], в основе которых лежат параметрические уравнения максимальной размерной стойкости, данные о высоте неровностей обработанной поверхности при оптимальных сочетаниях  $V$  и  $S$ , а также экономические расчёты (рис. 3,4).

Описанные способы послужили методической и технологической базой для разработки первичной подсистемы многоуровневой базовой технологии, типажа УРИ, таблиц-матриц РОР (путем проведения тщательных экспериментальных работ в течение 25 лет) и способствовали созданию подсистемы синтезирования переходов, позиций и установов токарной групповой технологии в условиях серийного и мелкосерийного многономенклатурного производства [3,7,11,12].



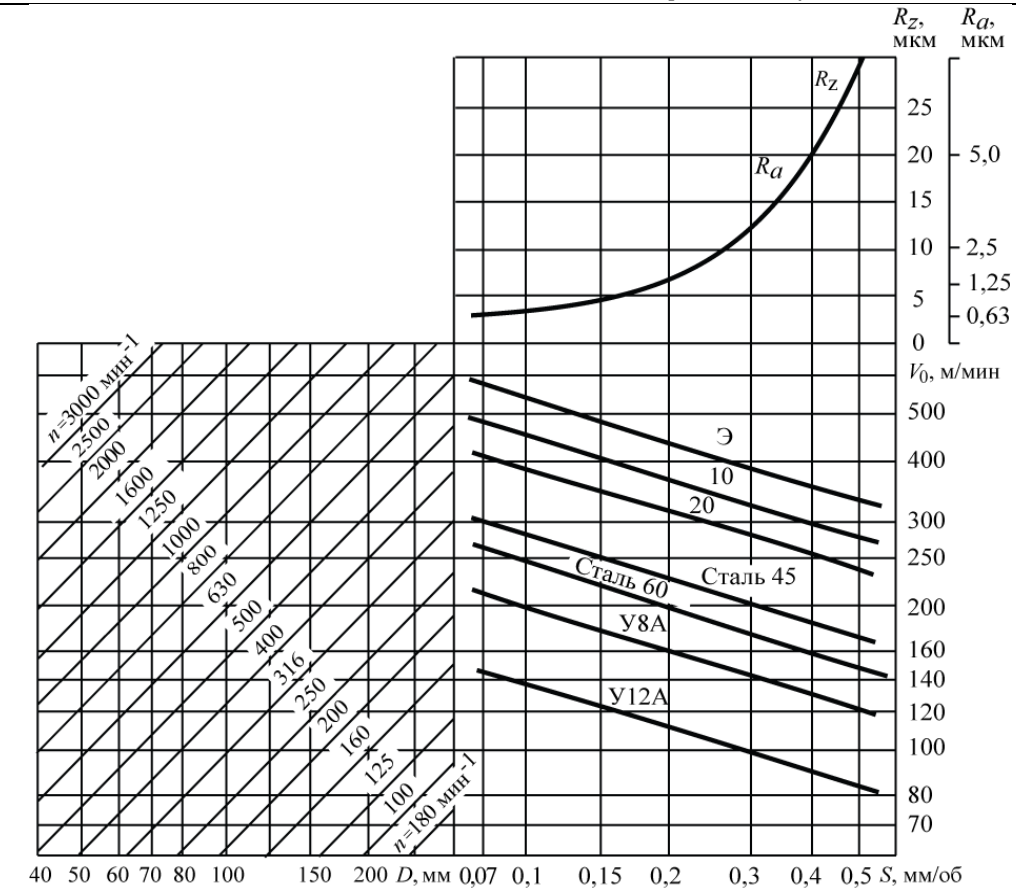


Рис. 3. Номограмма выбора режимов резания при точении углеродистых сталей резцом Т15К6 ( $\gamma = 8^\circ$ ,  $\alpha = \alpha_1 = 15^\circ$ ;  $\varphi = 35^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $R = 0,5 \dots 1$  мм;  $t = 0,5 \dots 1$  мм)

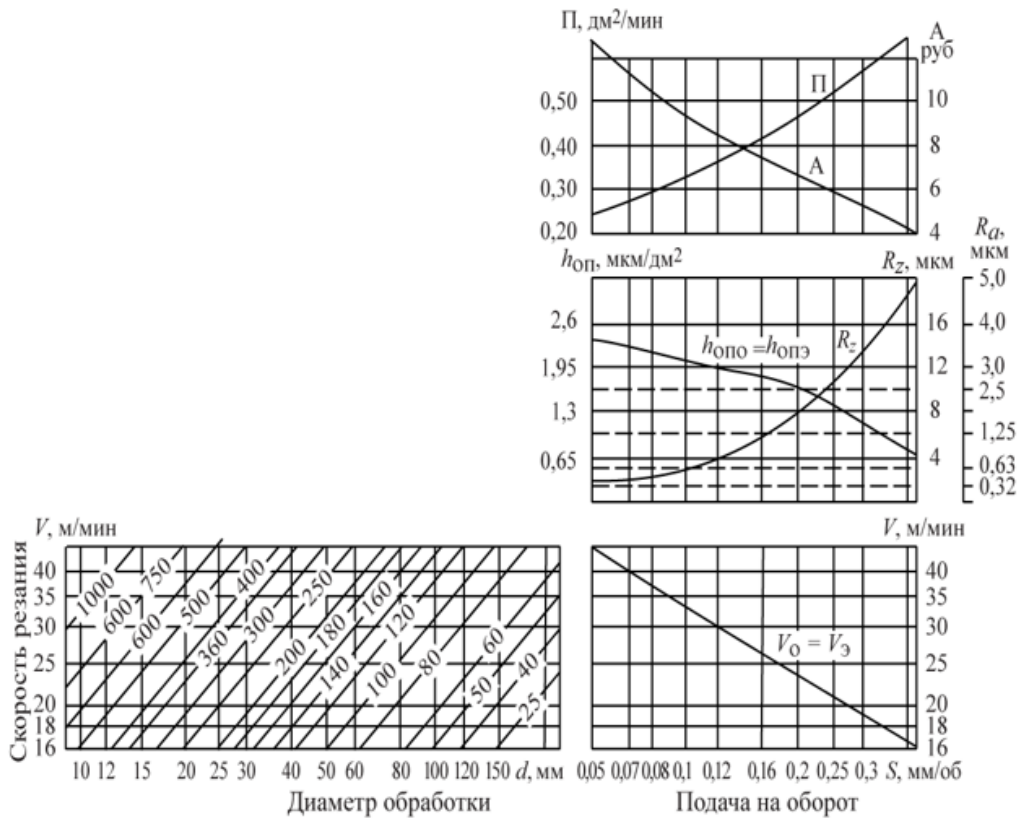


Рис. 4. Номограмма определения  $S$  и  $V$  при точении жаропрочного сплава ХН77ТЮР. Резец унифицированной конструкции с РЭ из ВК60М:  $\gamma = 12^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $R = 0,3 - 2,0$  мм;  $t = 0,5 - 1,5$  мм.

Номограммы позволяют по заданной высоте неровностей обработанной поверхности и принятой величине радиуса сопряжения задних поверхностей резца определить максимально допустимую величину подачи  $S_k$ . Работа на подачах  $S > S_k$  не обеспечит требуемой шероховатости обработки, а на подачах  $S < S_k$  нерациональна, так как снижает производительность труда, повышает себестоимость обработки и поверхностный относительный износ (т. е. снижает точность обработки), а также увеличивает расход УРИ. Номограммы избавляют рабочего и нормировщика, технолога и конструктора при выборе оптимального РР от власти случайного выбора, дающего обычно непредсказуемые результаты [1-3]. Подобные номограммы необходимы при проектировании автоматических линий, где скорости рабочих движений устанавливаются неизменными. Также они необходимы для успешной разработки управляющих программ для станков с ЧПУ и автоматов продольного точения. Номограммы наглядно показывают, что при соблюдении постоянства оптимальной температуры и скорости резания повышение подачи (в диапазонах для черного, получистового, чистового и тонкого точения) всегда повышает не только производительность обработки, но и размерную стойкость УРИ, а, следовательно, точность и качество обрабатываемых поверхностей ответственных деталей.

**Заключение**. В заключение необходимо отметить, что, основываясь на физических причинах появления оптимальных температурных зон при резании всех конструкционных сталей и жаропрочных сплавов, способах определения оптимальных скоростей резания разработаны методы направленного формирования свойств новых ОМ при обработке резанием. Внедрение указанных методов в производство высокотехнологичных изделий оказывается весьма эффективным. Детали, обработанные на  $V_0$ , как показали многочисленные исследования, имеют более высокую жаропрочность, длительную прочность, коррозионную стойкость и износостойкость по сравнению с деталями, обработанными на более низких или более высоких скоростях резания. Работа на режимах оптимального резания приводит к достижению наиболее высокой точности

чистовой и финишной обработки конструкционных и труднообрабатываемых материалов и повышает надежность ее обеспечения на автоматизированном оборудовании.

### Список литературы

1. Звонцов И.Ф., Иванов К.М., Серебrenицкий П.П. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ: Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 588 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература)
2. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
3. Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин. // Научно-технические технологии в машиностроении. – № 2, 2013. – С.36-48.
4. Макаров А.Д., Самигуллин Р.З. О связи оптимальных температур резания с температурами структурно-фазовых превращений в обрабатываемых материалах. Межвуз. науч. сб./ Уфа: УАИ, 1981, вып. 6. Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов.
5. Machining: fundamentals and recent advances / Ed. J. Paulo Davim. Springer, 2008. 361 p.
6. Многократно перетачиваемый резец: Патент РФ № 2226453 / Ракунов Ю.П., Хрульков В.А., Золотова Н.А., Тихонов Н.А. – Бюл. № 10, 2004.
7. Ракунов Ю.П. Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. №3, с. 23-31.
8. Klocke F. Manufacturing Processes. Cutting. Springer, 2011. 500 p.
9. Патрик де Вос (Patrick de Vos). Десять простых шагов для максимального увеличения эффективности и производительности // Машиностроитель. - №3, 2017. – С. 40-47.
10. Sandvik Coromant. Рекомендации по режимам резания. Токарная обработка. <http://www.coroguide.com/CuttingDataModule/CDMTurning.asp>. (дата обращения 24.12.2019).
11. Ракунов Ю.П. Подсистема синтезирования многоуровневой базовой технологии // Научно-технические технологии в машиностроении. – № 10, 2012. – С.36-46.
12. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В. Разработка САПР оптимальных групповых процессов токарной обработки на станках с ЧПУ // Справочник. Инженерный журнал, приложение. №7, 2015. – С. 1-29.

## THEORU OF EVOLUTIONARU INTERACTION OF NATURAL AND ARTIFICIAL SYSTEMS

**Summary.** The process of evolutionary interaction of natural and artificial systems is determined by a number of factors such as natural selection, timing, chance, and regularity of natural phenomena. At the same time, artificial systems allow to reduce the time of appearance of a useful sign in the habitat of a person by virtue of its nature.

In order to understand the process of interaction between the two systems, a mechanism for their transformation is proposed, which makes it possible to study the nature of their union and to find approaches to managing the process of creating and fixing useful traits in the human population and the environment of its habitat. The exchange between energy potentials and creation of an integrated, combined system based on the model of interaction between natural and artificial systems is considered. In turn, the combined system is a link in their transition to a new higher level of development. The peculiarity of the proposed model is the use of energy flow theory and apparatus of differential equations, which describe the stability of systems and changes in their parameters over time, and the solution of such equations is the phase trajectories that determine the motion of systems in space and therefore the vector of their development.

**Аннотация.** Процесс эволюционного взаимодействия естественных и искусственных систем определяется рядом факторов таких как естественный отбор, время, случайность и закономерность возникновения природных явлений. При этом искусственные системы в силу своей природы позволяют сократить время появления полезного признака в среде обитания человека.

Для того чтобы понять процесс взаимодействия двух систем предложен механизм их трансформации, который дает возможность изучить природу их объединения и найти подходы к управлению процессом создания и закрепления полезных признаков в человеческой популяции и окружающей среде его обитания. На основе модели взаимодействия естественных и искусственных систем рассмотрен обмен между ними энергетическими потенциалами и созданию интегрированной, комбинированной системы, которая является звеном при их переходе на новый более высокий уровень развития. Особенность предлагаемой модели заключается в использовании теории потока энергии и аппарата дифференциальных уравнений, которые описывают устойчивость систем и изменение их параметров в течении времени, а решением таких уравнений есть фазовые траектории, определяющие движения систем в пространстве и следовательно вектор их развития.

*Keywords: evolution, natural systems, artificial systems, integration*

*Ключевые слова: эволюция, естественные системы, искусственные системы, интеграция*

**Target setting.** The process of evolution of natural systems on the Earth is characterized by the development of human society in accordance with its needs and challenges to the environment. It is known that evolution through natural selection is random, with millions of mutations, of which units are useful, and as a result, the mechanism of evolution through natural selection is slow enough - dozens of generations must change before a useful trait becomes entrenched in a population. However, humanity requires a reduction in time to survive on the planet for the emergence of a useful sign of a natural phenomenon, and artificial systems must be the solution to such problems [1,2].

In this case, artificial systems are defined as systems that are created and developed directly by humans, or can be any material products and technologies created by humans. But if at least one element was purposefully altered or created by man, then the system can be considered as an artificial. And if we consider the environment surrounding modern man from the point of view of the stated approach, then mankind lives in the artificial world that he practically created.

A certain "cocoon" of artificial systems was created and developed in the course of the evolution of civilization, it covers every person, group of people, as

well as the whole of humanity [3]. At the same time, evolutionary modeling is the basis of the modern theory of creating artificial systems, which can be defined as the reproduction of the process of natural evolution using special computer programs. Factors that determine the inevitability of evolution include:

- hereditary variability as a prerequisite for evolution, its material;
- the struggle for existence as a controlling and directing factor;
- natural selection as a transforming factor.

The modern theory of evolution is based on the theory of general and population genetics, micro evolutionary processes occur in populations that lead to a change in their gene pool and the transformation of the genetic composition of a population. The main directions of development of evolutionary modeling at the present stage include the following [4]:

- genetic algorithms (GA), designed to optimize the functions of discrete variables and using analogies of natural processes of recombination and selection;
- classification systems (CS) created on the basis of genetic algorithms that are used as trained control systems;

- genetic programming (GP), based on the use of evolutionary methods to optimize the generated computer programs;
- evolutionary programming (EP), focused on the optimization of continuous functions without the use of recombination;
- evolutionary strategies (ES), focused on the optimization of continuous functions using recombination.

***Analysis of recent research and publications.***

Scientists from many countries around the world are concerned with the development of natural and artificial systems. So the issues of the concept of “system”, the principles of openness and closeness of natural and artificial systems, self-organization and adaptation to the environment are considered in works [1,2]. Natural and artificial evolutions, evolutionary analogues in artificial intelligent systems are described in works [3,4]. New technologies in the development of society, genetic-morphological selection with a material point conditionally called a mechanical gene are given in [5]. And finally, the main approaches to creating new methods and models for managing the process of integrating information systems, evaluating economic efficiency and building a unified enterprise information system and development projects are given in the monograph [6].

**Highlighting previously unsolved parts of a common problem.** It is advisable to use evolutionary methods in cases where the applied problem is difficult to formulate in a form that allows you to find an analytical solution, or when you need to quickly find an approximate result. In simple words, it is necessary to “tighten up” global economic growth for the successful development of artificial systems, especially for countries that aspire to leadership in a multipolar world, and at the same time it is necessary to create a product that will create demand for many years, make breakthroughs in those industries that can lead the whole world economy. In the coming years, a line of products that fundamentally change the market will be formed, and artificial intelligence systems that are being created or 3D systems, bio-, nano-, cryo-, robo-, eco-technologies that are already used now contribute to the transformation and development of artificial systems. All this will lead to the fact that countries which become carriers of these technologies will be among the world leaders, and those who delay in the development of artificial systems will be buyers of products and lag behind for many years.

The Aim of Research. This study is devoted to the study of the processes of interaction of natural and artificial systems, their development and exchange of energy potentials to discover the mechanism of their integration and the transition of systems to a higher level of development.

Also, the important issue of this study is the simulation of the processes of the interaction of artificial and natural systems using the theory of energy flow and the apartment of differential equations to determine the phase trajectories of systems motion in space and time.

**The statement of basic materials.** While studying the history of technology, we can assume the apparent randomness of the appearance of a particular invention, or the process of development of technology in total [5]. But in fact, there is a rigid connection between random and regular processes of development. Scientists from around the world are trying to erase the line between artificial and living organisms in order to ultimately create robots capable of independently producing their own kind. Moreover, the process of transition from natural to artificial systems can be conditionally divided into four stages (Fig. 1).

At the first stage, signs from natural systems are transferred to the field of artificial ones, where artificial ones are created on the basis of existing characteristics of natural systems. Until today, this evolutionary process seemed natural and logical. However, humanity is looking for opportunities to change the inartificial nature of things on the basis of the existing technological arsenal in connection with the development of scientific and technological progress. Technologies such as genetic engineering, management of natural phenomena, and creation of artificial intelligence gave impetus to a change in the very foundation of the human environment created by nature. In this case, we can distinguish the second stage (reintegration) of the interaction of natural and artificial systems, when a person directly violates natural laws by his actions, and in this instance, inartificial (natural) systems lose their original purpose (their original functions), turning essentially into artificial ones with separate elements of natural systems. Leading such a technological way of life in the environment, the line between the two systems is lost (obliterated). Mankind finds itself in a world created by him artificially depending on his desire (and to a greater extent on his selfish whims).

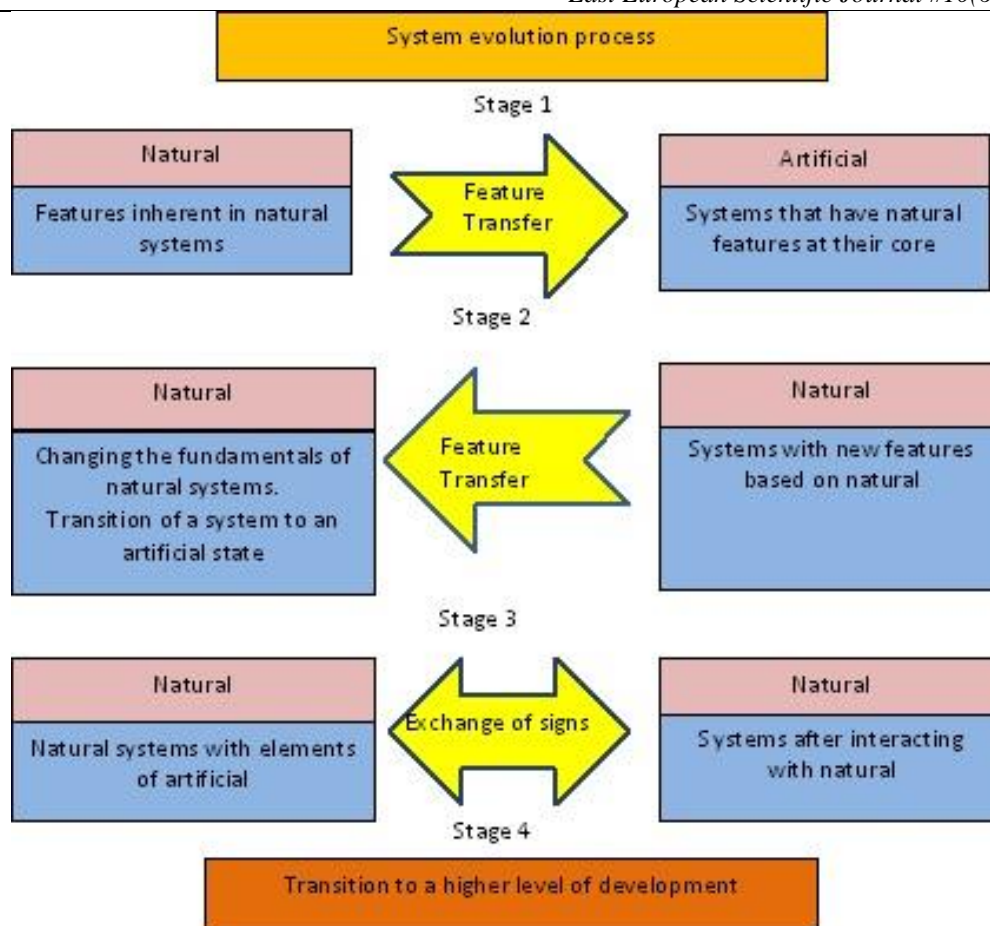


Fig. 1. The process of evolution of natural and artificial systems

Thus, we are approaching the third stage of the interaction of natural (man-modified with the remaining elements of inartificial and natural systems), but essentially artificial systems with newly created technological objects. In this case, the circle of movement closes and the integrated system reaches a new higher level of development where the movement repeats. Believe that this process will occur as long as the environment remains inartificial (natural) systems with the original characteristics that are created by nature. Over time, humanity will almost completely change its nature, and maybe even the form of existence, depending on the needs of society or its selfish ambitions. This process can occur contrary to human desire, as shown by the practice of spreading the planet coronavirus infection (COVID-19). That is, nature creates antagonists of human desires, although in essence this is an element of the evolution of human development.

It should also be noted that the described theory is quite simplified, and it does not take into account the enormous range of restrictions imposed on the evolutionary process. However, it is possible to learn how to control the process of evolution and interaction of natural and artificial systems by studying the mechanisms of movement of systems and their elements, and thereby maintain a rational balance in the development of mankind while moving to a new level of its development.

Interaction in (inanimate, living and social) nature is associated with the transfer of resources and waste both within the system and between the system and the environment. The fusion of natural and artificial systems into a single integrated (complex) system occupies a particularly important place in their description. The process of integrating them can be considered on the basis of the theory of integration systems described by the author in [6]. It is known that new opportunities arise for a qualitative change in the trajectory of the system (changes in the principles of integration of systems in the process of evolution) during the evolution and introduction of new technologies, which are caused by the action of environmental factors and the ability of elements of the control system to accumulate information and independently generate innovations. Therefore, it is advisable to apply the principle of synergism in the development of the theory of the evolution of artificial systems, which is to obtain additional effects from the strengthening of the connection between the elements of the system, and to apply the synergistic concept along with the evolutionary approach to the development of civilization.

The process of interaction between natural and artificial systems is presented in Fig. 2. In order to reveal the process of interaction of research objects, it is necessary to: 1) investigate the mechanisms of interaction of systems depending on the characteristics of their energies; 2) to determine the peculiarities of

occurrence of common points of bifurcation and synergistic effect from the interaction of systems.

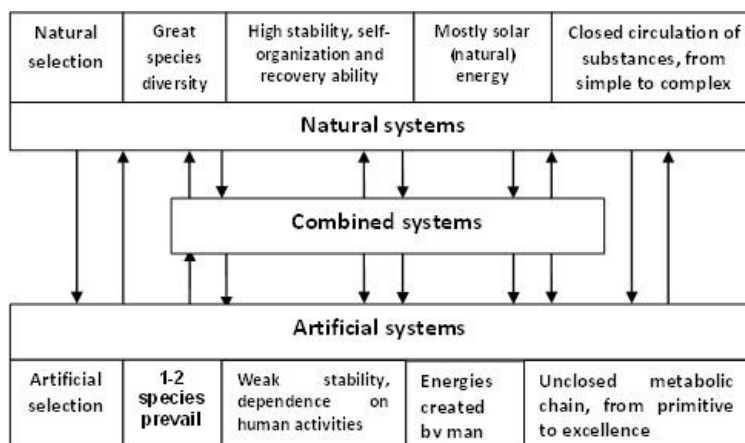


Fig. 2. Scheme of interaction of natural and artificial systems

Consider the issues of integration and exchange of features of artificial and natural systems in their development and formation of a single combined system based on the definition of the scheme of interaction (Fig. 3). Let's assume that the integration of systems will be incomplete, and in general systems will function individually, and will contact only at the points of their touch. Consider the case where the energy potential is distributed along the boundary that determines the parameters of the system, as a result of the systems moving towards each other with velocities  $V_1$  and  $V_2$ , (Fig. 3a) their interpenetration occurs and an area is formed  $x_0$ , where they merge and combine with

possible synergistic effects. Under real conditions, the energy of the systems is unevenly distributed along their boundaries, and in some cases - chaotic. Therefore, projections and depressions on the surface of the systems will be formed depending on the existing laws of energy distribution. In this case, different configurations of the region  $x_0$  can be formed during the oncoming motion of two systems with velocities  $V_1$  and  $V_2$ , by parameters of which it is possible to draw conclusions about integration processes and the end results of their joint activity.

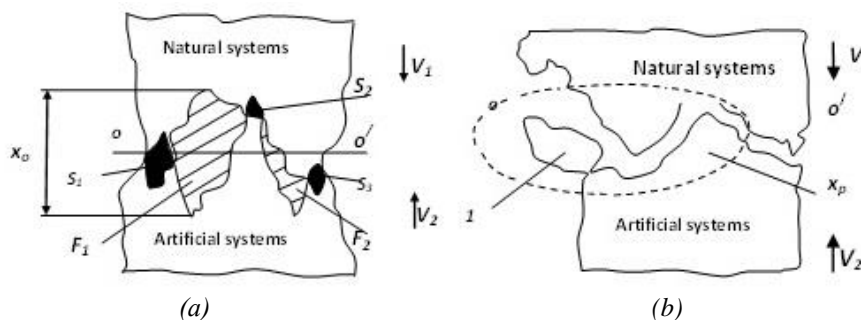


Fig. 3. Scheme of integration systems: (a)-interpenetration of two systems; (b)- filling of energy spaces

Consider some typical cases (Fig. 3,a), where, as a result of the interpenetration (diffusion) of energy flows, the projections of systems with areas  $S_1, S_2, S_3$  (Fig. 3,a) are combined, where energy flows complement each other and form bifurcation points based on the principles of synergism. There are also regions with areas  $F_1$  and  $F_2$  where clearly expressed energy potentials are absent. In this case, there are local energy cavities that adversely affect the total allowable area  $x_0$  and as a result, its area decreases. An alternative case is when the projections and depressions of the two systems coincide (Fig. 3,b). In this case, the energy space is completely filled. Interesting is the case where the energy potentials are unipolar, then a projection with a higher potential can destroy the projection with a lower potential and a local energy potential arise 1,

and energy will be dissipated in some region  $x_p$ , supplementing adjacent energy zones. As a result of the collision of a large number of microscopic elements, the movement of the elements of the system contributes to an organized redistribution of energy flows, which is based on fundamental system principles inherent in complex objects of any nature. The mathematical model of flow theory can be represented by equations of balance for state variables. The integral balance equation for any studied time interval  $(t_a, t_y)$  will be:

for statistical systems:

$$U = UA + Y,$$

for dynamic systems:

$$X(t_N) = X(t_0) + U(t_0, t_N) - Y(t_0, t_N) \pm K(t_0, t_N),$$

where  $U$  - is the energy entering the system;  $Y$  - energy exiting the system;  $A$  - is the coefficient matrix;  $t_0, t$  - are the studied intervals;  $X$  - is the variable state of the system;  $U$  - input parameters;  $K$  - is the coefficient that appeared as a result of system activity.

The apparatus of differential equations is most appropriate for the study of systems theory, which describes changes in the system over time in the form of:

$$\frac{dY}{dt} = f(X, B, t), \quad (1)$$

where  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  is the vector of dependent variables that describe the state of the system;  $\frac{dY}{dt}$  - is the speed of change of system factors;  $f(X, B, t)$  - is the nonlinear vector function;  $B = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_n\}$  - is the vector of system parameters, generally time dependent. The solutions of the equations of the form (1) are usually represented by phase trajectories in the state space of the system (Fig. 4).

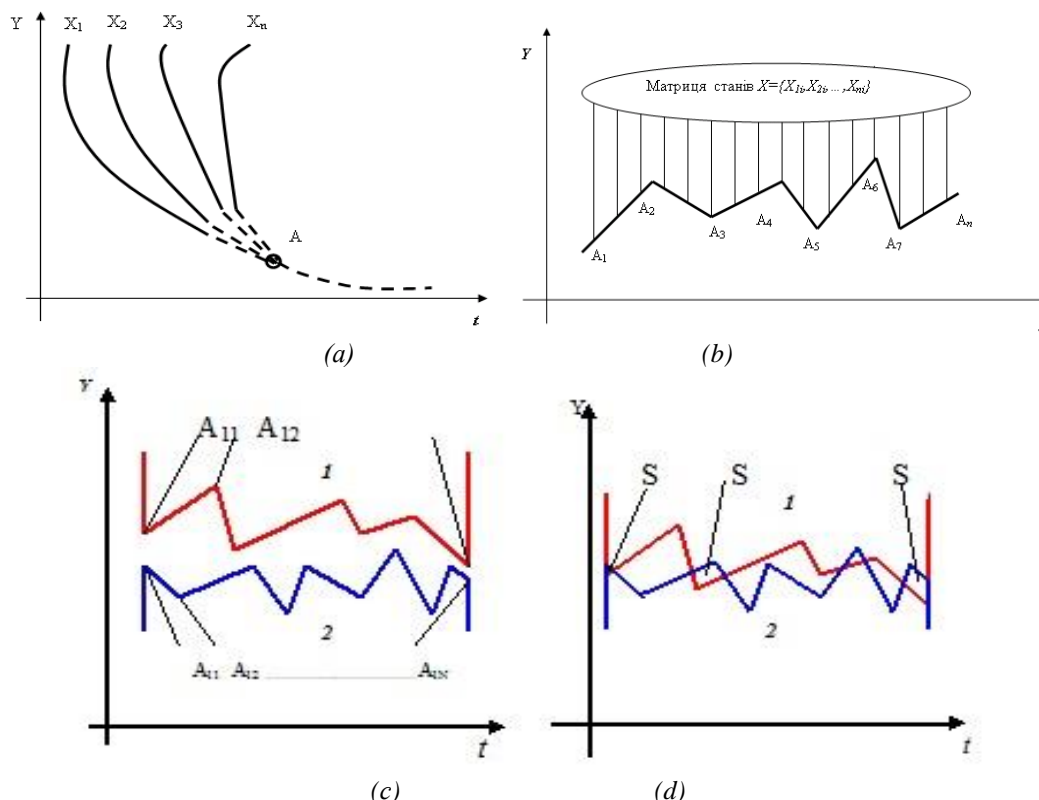


Fig. 4. Phase trajectories in the state space ( $A$  - is a center attractor): (a) phase trajectories; (b) dynamic distribution of stability of states; (c) to interaction; (d) after interaction

The analysis of phase trajectories allows us to draw conclusions about the development of systems in time, to determine the areas of deterministic behavior and the area of bifurcations (areas of uncertainty and region of unstable states of the system), as well as attractors of the system (areas of stable states, for example, type "center"). As a rule, the transition from steady state to unstable (and vice versa) occurs when changing the  $b_i$  parameter of system (1), which can be called "order parameters". The problem of state analysis can be formulated as follows: determination of such parameters by which the behavior of the system and its states or order parameters that determine resistance to external influences is possible. It is possible to speak about the presence of a set of bifurcation points  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  considering the behavior of the system in the set of states. This means that the system behavior function (Fig. 4,c,d) is described in the state space as a general trajectory with

bifurcation points distributed over time or attractors and intersection areas of  $S_1 \dots S_N$  (Fig. 4) [6].

The control parameters or "order parameters" defined at such points form a matrix  $B = \{B_1 \dots, B_n\}$ , by which it is possible to evaluate the stability (instability) of the system.

And at the end of the article I want to say about the structure of human civilization, its basis, its chemical composition and elemental base. Famous fiction writer Isaac Azimov described the waning culture of civilization as C/Fe in his novel, Steel Caves, 1953 [7]. Where carbon is the basis of man (about 21%), and iron is an element of the robot. Therefore, the C/Fe ratio symbolizes the connection between wild and inanimate nature, artificial and natural systems, a culture that combines the best qualities of both on an equal but parallel basis. Adapting this theory to the conditions of development of society, I want to recognize its rational basis for the existence of human civilization. However, considering this theory at the current stage of evolution,



I think it is right to add to it a class of polymeric easily formed materials from which rigid, durable, corrosion-resistant products can be made. These substances consist mainly of carbon C, hydrogen H, oxygen O, and

nitrogen N. It is safe to say that high molecular weight compounds have conquered mankind, so modern human culture can be described by the following basic chemical elements (Fig. 5).



Fig. 5. The chemical structure of human civilization

In this diagram, the question mark is specifically placed in the empty sector as a symbol of future chemical elements (already existing or newly created) and which will complement or replace the existing culture of civilization. Thus, the theory of the relationship between natural and artificial systems, living and inanimate nature will continue its evolution and movement towards the development of human society.

#### Conclusions and perspectives.

The researches made it possible to substantiate the theory of evolutionary and interaction of natural and artificial systems, in which four main stages due to a number of factors, such as natural selection, time random and regular processes of the development of civilization, were identified. The presented model of interaction of the two systems allows to reveal the mechanism of their interaction in the transition to a higher level of functioning. The mathematical description of the proposed model is based on the principles of energy flow theory and the system of differential equations, which allow us to describe the stability of systems under the influence of external factors and when their phase trajectories change over time. Also the chemical structure of human civilization is presented, and it proposes to add high molecular weight compounds to its basic elements - iron and carbon, which have confidently conquered human culture.

#### References:

1. Шепелев Ю.И. Естественные системы и искусственные модели/ Ю.И.Шепелев// Открытое образование, 2005.-№2.- С.69-76.
2. John H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence Режим доступа: [http://file:///C:/Users/user/Downloads/\[John\\_H\\_Holland\]\\_Adaptation\\_in\\_Natural\\_and\\_Artifi\(BookFi\)%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/user/Downloads/[John_H_Holland]_Adaptation_in_Natural_and_Artifi(BookFi)%20(1).pdf) 1992
3. Эволюция естественная и искусственная. Режим доступа: <https://saavas.livejournal.com/20691.html>.
4. Эволюционные аналогии в искусственных интеллектуальных системах Режим доступа: <http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/2016/IVS/Intellektua1%60nye%20sistemy/Теория/lek6.htm>.
5. Archibald, Russell D. Managing High-Technology Programs and Projects, Third Edition 2003. New York: John Wiley & Sons, Inc.
6. Хамуйела Ж.А. Герра. Генетико-морфологический синтез зажимных патронов: монография/ Ж.А. Герра Хамуйела, Ю.Н. Кузнецов, Т.О. Хамуйела; под ред. Ю.Н. Кузнецова - Луцк: Вэжа-Друк, 2017. - 328с.
7. Сахно Є.Ю. Управління інтеграцією інформаційних процесів та зв'язків систем підприємства та проектів: Монографія/ Сахно Є.Ю., Калінько І.В., Скітер І.С., Двоглазова М.В.- Кондор-Видавництво, 2013.-214с.
8. Asimov Isaac. Der Mann von drüben [German] /Werner, Hansheinz/ München: Heyne [Germany], 1979.-187 p.



**Тенгаева Айжан Абденовна**

кандидат физико-математических наук, ассоц. профессор

**Оразбек Куаныш**

магистрант 2-го курса

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан

## РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DJANGO

**Tengayeva A.A.**

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

**Orazbek Kuanysk**

2nd year master's student

Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan

## DEVELOPMENT OF WEB-APPLICATIONS USING DJANGO

**Summary.** Development of web-applications using Django is considered. Explains the core standards of the modern web framework Django, which has changed the definition of web development in the Python world. The Electronic Syllabus web application is considered as an example.

**Аннотация.** Рассматриваются разработка web-приложений с использованием Django. Поясняются основные стандарты современного веб-фреймворка Django, который изменил определение веб-разработки в мире Python. В качестве примера рассматривается создание веб-приложение «Электронный syllabus».

*Key words: development, web application, Django, Python, framework, MVC pattern, standards, technology, model, controller, syllabus*

*Ключевые слова: разработка, веб-приложение, Django, Python, фреймворк, шаблон MVC, стандарты, технология, модель, контроллер, syllabus*

**Введение.** Способы разработки web-приложений могут быть разделены на три большие категории: подходы, основанные на программировании или скриптах: внешние программы или скрипты; расширения web-сервера; подходы, основанные на использовании шаблонов web-страниц, включающих вставки кода скриптов и специальных серверных тэгов; объектные среды (фреймворки).

Фреймворки представляют собой совершенствования разработки web-приложений вместо объединения разметки и логики в единый модуль. Фреймворки поддерживают принцип отделения содержания от представления [1].

Django - это веб-фреймворк Python высокого уровня, который поддерживает быструю разработку и элегантный дизайн. Полноценный подход, прагматичный дизайн и превосходная документация - вот некоторые из причин его успеха. Django работает для автоматизации производства общих веб-разработок задачи, чтобы разработчик мог вместо этого сосредоточиться на проблемах приложения более высокого уровня низкоуровневой обработки данных.

Django поддерживает модель-представление-контроллер (MVC)- разделение задач таким образом, чтобы сделать разработку проще и продуктивнее. Разработчики Django называют это «веб-фреймворком для перфекционистов с установленными сроками», которое означает, что чистый дизайн и соблюдение некоторых стандартных практик. В Django, как и в большинстве фреймворков, можно следовать модели того, как разрабатывать и структурировать

код и пользоваться преимуществами фреймворка, или вы можете бороться с фреймворком и рисковать. Его функции охватывают все, от связи до баз данных, от обработки URL-адресов и создания шаблонов веб-страниц. Существуют полные книги, в которых подробно рассматривается Django [2].

Шаблон MVC - это архитектурный шаблон, изначально разработанный для Smalltalk, язык объектно-ориентированного программирования, которое позволяет четко разделить логику представления, логику управления и бизнес-объекты. Архитектуры и фреймворки, включающие аспекты концепции MVC, имеют множество приложений для решения задач, требующих любого нетривиального уровня представления. Наборы инструментов и фреймворки, которые используются для разработки большинства полнофункциональных клиентских приложений для Windows, Платформы Mac, Linux и UNIX каким-то образом включают концепцию MVC. Множество распространенных вариаций концепции были определены, и подходы к применению MVC для множества проблем.

Шаблон MVC определяет три основных компонента следующим образом:

- **Просмотр:** управляет выводом на дисплей (графическим или текстовым). Это состоит из необходимой логики для создания компонентов пользовательского интерфейса и использования модели для загрузки данных в компоненты.

- **Контроллер:** управляет вводом данных с клавиатуры и мыши от пользователя. Контроль осматривает и интерпретирует предоставленные

входные данные. На основе входных данных он затем пересылает команды модели или просмотр.

- Модель: управляет данными домена и их обработкой. Это включает в себя создание постоянного представления для данных домена и операций, которые могут быть выполнены с данными.

Шаблон также определяет следующие ограниченные отношения между каждым из объектов:

- Вид и контроллер должны иметь прямое однозначное соответствие. Каждый вид должен иметь ссылку на контроллер и наоборот.

- Отношения между представлением и моделью, а также между контроллером и моделью меньше непосредственный.

Следовательно, следует использовать протокол уведомления, посредством которого регистрируется представление или контроллер как интересующийся набор моделей. Когда модель

меняет свое внутреннее состояние, она должна уведомить набор обо всех его заинтересованных контроллерах и представлениях. Модель никогда не должна напрямую взаимодействовать с контроллером или представлением. Надо обратить внимание, что когда адаптируем шаблон MVC к веб-приложению, отношения между представлением и моделью, а также между контроллером и моделью обычно не поддерживаются. Это не практичный подход, учитывая отключенный характер веб-приложений [2].

#### Основная часть.

Основные страницы приложения "Электронный syllabus" состоят из 4 страниц. Это: страница админа, страница авторизации, страница выбора и готовая страница syllabusa.

Первая страница - страница авторизации. То есть преподаватели должны написать свой логин и пароль. Страница авторизации веб-приложения "Электронный syllabus" представлена на рисунке 1.

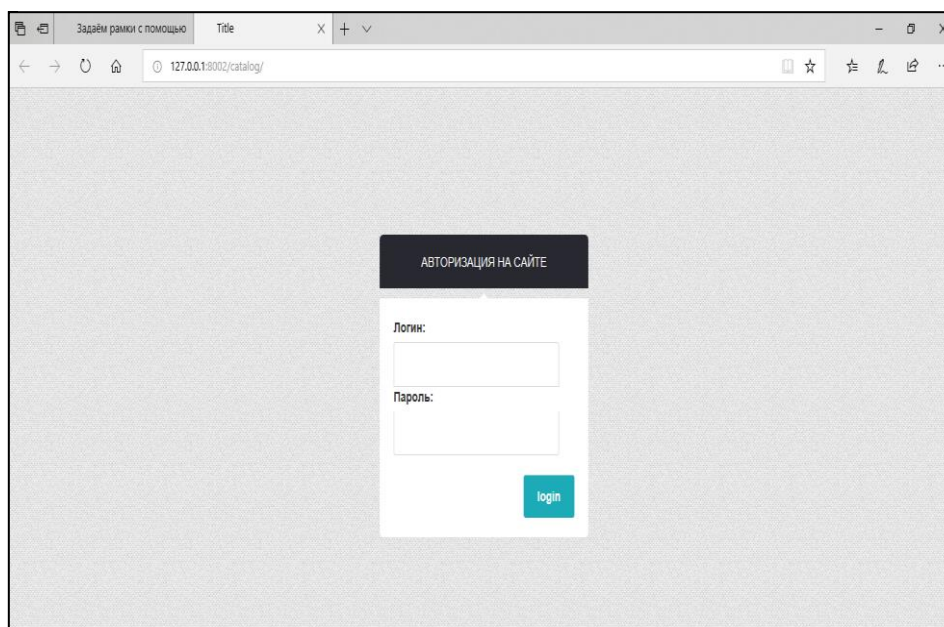


Рисунок 1. Страница авторизации веб-приложения "Электронный syllabus"

Страница выбора веб-приложения «Электронный syllabus» показано на рисунке 2. Функции, используемые на главной странице:

- создать стол
- выбор преподавателя
- учитель практики
- учитель лаборатории

- выбор уроков
- добавить урок
- выбор постреквизитов
- выбор предпосылок
- выберите список литературы
- добавить литературу
- сохранить в формате PDF

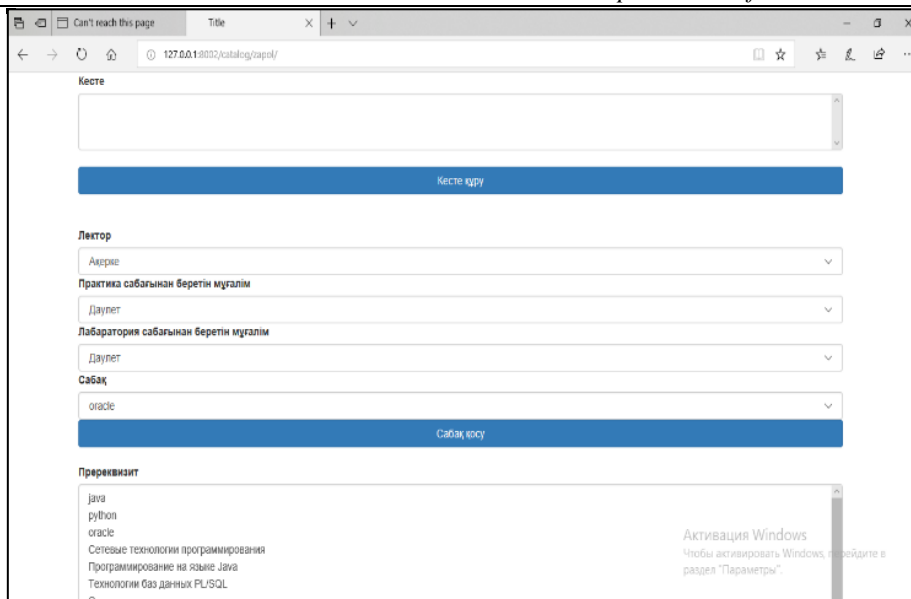


Рисунок 2. Страница выбора веб-приложения “Электронный сиклабус”

На закладке каждую неделю отображается проект семестра с использованием операции выбора темы и операции выбора лабораторных работ. На этой странице каждую неделю визуально отображается небольшая таблица, когда вы нажимаете кнопку выбора темы и лабораторной работы. По прошествии всех 15 недель нужно

нажать кнопку возврата. Когда вы нажимаете эту кнопку, он возвращается на главную страницу. Визуальный график также включает недели, лекции и лабораторные работы. На рисунке 3 показана страница создания таблицы веб-приложения «Электронный сиклабус».

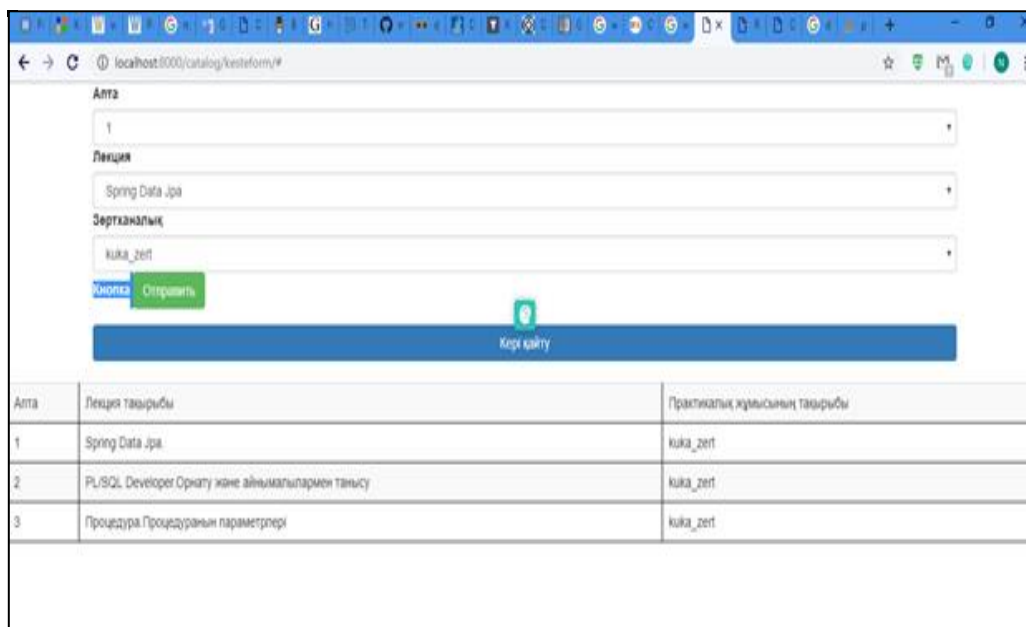


Рисунок 3. Страница создание таблицы веб-приложения “Электронный сиклабус”

Страница администратора должна позволять суперпользователям редактировать, удалять и создавать данные. Чтобы перейти на страницу администратора, вам нужно добавить ссылку /admin в url. На странице "Модель" в базе данных создается таблица путем создания класса. И здесь следует указать взаимосвязь таблиц. После того, как вы создали класс на странице моделирования,

вам нужно будет зарегистрировать эти классы на Admin.py.

Только после этого этапа, наши таблицы будут отображаться на странице администратора. И вам нужно произвести необходимые настройки на странице settings.py. Страница models.py веб-приложения «Электронный сиклабус» показано на рисунке 4.

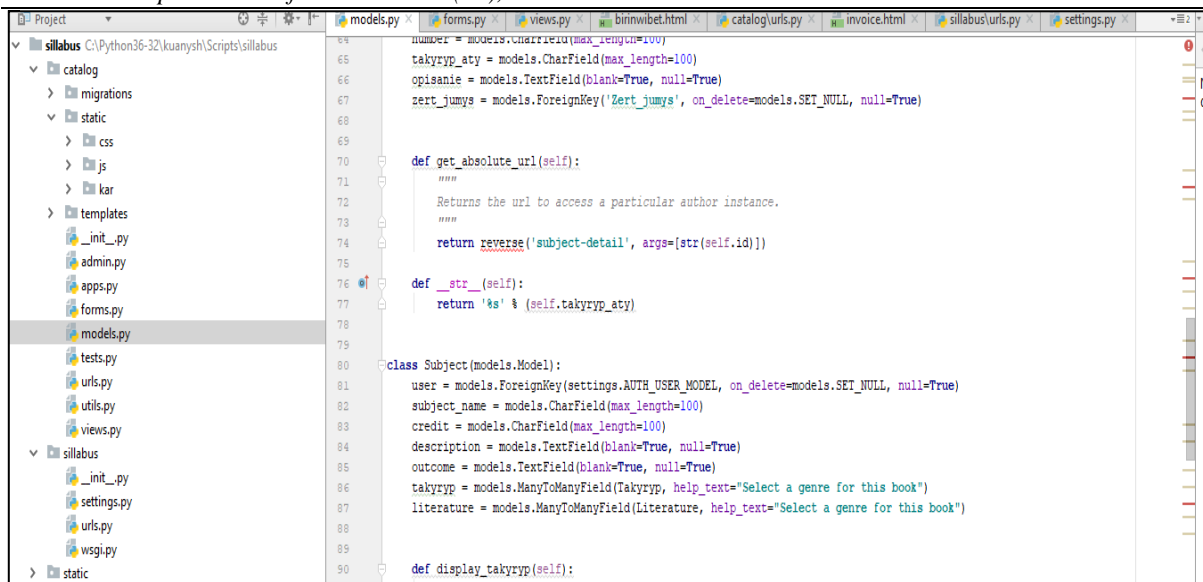


Рисунок 4. Страница models.py веб-приложения “Электронный syllabus”

На странице View создается информация, которая необходима пользователю для отображения на странице просмотра и обнаруживает, отвечает на запрос информации.

Есть два типа запроса GET и POST. Страница views.py веб-приложения «Электронный syllabus» показано на рисунке 5.

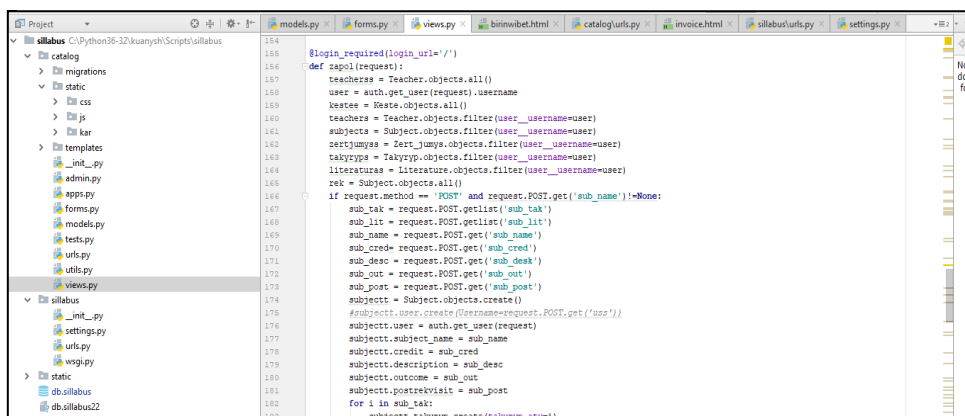


Рисунок 5. Страница views.py веб-приложения “Электронный syllabus”

Страница контроллера отвечает на ссылки во всех наших приложениях. Функция просмотра страницы отображается для каждой ссылки.

Страница urls.py веб-приложения электронный syllabus показано на рисунке 6.

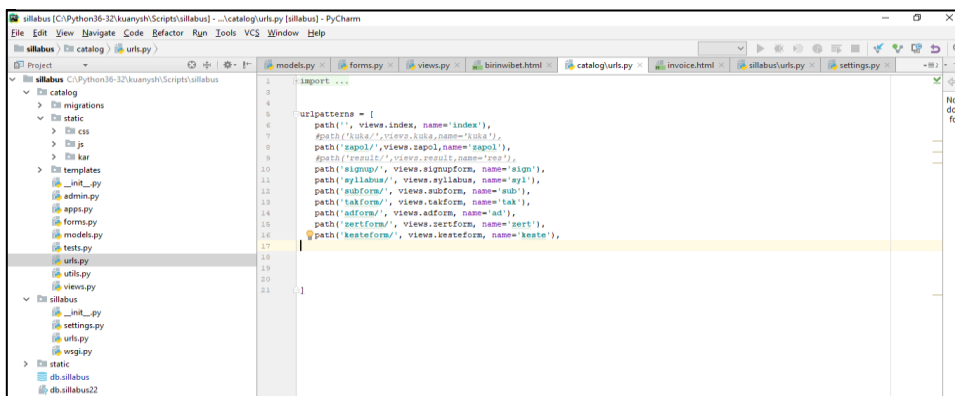


Рисунок 5. Страница urls.py веб-приложения “Электронный syllabus”

Дизайн веб-приложения «Электронный syllabus» разработан для мобильных телефонов с использованием технологий CSS и Bootstrap. Для университета использовались простые белые и

использованием технологий CSS и Bootstrap. Для университета использовались простые белые и

голубые цвета. Базовый дизайн веб-приложения «Электронный syllabus» показано на рисунке 7.

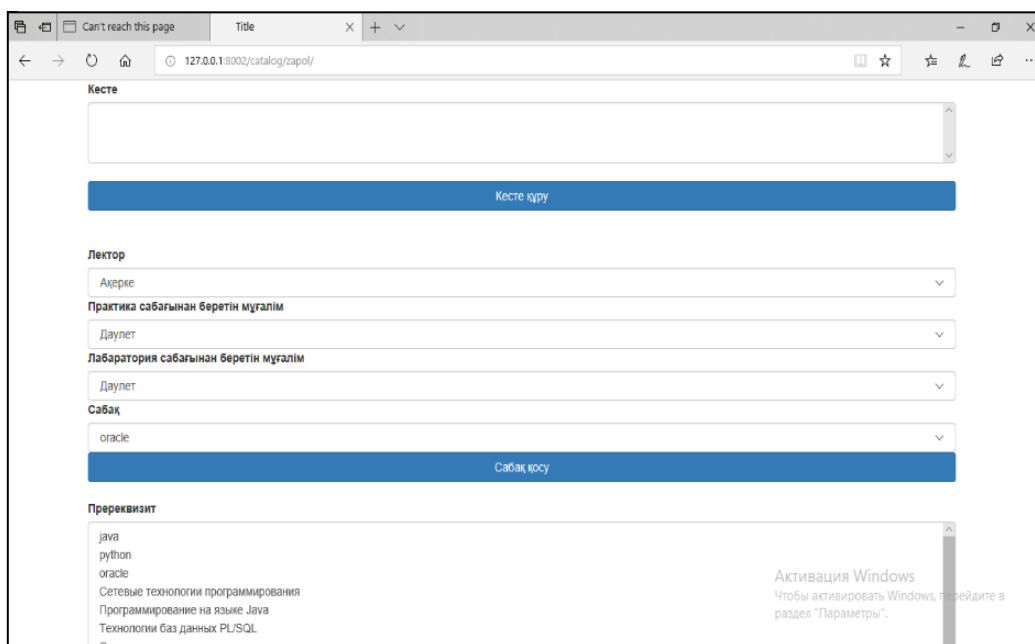


Рисунок 7. Основной дизайн веб-приложения “Электронный syllabus”

**Заключение.** Все популярные платформы, используемые для создания веб-приложений, работают в шаблоне MVC. Основная идея паттерна MVC - Модель, Представление, Контроллер. Фреймворк Django, поддерживающий этот шаблон, реализует его основные идеи. Веб-приложение электронного syllabusa было создано с использованием Python-фреймворка Django, которое полностью раскрывает шаблон MVC.

#### Список литературы:

1. Лобода Ю.Г., Орлова О.Ю. Технологии разработки web-приложений. Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. Одесса, 2014. Выпуск 46. Том 1. стр. 239-244.

2. Juneau J., Baker J., Ng V., Soto L., Wierzbicki F. Web Applications With Django. In: Anglin S. et al. (eds) The Definitive Guide To Jython. Apress. 2010. pp.281-325.

3. Рябова К.М. Фреймворк Django: архитектура и возможности. Сборник статей XIII международной научно-практической конференции: Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации Пенза, 2018 г. стр. 118-120.

4. <https://docs.python-guide.org/scenarios/web>.

5. [https://uwsgi-docs.readthedocs.io/en/latest/tutorials/Django\\_and\\_nginx.html](https://uwsgi-docs.readthedocs.io/en/latest/tutorials/Django_and_nginx.html).

6. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Server-side/Django>.

**Chuiko S. P.***postgraduate Student at the Department of Automobiles and Transport Technologies,  
«Zhytomyr Polytechnic» State University***Kravchenko A.P.***doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Automobiles and Transport Technologies,  
Zhytomyr Polytechnic State University***THE CRITERIA FOR THE HEAT LOAD OF THE DRIVER'S CABIN OF  
THE MAZ-206 BUS DURING THE SUMMER OPERATION****Чуйко Сергей Петрович***аспирант кафедры автомобилей и транспортных технологий  
Государственного университета «Житомирская политехника»***Кравченко Александр Петрович***доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры  
автомобилей и транспортных технологий  
Государственного университета «Житомирская политехника»***КРИТЕРИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ АВТОБУСА MAZ-206  
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Abstract.** The maintenance of the necessary microclimate in the passenger compartment of the bus during the summer operation should be ensured by the ventilation and the air conditioning systems, which are successfully used in the modern public transport buses. The analysis of the overall heat balance of the passenger compartment is conducted and the criteria of the heat supply to the driver's cabin during the transport operation are determined on the example of the MAZ-206 bus. The microclimate compliance factors in the driver's cabin of the public transport bus and a passenger compartment are analyzed. The parameters of heat input in the passenger compartment of the bus and the driver's workplace are evaluated. A method for calculating a heat load in the driver's cabin that takes into account the factors of the heat effects taking into consideration additional structural components of the driver's workplace is proposed. The dependence of the change in temperature condition at measurable points during the movement of the bus was experimentally obtained.

**Аннотация.** Поддержание необходимого микроклимата в салоне автобуса при летней эксплуатации, должны обеспечивать системы вентиляции и кондиционирования, которые успешно используются в современных городских автобусах. На примере автобуса MAZ-206 выполнен анализ общего теплового баланса салона, определены критерии теплопоступлений в кабину водителя при выполнении транспортного процесса. Проанализированы факторы соблюдения микроклимата в кабине водителя городского автобуса и салона. Проведена оценка параметров теплопоступлений в салон автобуса и рабочей зоне водителя. Предложена методика расчета тепловых нагрузок на кабину водителя, в которой учтены факторы теплового воздействия с учетом дополнительных конструктивных составляющих рабочего места водителя. Экспериментально получена зависимость изменения температурного состояния в измеримых точках во время движения автобуса.

*Key words: public transport bus, driver's cabin, microclimate, heat load.*

*Ключевые слова: автобус, кабина водителя, микроклимат, тепловую нагрузку.*

**Введение.** В Украине активно вводятся в эксплуатацию и успешно функционируют современные городские автобусы с кондиционером. Это свидетельствует, что тепловой комфорт, в салонах общественного транспорта, приобретает все большее значение для повышения его привлекательности пользователями услуг. К таким автобусов можно отнести автобус MAZ-206.

Микроклимат в кабине водителя автобуса определяется совокупностью физических параметров: температурой, скоростью и влажностью воздуха, радиационной температурой, температурой внутренних поверхностей и тепловыделений от электрооборудования, которые имеют локальное воздействие на водителя [1]. Кроме того, к требованиям комфорта относят

способ управления климатической системой, при которой от водителя потребовалось бы минимум внимания.

Многочисленными исследованиями установлено негативное влияние неблагоприятного микроклимата в кабине водителя транспортного средства: снижается работоспособность водителя, свойственна быстрая утомляемость и создаются условия, которые снижают производительность и внимательность в работе и увеличивают вероятность аварийных ситуаций. Актуальной задачей является обеспечение микроклимата в теплое время года в кабинах городских автобусов, оборудованных кондиционером.

Задача совершенствования системы вентиляции и кондиционирования кабины водителя

и салона городского автобуса должно решаться методами системного и технико-экономического анализа с учетом всех эксплуатационных и конструктивных особенностей.

#### Анализ исследований и публикаций.

Исследованиями микроклимата и требований к климатическим системам колесных транспортных средств занимались Жуковский С.С., Крайник Л., Хохлачев В.П., Михайловский Е.В., Куликов Ю.А., Грибиниченко М.В., Гухой В.Г., Галич И.В., Михайлов М.В., Палутин Ю.И., Лукьяненко В.М. и другие.

В работе [2] оценивается тепловой комфорт человека в двух воздушных зонах легкового автомобиля: пассажиров и водителя. Доказано, что климат в салоне автомобиля очень неоднороден. Различные излучения, влияние переменной температуры и скорости воздуха от системы вентиляции или кондиционирования создают климат, который значительно отличается в пространстве и времени.

Ученые [3] утверждают, что продолжительность поездки в автомобиле и фактор пассажирской нагрузки существенно влияют на восприятие водителем и пассажирами уровня комфорта.

Исследованиями Кулько А.П. [4] определено, что поддержание надлежащего микроклимата в кабине автобуса «Волжанин - 5270» возможно с помощью вихревой трубы, которая должна подавать сжатый воздух от автономного источника.

Авторами [5] доказано, что эффективный контроль микроклимата в транспортном средстве хотя традиционно считается важным для комфорта, но при отрицательных эффектах температурного режима оказывает существенное влияние на производительность водителя и рассматривается как фактор безопасности дорожного движения. Установлено значительное влияние на бдительность водителя при температуре 27°C по сравнению с температурой 21°C в транспортном средстве: водители пропускают на 50% больше сигналов представленных в первый час, а время

реакции на 22% медленнее при повышенном уровне температуры.

Анализ тепловых балансов салонов современных автомобилей для летнего периода года показывает, что подвод теплоты от солнечной радиации составляет 30 - 50% общего количества теплоты, тепловыделение от водителя 15 - 20% и пассажиров 12 - 40%, от работающего электрооборудования и агрегатов силового отделения автомобиля 5 - 15% [6, 7].

Исходя из вышеуказанного, можно утверждать, что в литературных источниках не освещены исследования динамического взаимодействия микроклимата рабочего места водителя с салоном автобуса через отдельные эксплуатационные факторы и конструктивное расположение каналов подачи холодного воздуха от кондиционера.

**Результаты исследования.** Комфорт водителя и пассажиров, в салоне городского автобуса, является важным показателем качества предоставления транспортных услуг и решающим фактором в выборе режима перевозки пассажиров. Ощущение теплового комфорта обеспечивается факторами, которые зависят от теплообмена между телом человека и окружающей средой [1, 8, 9].

Количество свежего воздуха, поступающего в салон автобуса, может изменяться в достаточно широких пределах в зависимости от режима работы вентилятора, скорости движения автомобиля, положение открывания окон и др.

Система вентиляции автомобиля должна обеспечивать приток свежего воздуха в салон легкового автомобиля не менее 150 м<sup>3</sup> / ч. а в летнее время, с целью удаления из салона теплоизбытков, расход воздуха в системе необходимо повышать до 250-300 м<sup>3</sup> / час. [4], что достигается путем использования набегающего потока.

Санитарно-технические средства автомобиля, к которым относится кондиционирования, должны обеспечивать поддержку в кабине автомобиля оптимальные параметры микроклимата [10, 11] (табл.1). Перепад температуры воздуха по высоте кабины не должен превышать 3°C.

Таблица 1

**Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в кабинах автомобилей**

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не больше
Теплый	20 - 25	60 - 40	0,2
	21 - 23	60 - 40	0,3
Холодный и переходные условия	18 - 20	60 - 40	0,2

К микроклимату воздушной среды салона автобуса, вместе с тем, относятся соответствующие санитарно-гигиенические требования, заключающиеся в поддержании надлежащих допустимых концентраций газовых и пылевых вредных веществ, количества углекислоты, выделяемой

человеком при дыхании, устранение бактериальной загрязненности посторонних запахов.

Все виды поступлений тепла в салон автобуса особенно усиливаются в летний период времени. Температура окружающего воздуха и время посадки-высадки пассажиров предоставляет прямо пропорциональное влияние на изменение

жесткости (тяжести) условий тепловой эксплуатации. При повышении температуры воздуха и увеличении времени простоя на остановках, для посадки-высадки пассажиров, растет количество теплоты, поступающей в салон при открытых дверях [12].

Процесс нагрева воздуха в салоне городского автобуса возможно представить с помощью уравнения теплового баланса [15]

$$Q_T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} Q_s + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{конв}, \quad (1)$$

где  $Q_T$  - теплота, которая поступает в салон автобуса, Дж;

$Q_s$  - теплота, которая поступает в салон через составляющие кузова автобуса на  $j$ -му перегоне маршрута, Дж;

$Q_{конв}$  - теплота, которая поступает в результате открытия дверей салона (конвекции) автобуса для посадки-высадки пассажиров на  $j$ -й технологической остановке, Дж;

$m$  - количество перегонов (участков между технологическими остановками).

Конвективные тепловые потоки между внутренним воздухом и поверхностями составляющих кузова рассчитываются

$$Q_{тп} = Q_d + Q_p + Q_b, \quad (2)$$

где  $Q_k$  - конвективное тепло с крыши, Вт;

$Q_p$  - конвективное тепло с пола, Вт;

$Q_b$  - конвективное тепло с боковин кузова, Вт.

$$Q_d = K_d F_d (T_d - T_i); \quad (3)$$

$$Q_p = K_p F_p (T_{зп} - T_i); \quad (4)$$

$$Q_b = K_b F_b (T_{зп} - T_i), \quad (5)$$

где  $K_k$ ,  $K_p$ ,  $K_b$  - коэффициенты теплопередачи крыши, пола и боковин;

$F_k$ ,  $F_p$ ,  $F_b$  - площади крыши, пола и боковин, м<sup>2</sup>;

$T_{зп}$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  - температура наружного воздуха, температура в салоне, температура крыши, °C.

Тепловой расчет окон кабины состоит из передаваемого тепла от переднего ветрового стекла и боковых стекол, которые рассчитываются

$$Q_{ок} = Q_f + Q_b; \quad (6)$$

$$Q_f = K_{gf} F_{gf} (T_{зп} - T_i); \quad (7)$$

$$Q_b = K_{gb} F_{gb} (T_{зп} - T_i), \quad (8)$$

где  $Q_f$  - конвективное тепло от ветрового окна, Вт;

$Q_b$  - конвективное тепло от бокового окна, Вт.

$K_{gf}$ ,  $K_{gb}$  - коэффициенты теплопередачи ветрового и бокового окон;

$F_{gf}$ ,  $F_{gb}$  - площади ветрового стекла и боковых окон, м<sup>2</sup>.

Для определения дополнительной тепловой нагрузки салона автобуса в зоне кабины водителя,

в расчет принимаются показатели передачи тепла через ветровое стекло. Тепло влияние от бокового окна кабины водителя относим к площади общего расчета теплонагруженные на салон от прозрачных составляющих.

Для определения температуры в кабине водителя автобуса применяется выражение

$$T_{kb} = t_k + S_t \cdot (t_v - t_N), \quad (9)$$

где  $t_k$  - температура воздуха в кабине водителя на момент начала движения по маршруту, °C;

$S_t$  - корректирующий показатель ощущение изменения температурного воздействия окружающей среды, °C/°C;

$t_v$  - температура окружающего воздуха, °C;

$t_N$  - нормированный температурный режим транспортного процесса, C.

На температурный режим кабины водителя влияют количество и продолжительность простоя на остановках с открытыми дверями для посадки-высадки пассажиров, особенно когда водитель задействует к посадке только передние двери, расположенные напротив кабины.

Зависимость температуры воздуха в кабине от продолжительности такого простоя определяется выражением

$$T_k = t_k + S_{пв} \cdot t_{пв}, \quad (10)$$

где  $t_k$  - температура воздуха в кабине автобуса, °C;

$S_{пв}$  - параметр коригування часу посадки-высадки пассажиров, °C/час.;

$t_{пв}$  - время посадки-высадки пассажиров на маршруте, мин.

Конвективный теплообмен на внутренней поверхности салона носит сложный характер. Около нагретых или охлажденных поверхностей возникают конвективные токи, определяющие теплообмен между поверхностью и воздухом. Здесь имеет место свободная конвекция.

Вследствие подачи воздуха, при работе системы вентиляции, на поверхностях салона происходит и вынужденная конвекция. Для упрощения расчета стенки салона автобуса будем считать плоскими, тогда критерий Nu при огибания стенок салона автомобиля воздухом в условиях смешанной конвекции рассматривается при условии [13]

$$Nu_{см}^3 = Nu_{св}^3 + Nu_{вн}^3, \quad (11)$$

где  $Nu_{см}$  - критерий Нуссельта в условиях смешанной конвекции;

$Nu_{св}$  - критерий Нуссельта для свободной конвекции;

$Nu_{вн}$  - критерий Нуссельта для вынужденной конвекции.

Учитывая, что кабина водителя современного автобуса МАЗ-206, который принят к эксперименту, оснащена многими дополнительными приборами и устройствами,



выполняющие вспомогательные функции в управлении автобусом, возникает потребность учета вспомогательных тепlopоступлений от них.

Тепlopоступления от приборов и оборудования в кабине определяется выражением

$$Q_{пп} = Q_{ел} + Q_{еп} + Q_{ед} + Q_{ео} + Q_{до}, \quad (12)$$

где  $Q_{ел}$  – тепловыделение контрольных ламп щитка приборов и ламп освещения кабины (практически эквивалентно их мощности),

$Q_{еп}$  – тепловыделение от электропроводки, Вт;

$Q_{ед}$  – тепловыделения от электродвигателей, Вт;

$Q_{ео}$  – тепловыделение от дополнительного электрооборудования кабины (радиостанций, звуко-усилительных приборов и т. д., Вт).

$Q_{до}$  – тепловыделение от неэлектрического оборудования (гидравлического и т. д.), установленного в кабине, Вт.

$$Q_{ед} = (1 - \eta) \cdot N_{дв}, \quad (13)$$

где  $\eta$  – КПД электродвигателя;

$N$  – мощность электродвигателя, Вт.

Величины  $Q_{ео}$  и  $Q_{до}$  определяются только экспериментальным путем для каждого прибора и агрегата, который находится в кабине. Для большинства приборов величину тепловыделения, которые чрезмерно малы, необходимо определять калориметрическим методом.

Теплота, которая передается от водителя при температуре воздуха в кабине  $+18... + 30$  °С определяется выражением [7]

$$Q_{в} = z_{п} \cdot (186 - 1,8T_{п}), \quad (14)$$

где  $z_{п}$  – число членов экипажа,

$T_{п}$  – температура воздуха в кабине, °С.

При экспериментальном исследовании величины  $Q_{п}$  были получены следующие результаты: тепловыделение от водителя на конечной остановке составляла 95-120 Вт, в период движения по маршруту - 180 Вт.

Основным определяющим тепловым фактором микроклимата в кабине автобуса является температура воздуха [14]. Поскольку комфорт — это субъективное понятие, то эффективность тепловой нагрузки салона автобуса, который оборудован кондиционером, целесообразно проводить по температурно-временной характеристикой воздуха в контрольных точках, расположенных в зоне размещения пассажиров в салоне и в кабине водителя (рис. 1). Фактор размещения точек в зоне головы пассажиров и водителя является доминирующим. Объясняется это особенностью конструктивного расположения плоскости пола на разных уровнях. Измерения микроклиматических параметров в кабине производилось при выполнении автобусом технологического процесса.

На рис.1 показано размещение контрольных точек в процессе проведения экспериментального исследования. Точки 1а - зона головы водителя, 1б - зона ног водителя (на высоте 1,5 и 0,5 м от пола, соответственно); точка 2а - зона головы для стоячего пассажира (на высоте 1,75 м от пола); точка 3а - зона головы для сидящего пассажира (на высоте 1,3 м от пола).

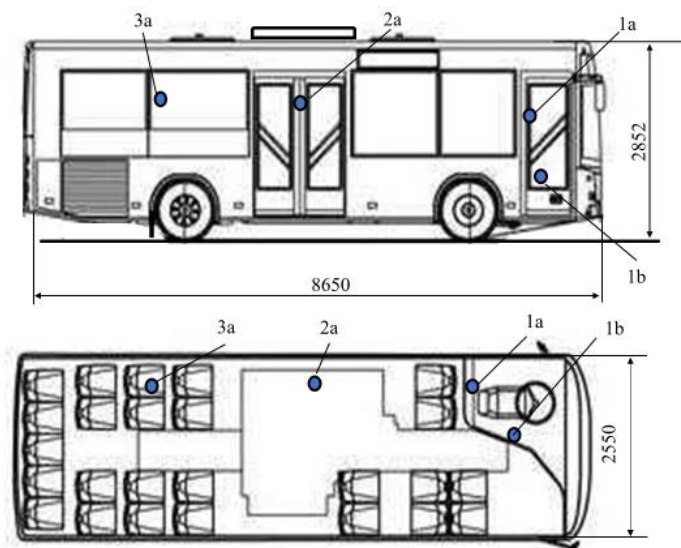


Рис. 1. Точки замера показателей микроклимата в салоне автобуса.

Результаты экспериментального исследования температурных показателей и скорости воздуха в автобусе представлены в таблице 2.

В результате обследования основных климатических показателей в кабине водителя

автобуса с включённым кондиционером, внешняя температура воздуха составляла 29,1-29,7°С.

Полученные температурные показатели свидетельствуют, что тепlopоступления в кабине

автобуса имеет большее значение и не соответствует оптимальным нормам (табл. 1).

Пунктиром показана закономерность изменения тепловой нагрузки в кабине водителя с продолжительностью движения по маршруту.

Представленное свидетельствует, что среднее температурное значение в кабине выше по сравнению с измеримыми значениями точках салона - 2а и 3а.

Таблица 2

**Обобщенные результаты обследования показателей температуры и скорости воздуха в автобусе согласно определенных точек контроля**

	t, °C	V, м/с	Отклонения t, °C	Отклонения V, м/с
Точка 1а	27,8	0,3	2,2	2,0
Точка 1b	25,3	0,2	2,0	3,4
Точка 2а	26,4	0,4	1,8	3,1
Точка 3а	26,5	0,3	1,7	2,7

Таким образом, основной характеристикой температурных условий в кабине водителя автобуса, которая зависит от ряда факторов, является:

- теплообмен внешних поверхностей кузова с окружающей средой;
- теплообмен поверхностей, которые обращены в кабину и выделяют тепло;
- теплоступления от нагретого оборудования;
- теплопередачи при открытии дверей для пассажиров и теплопотери на инфильтрацию;
- теплоступления от солнечной радиации.

Методы по обеспечению микроклимата на рабочем месте водителя условно можно разделить на активные и пассивные. К первому относятся все технические средства создания комфортных микроклиматических условий в рабочей зоне водителя, а ко второму - влияние салонных теплоступлений с конвективной нагрузкой при открытых дверях на остановках при посадке-высадке пассажиров.

Снижение воздействия неблагоприятного микроклимата на рабочем месте водителя городского автобуса и улучшение параметров микроклимата, позволяют решить одну из важнейших задач улучшения условий труда и сохранению здоровья водителю. Очевидно, что от состояния водителя автобуса зависит безопасность пассажиров, качество выполнения транспортного процесса и эффективность управления климатической установкой.

**Выводы.** Определены критерии теплоступлений в кабину водителя автобуса при выполнении транспортного процесса. Предложенная методика расчета тепловых нагрузок на рабочее место водителя, которая позволяет учесть определенные приоритеты общего тепловой нагрузки на салон. Экспериментально получена зависимость изменения температурного состояния в измеримых точках салона во время движения автобуса.

Поддержание нормированного климатической среды в автобусе влияет на продолжительность

работы кондиционера, как источника дополнительного расхода топлива силовым агрегатом. Это служит направленностью на следующие исследования топливной экономичности автобуса при выполнении транспортного процесса с использованием кондиционера.

#### Список литературы

1. Кравченко О.П. Дослідження теплового балансу салону автобусу у теплий період року / О.П. Кравченко, С.П. Чуйко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. №3 (251). – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2019. - С. 101-106.
2. Ivanescu M., Neacsu C., Tabacu S., The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, in: World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010, pp. 196-209.
3. Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li. Analysis of bus passenger based on passenger load factor and in-vehicle time. Peoples Republic of China, 2016.
4. Кулько А.П. Система нормализации микроклимата на основе вихревого эффекта кабины водителя городского и пригородного автобусов: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта / Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград, 2004. - 19 с.
5. Norin F., Wyon D. Driver Vigilance . The Effects of Compartment Temperature. SAE 920168, 1992.
6. Михайлов, М.В. Микроклимат в кабинах мобильных машин. / М.В. Михайлов, С.В. Гусева. – М.: Машиностроение, 1977. – 230 с.
7. Хомяков В. П. Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
8. Dell’Olio L, Angel I, Patricia C The quality of service desired by public transport users. Transp Policy 18: (2011) pp. 217–227.

9. Eboli L, Mazzula G A: Methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view. *Transp Policy* 18:(2011), pp.172–181.

10. СанПиН от 14 июня 2013 г. № 47. Санитарные нормы и правила «Требования к условиям труда водителей автомобильного транспорта». Издание официальное Министерство здравоохранения Республики Беларусь г. Минск, 2013 г.

11. Грицук И.В. Анализ требований к микроклимату рабочего места водителя колесного транспортного средства / И.В. Грицук, А.М. Гуцин, З.И. Краснокутская, М.С. Момот, А.Л. Ушаков // *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. – Донецьк: ДААТ. – 2014. – № 4 (2). – С. 66–71.

12. Roberto de Lieto Vollaro: Indoor climate analysis for urban mobility buses: a CFD model for the evaluation of thermal comfort / *International Journal of*

*Environmental Protection and Policy*. Vol. 1, No. 1, 2013, pp. 1 - 8.

13. Справочник по теплообменникам. В 2-х т. Под ред. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 560 с.

14. Жуковский С.С. Вентилювання приміщень / С.С. Жуковський, О.Т. Возняк, О.М. Довбуш, З.С. Люльчак: Навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. - 476 с.

15. Кравченко О. Чуйко С. П. Визначення конвективного теплообміну у салоні міського автобусу на зупинках при відкритих дверях / О. Кравченко, С. Чуйко // *Збірник тез I Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (21-23 травня 2019 р., м. Рівне)*. - Рівне: НУВГП, 2019. - С. 150-151.

**Щеткин Борис Николаевич**

*доктор технических наук., доцент,  
профессор кафедры социально-гуманитарных и профессиональных дисциплин  
Пермского института ФСИИ России,  
614012, г. Пермь, ул. Карпинского д.125,*

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЦИОННЫХ СТРУКТУР - ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

*B.N.Stchetkin*

## THE INTEGRATION STRUCTURES FORMATION - THE WAY OF INCREASING THE STABILITY OF AGRICULTURAL SECTOR ENTERPRISES

**Аннотация.** Одно из направлений экологизации экономического развития – это широкое развитие малоотходных и ресурсосберегающих технологий. Разработанный автором (в соавторстве) технологический комплекс по утилизации птичьего помета (установка пневмотермической сушки – УПС-1 и установка термического компостирования) был применен на птицефабриках Пермского края. Полученный на УПС-1 сушеный птичий помет (СПП) и гранулированный (ГСПП), в серии полевых опытов вносился, в качестве удобрения, на поля Пермского края и Ленинградской области. Выявлено – данное удобрение оказывает влияние как на урожайность сельскохозяйственных культур, так и на элементы плодородия почв. Предложенная автором методология совершенствования комплексного управления устойчивым развитием предприятий АПК на основе технико-эколого-экономической системы (ТЭС) заключается в замкнутом цикле воспроизводства: корма → животные → навоз, помет (переработка) → удобрение → почва → растения → корма.

**Annotation.** One of the ecological and economic development trends is a broad development of low-waste and resource-saving technologies. Technological complex the utilization of bird dung developed by the author (in co-authorship) (a pneumothermal dryer installation – PDI-1 and thermal composting installation) was used in the poultry farms of the Perm region. Dried bird dung (DBD) and granulated dried bird dung (GDBD) obtained at the UPS-1 in a series of field experiments was introduced as a fertilizer on the fields of Perm and Leningrad region. As it was found - this fertilizer influences the crop yields and the elements of soil fertility. The methodology of improvement the integrated management of a sustainable development of agricultural enterprises on the basis of techno-eco-economic system (TEES) introduced by the author is a closed cycle of reproduction: fodder → animals → manure, dung (processing) → fertilizer → soil → plants → fodder.

*Ключевые слова: сельское хозяйство, экология, отходы, утилизация, урожайность, органическое и органоминеральное удобрение, экономика.*

*Key words: agriculture, ecology, waste, utilization, crop capacity, organic and organic-mineral fertilizers, economy*

Широкое развитие малоотходных и ресурсосберегающих технологий – это одно из направлений экологизации экономического развития. Цель развития малоотходных и ресурсосберегающих технологий – создание замкнутых технологических циклов с полным

использованием поступающего сырья и отходов. Переход к системам закрытого типа с полной переработкой и утилизацией всех поступающих ресурсов и отходов и прекращением загрязнения последними окружающей среды – это изменение самого технологического принципа (рис. 1).

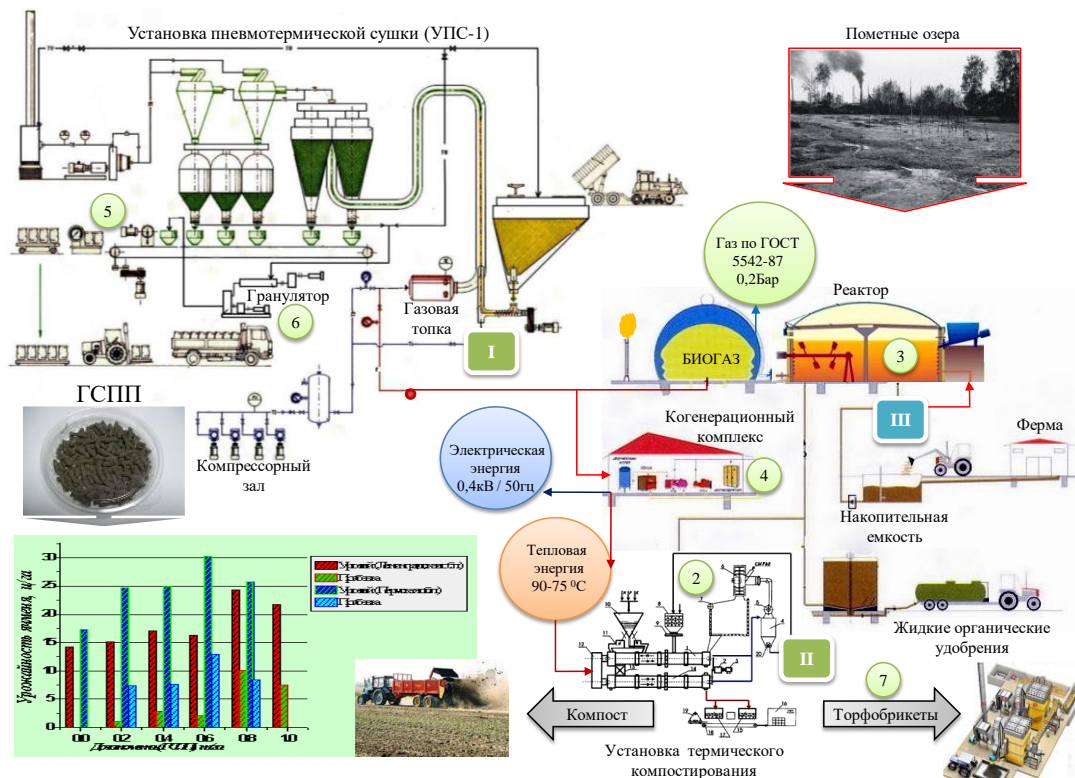


Рис.1. Схематическое решение комплексной технологии по переработке отходов животноводства (I – установка пневмотермической сушки и II – установка термического компостирования (реализованы, защищены патентами РФ), III – комплекс метантенка) 1 – труба сушилка, 2 – циклоны и осадительная камера, 3 – гранулятор, 4 – метантенк, 5 – сушилные противоточные барабаны, 6 – сушильные противоточные барабаны, 7 – пресс.

Первый шаг в уменьшение природоемкости на животноводческих предприятиях нами уже был сделан [1]. Разработанный (в соавторстве) технологический комплекс по утилизации птичьего помета (установка пневмотермической сушки – УПС-1 и установка термического компостирования) был применен на птицефабриках Пермского края (п. Родники Соликамского района и г. Кунгур) [2].

Изучение полученного на УПС-1, как сушеного птичьего помета (СПП), так и гранулированного сушеного птичьего помета (ГСПП), и их влияние, в качестве удобрения, на урожайность сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях, проводилось в серии полевых опытов на полях Пермского края и Ленинградской области [3, 4].

Внесение СПП и СГПП оказало практически одинаковое действие на урожайность пшеницы (табл. 1). Так, доза СПП 3,0 т/га позволила получить прибавку урожая 54,7% по отношению к контролю. Применение ГСПП (малых доз) от 0,5 до 2,0 т/га позволяет получить прибавку урожая от 1,51 ц/га до 2,75ц/га (17,9-32,7%) и только увеличение дозы до 2,5-3,0 т/га повышает продуктивность пшеницы на 54,5-59,0% по отношению к контрольному варианту без удобрений. Применение гранулированного сушеного помета (ГСПП) было более эффективным, чем СПП, при выращивании овса и пшеницы. Прибавки урожая здесь составили: пшеницы 1,5-5,8ц/га, овса - 5,4-9,4 ц/га. Обращает на себя внимание повышенная отзывчивость на ГСПП овса, основное внесение в дозе 0,5 т/га позволили получить прибавку урожая 8,6 ц/га.

**Влияние основного внесения СПП и ГСПП на урожайность зерновых культур  
(Пермская обл., почва 7)**

Доза помета, т/га	пшеница			овес		
	ц/га	прибавка		ц/га	прибавка	
		ц/га	%		ц/га	%
<b>Сушенный (СПП)</b>						
Контроль (без удобр.)	8,33	-	-	10,58	-	-
0,5	9,56	1,23	14,8	14,28	3,70	34,9
1,0	11,22	2,89	34,7	15,83	5,25	49,6
1,5	9,98	1,65	19,8	13,44	2,86	27,0
2,0	11,72	3,39	40,7	14,67	4,09	38,7
2,5	11,89	3,56	42,7	14,17	3,59	33,9
3,0	12,89	4,56	54,7	12,17	1,59	15,0
3,5	12,22	3,89	46,7	13,83	3,25	30,7
4,0	12,11	3,78	45,4	14,17	3,59	33,9
5,0	13,22	4,89	58,7	13,90	3,32	31,4
НСР <sub>05</sub>	1,39			0,75		
<b>Гранулированный (ГСПП)</b>						
Контроль (без удобр.)	8,42	-	-	13,87	-	-
0,5	11,17	2,75	32,7	22,50	8,63	62,2
1,0	10,05	1,63	19,4	21,35	7,48	53,9
1,5	9,94	1,52	18,1	20,70	6,83	49,2
2,0	9,93	1,51	17,9	19,30	5,43	39,1
2,5	13,39	4,97	59,0	21,65	7,78	56,1
3,0	13,01	4,59	54,5	19,20	5,33	38,4
3,5	12,72	4,30	51,1	20,87	7,00	50,5
4,0	12,22	3,80	45,1	21,33	7,46	53,7
5,0	14,25	5,83	69,2	23,30	9,43	67,9
НСР <sub>05</sub>	1,84			2,26		

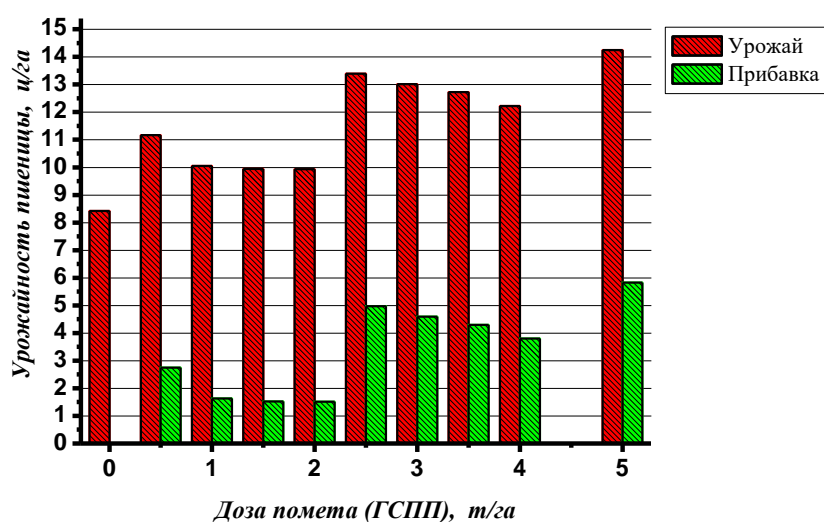


Рис. 2. Диаграммы урожайности пшеницы при внесении ГСПП

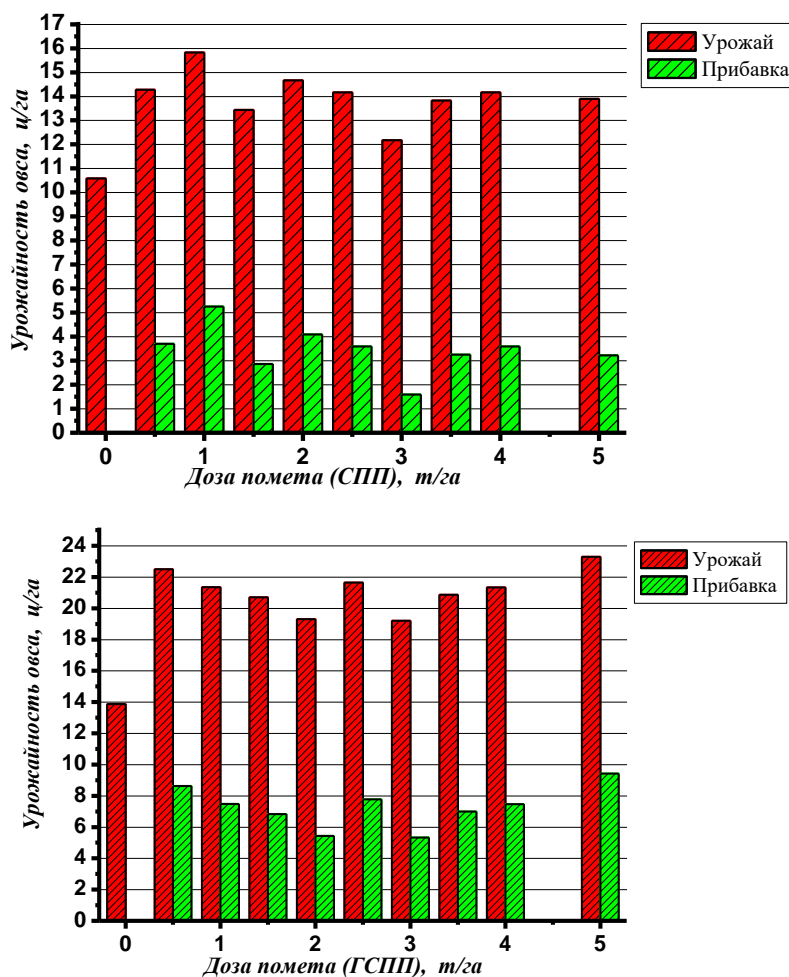


Рис. 3. Диаграммы урожайности овса при внесении СПП и ГСПП

Проведенные опыты позволили также установить пороговые дозы для СПП и ГСПП, внесение которых приводит к угнетению или даже гибели растений. Расчет доз проводился по формуле:

$$П_d = Н \cdot У_n \cdot К$$

где:

$П_d$  – доза питательного вещества на планируемый урожай, кг/га;

$Н$  – норма затрат питательного вещества на получение 1 т прибавки урожая, кг;

$У_n$  – планируемая прибавка урожая, т/га;

$К$  – поправочный коэффициент на содержание питательного вещества в почве.

Поэтому при использовании сушеного птичьего помета следует учитывать, что это высококонцентрированное удобрение с выраженными щелочными свойствами, и его избыток может привести к отрицательным результатам. Птичий помет, являясь высококонцентрированным органическим и органоминеральным удобрением, оказывает влияние не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и на элементы плодородия почв.

Таким образом, органические и органоминеральные удобрения являются одним из основных факторов интенсификации зернового производства в Российской Федерации. Зерновое производство в нашей стране традиционно является основой продовольственного комплекса и самой крупной отраслью сельского хозяйства. И нельзя не учитывать тот факт, что на спады и подъемы зернового производства оказывают влияние не только усилившиеся тенденции применения примитивных технологий, износ сельскохозяйственной техники, растущая зависимость аграрной отрасли от внешних факторов, в том числе погодных, но и резкое сокращение внесения удобрений, как органических, так и минеральных. К тому же рост производства сельскохозяйственной продукции осуществляется и интенсивным путем, т.е. за счет повышения плодородия почвы. Потерять плодородие почвы можно за несколько лет, но на восстановление его по всем параметрам потребуются десятилетия. Поэтому сегодня немаловажно остановить процессы истощения почв, сокращения содержания гумуса, прежде всего, за счет полного использования местных ресурсов, в том числе и органических удобрений. Экономическая эффективность зернового



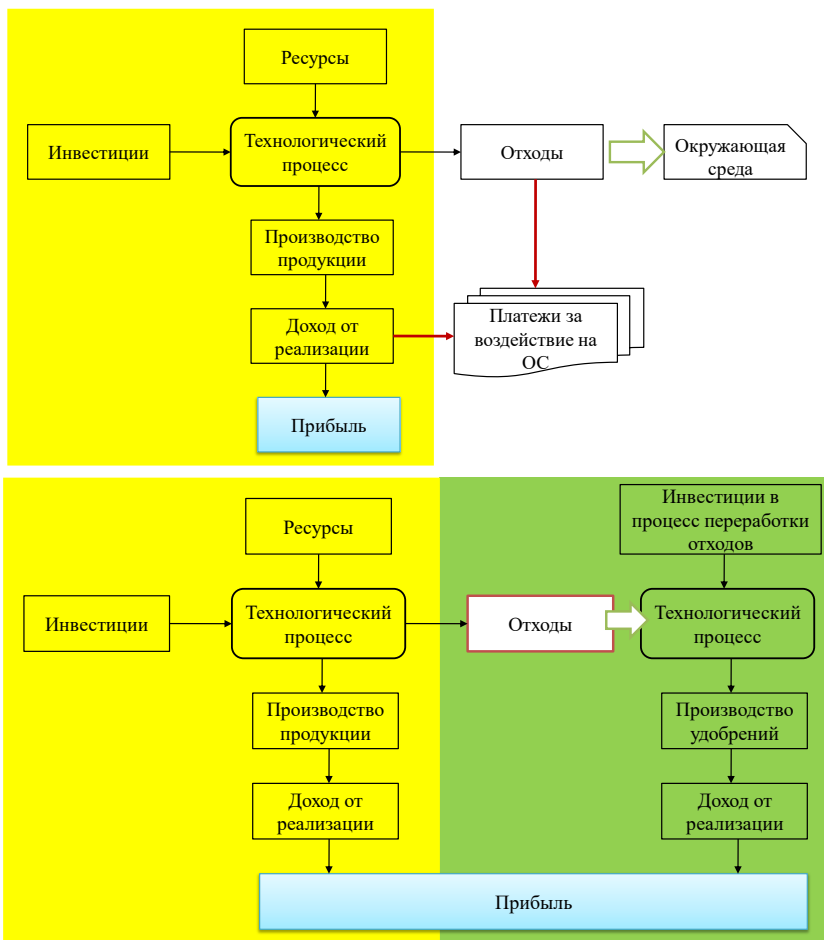
производства определяется такими показателями, как стоимость валовой продукции, себестоимость, валовой доход, прибыль с гектара посева, рентабельность. Переход зернового хозяйства к устойчивому развитию в рыночных условиях не может быть осуществлен без оптимизации всех влияющих на него факторов. Проблема повышения эффективности отраслей АПК, в особенности зернового производства, сегодня становится первостепенной.

Основными чертами, выражающими понятие устойчивой эффективной экономики предприятия, являются: достижение оптимальной величины прибыли, достаточной для развития хозяйственно-финансовой деятельности на основе самофинансирования и формирования собственного оборотного капитала в размерах, позволяющих обеспечивать высокие темпы роста объема продаж товаров, продукции, работ и услуг на уровне не ниже конкурентов. Обеспечение устойчивого эффективного развития экономики предприятия находит свое отражение в достижении систем целей (социальных, экономических, технических и экологических) на основе

последовательного осуществления принципа ответственности перед обществом. В этом случае прибыль не является уже конечной целью, на которую должна ориентироваться управленческая деятельность. Она является одной из экономических целей и выполняет важную функцию – выступает средством достижения всей системы целей.

Устойчивое (стабильное) эффективное развитие экономики хозяйствующей структуры характеризует комплексная система показателей, отражающая в динамике увеличение прибыли и обеспечение оптимального размера рентабельности, максимально возможный экономический рост (рост объема продаж), достижение и поддержание устойчивого финансового состояния на основе эффективного использования всей совокупности и каждого вида ресурсов, выполнение за отчетный период обязательств перед работниками, другими предприятиями и государством.

Хозяйственная деятельность животноводческих предприятий представлена на рисунке 4 (а,б,в).



а) хозяйственная деятельность животноводческих предприятий без учета экологических требований

б) хозяйственная деятельность животноводческих предприятий с учетом экологических требований



Рис. 4 (а, б, в). Хозяйственная деятельность животноводческих предприятий

Для комплексной оценки структурной схемы «Животноводческое предприятие – навоз/помет – органическое удобрение – поле – дополнительный урожай» в качестве обобщенного критерия принят доход от реализации производственной продукции ( $D_p$ ).

$$D_p = [SPE - Z] \rightarrow \max$$

где:  
 $SPE$  – стоимость реализации готовой продукции, тыс. руб.;  
 $Z$  – затраты на производство продукции, тыс. руб.

$$Z = ЭЗпу + ЭЗиу + ООР$$

где:

$ЭЗпу$ ,  $ЭЗиу$  – эксплуатационные затраты, соответственно, на производство и использование органического удобрения, тыс. руб.;

$ООР$  – общепроизводственные и общехозяйственные расходы, тыс. руб.

Предложенная методология совершенствования комплексного управления устойчивым развитием предприятий агропромышленного комплекса на основе технико-эколого-экономической системы заключается в замкнутом цикле воспроизводства: корма → животные → навоз, помет (переработка) → удобрение → почва → растения → корма. Устойчивое развитие интегрированного предприятия отражено на рисунке 5.



Рис.5. Устойчивое развитие интегрированного предприятия

В условиях объективно существующей неопределенности и неустойчивости общеэкономической ситуации интегрированные предприятия имеют существенные преимущества

перед независимыми предприятиями АПК, как с точки зрения сохранения входящих в него предприятий, так и с позиций нормализации экономической обстановки в стране. Такие



интегрированные предприятия, при реализации целей долгосрочного развития, должны четко определять глобальные перспективы бизнеса, ориентируясь на новые технологии и партнерство с другими хозяйствующими субъектами с целью увеличения экономической эффективности, снижения экологических проблем и защиты окружающей среды.

#### **Библиографический список**

Щеткин Б.Н. Основное внесение порошкообразного и гранулированного сушеного птичьего помета под сельскохозяйственные культуры. / Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК. Сборник материалов международной научной конференции. ч.3; Ярославль: ЯГСХА. – 2004.

Кудрявский Ю.П., Щеткин Б.Н. и др. Способ подготовки птичьего помета к утилизации. Патент РФ №2090540, по заявке №95117662, 1995 г.

Щеткин Б.Н., Щеткин С.Н. Установка для обработки органических отходов. Патент РФ №2045504, по заявке №93028665, 1993.

Щеткин Б.Н. Технологический комплекс для утилизации птичьего помета на птицефабрике. – М.: –ж-л «Тракторы и сельскохозяйственные машины» № 7 2003. с.10.

#### **Bibliography**

1. Shchetkin B.N. The basic introduction of powdered and granulated dried poultry manure for agricultural crops. / Actual problems of agricultural engineering. International scientific conference. Part 3, Yaroslavl: YSAA. - 2004.

2. Kudryavsky Y.P., Shchetkin B.N. and others. The method of preparing poultry manure for the utilization. Patent RF № 2090540, by the application № 95117662, 1995

3. Shchetkin B.N., Shchetkin S.N. Installation for processing organic waste. Patent RF № 2045504, by the application № 93028665, 1993.

4. Shchetkin B.N. Technological system for disposal of poultry manure at a chicken farm. - M.: "Tractors and agricultural machines" № July 2003. p.10.

#10(62), 2020 часть 7  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.  
Периодичность: 12 номеров в год.  
Формат - А4, цветная печать  
Все статьи рецензируются  
Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала  
Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

Редакционная коллегия

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

#10(62), 2020 part 7  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each  
month.  
Periodicity: 12 issues per year.  
Format - A4, color printing  
All articles are reviewed  
Each author receives one free printed copy of the  
journal  
Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

1000 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

1000 copies.  
Printed by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>