



Issue №22

Part 1



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №22
Part 1
November 2023

Published by:
SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *PhD in Technical Sciences*

Editorial board: More than 300 doctors of science. Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert-Peer Review Board of the journal: Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: twice a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.



УДК 636+619 1178

EFFICIENCY OF THE "MEGASVIT" BIO-STIMULATOR ON INCREASE OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF COW'S MILK**ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОСТИМУЛЯТОРА «МЕГАСВІТ», ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА****Ryzhkova T M/Рижкова Т. М.***d. t. s., professor/д.т.н. професор**orcid.org/0000-0003-3358-7496**State University of Biotechnology, Kharkiv, 44 Alchevskikh St., 61002**Державний біотехнологічний університет,**м. Харків, вул. Алчевських, б.44, 61002***Silchenko K P/Сільченко К. П.***Senior Lecturer /Старший викладач**orcid.org/0000-0002-7499-850X**Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,**м. Київ вул. Іоанна Павла II, 17, 01042***Heida I. M./ Гейда І.М.***senior teacher/старший викладач**ORCID: 0000-0001-9580-0999**State University of Biotechnology, Kharkiv, str. Alchevsky 44, 61002**Державний біотехнологічний університет,**м. Харків вул. Алчевських б.44, 61002*

Анотація. В даній статті повідомляються про створення біопрепарату (біостимулятора) «Мегасвіт» фахівцями двох навчальних закладів України: Державного біотехнологічного університету та Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Прототипом вище вказаного створеного нами біостимулятора був відомий біопрепарат «Біосвіт».

Використання обох видів біостимуляторів відбувалося в умовах ТОВ “Відродження +1881” Золочівського району Харківської області, шляхом їх введення експериментальним групам корів (Д1) та (Д2) підшкірно в область шиї з розрахунку 3-4 мг активної речовини на 1 кг маси тіла (в середньому 15 мл) на 1 тварину. Контрольній групі тварин вводили підшкірно ізотонічний розчин NaCl що становило 15 мл на 1 тварину. Проби молока відбирали на початку експерименту після введення першої ін'єкції. А потім, через 72 години після першого введення біопрепаратів, та через 30 днів після проведення п'яти ін'єкцій.

Встановлено, що під дією двох видів біопрепаратів «Біосвіт» та «Мегасвіт» через 30 днів експерименту у пробах молока від дослідних груп корів (Д1) та (Д2), відбулися зміни фізико-хімічних показників: збільшення масової частки жиру на 0,21 та 0,32%, білка на 0,12 і та на 0,37 %; лактози на 0,17 та 0,20%, сухих речовин на 0,10 та 0,13%, сухого нежирного молочного залишку на 0,08 і 0,14%, Утім, ефективність вітчизняного біопрепарату «Мегасвіт» виявилася децю вищою, ніж біопрепарату «Біосвіт» іноземного походження.

Ключові слова: рослинні біостимулятори, молочні корови, молоко, фізико-хімічні показники.

Вступ.

Одним із шляхів підвищення продуктивності корів є використання біостимуляторів з метою покращення обмінних процесів тварин (Арефієв та ін., 2008) [1]. Висока напруженість обмінних процесів у тварин, пов'язана з фізіологічними нормами, що природно супроводжується зниженням опору в



організмі. а також пригнічення інших життєво важливих фізіологічних функцій, які сприяють значному погіршенню стану здоров'я та зменшенню вироблення молока (Veselov et al. 2019) [2], зниження репродуктивної здатності та тривалість господарського використання. Усі ці факти впливають як на продуктивність корів, так і на фізико-хімічні показники молока (Петриченко, 2016) [3]. Розробка інноваційних технологій, спрямованих на збільшення виробництва молока високої якості, слід розглядати як вирішення цих питань (Червен та ін., 2017) [4]. Виробництво в технології молочного тваринництва який базувався на використанні біостимуляторів рослинного походження, можна взяти за приклад, завдяки чому були отримані такі високі результати, як підвищення продуктивності молочних корів та середньодобовий приріст телят (Кочеткова та ін., 2005) [5].

Біостимулятор «Біосвіт» виготовлений за методом В.П. Філатова з рослинної сировини, імпортованої з Таїланду, у формі сухої суміші "11-тигрів" Eleven Tigers Herbal Bar Energizer, яка включала сім компонентів рослин

Біостимулятор "Мегасвіт" виготовляється з вітчизняної сировини, яка має аналогічні властивості суміші іноземного виробника який включав набір сухих рослин із семи компонентів.

Біопрепарати були виготовлені в лабораторії експериментальної ветеринарної медицини ТОВ «SmartBioLab» у місті Харків.

Дослідження проведено на молочній фермі ТОВ "Відродження +1881" Золочівський район Харківської області. Для цього формувались групи корів живою масою 450-500 кг одна К (контрольна) і дві експериментальних (Д1 та Д2) по 5 голів у кожній (усього 15 голів корів). Контрольній групі корів (К) вводили підшкірно в області шиї ін'єкцію з ізотонічним розчином хлориду натрію з розрахунку 3-4 мг на 1 кг маси тіла тварини в кількості 15 мл на 1 голову.

Дослідним групам тварин (Д1) та (Д2) вводили, відповідно, біопрепарати "Біосвіт" та "Мегасвіт" із розрахунку 3-4 мг активної речовини біопрепарату на 1 кг ваги тварин у кількість 15 мл на 1 голову п'ять разів, через кожні 72 години.

Зразки молока відбирали тричі: вранці - доїння перед ін'єкціями біопрепаратів; через 72 години після введення біопрепаратів, та через 30 днів після п'яти ін'єкцій. Відібрані зразки коров'ячого молока від контрольної та двох дослідних груп корів, до організму яких вводили 2 види біопрепаратів, відповідно, "Біосвіт" та "Мегасвіт" були направлені до Центру випробувань Інституту тваринництва НААНУ, де проводилися визначення їх фізико - хімічних показників.

У таблиці 1 наведено зміни фізико-хімічних показників зразків коров'ячого молока, отриманих після введення п'яти ін'єкцій біостимуляторів «Біосвіт» та «Мегасвіт» до організму дослідних груп тварин через 30 днів після початку експерименту.

Із даних таблиці 1 видно, що масова частка (М.ч) жиру в зразках молока під впливом біопрепаратів БП та БВП зросла, відповідно, на 0,21 та 0,32%, порівняно з контрольною пробою молока ($P \geq 0,99$).

М.ч жиру у зразках молока у дослідних корів групи Д2 під впливом біопрепарату БВП збільшилася на 0,11%, порівняно з тим самим показником у



зразках молока в експериментальній групі корів Д1, якій вводили біопрепарат БП ($P \geq 0,95$).

Таблиця 1 - Фізико - хімічні показники проб молока корів через 30 днів після п'ятикратних ін'єкцій введення біопрепаратів

Фізико-хімічні показники проб молока	(К) контрольна група корів, введено (0,9% розчин NaCl)	(Д1) під дією біопрепарату (БП) «Біосвіт»	(Д2) під дією біопрепарату (БВП) «Мегасвіт»
Масова частка, %:			
Жиру	4,03±0,11	4,24±0,08**	4,35±0,21*
Білка	2,71±0,04	2,83±0,02**	3,08±0,12*
Лактози	4,70±0,17	4,87±0,04*	4,90±0,02*
Сухої речовини	12,23±0,29	12,33±0,41*	12,36±0,44*
Сухого знежиреного (СЗМЗ) молочного залишку	8,27±0,27	8,35±0,13*	8,41±0,15*
Протеїну	2,86±0,10	3,10±0,04**	3,14±0,04*
Точка замерзання, °C	0,536±0,05	0,539±0,02	0,539±0,02

Примітка. * $P \geq 0,95$, ** $P \geq 0,99$

М.ч. білка у пробах молока під дією біопрепаратів БП та БВП збільшилася на 0,12 ($P \geq 0,99$) та 0,37% ($P \geq 0,95$), відповідно, порівняно з аналогічним показником проб молока від контрольної групи корів.

М. ч.білка в зразках молока від дослідної групи корів Д2 під впливом біопрепарату «Мегасвіт», була вищою на 0,25%, порівняно з таким же самим показником у зразках молока під впливом біопрепарату «Біосвіт», отриманого від групи корів Д1 ($P \geq 0,99$).

М.ч. частка лактози у пробах молока під дією біопрепаратів іноземного та вітчизняного походження зросла порівняно з контролем на 0,17 та 0,20% ($P \geq 0,95$), відповідно.

Різниця між цими показниками в експериментальних групах під впливом біологічних препаратів виявилася незначною і становила 0,03%.

Суша речовина у зразках молока під впливом біопрепаратів БП та БВП збільшилася, порівняно з контролем (К) на 0,10 та 0,13% ($P \geq 0,95$). Різниця між показниками дослідних груп корів Д2 і Д1 під впливом обох видів біопрепаратів становила 0,03% на користь біопрепарату «Мегасвіт».

Сухий знежирений молочний залишок у зразках молока під впливом біопрепаратів «Біосвіт» та «Мегасвіт» збільшився на 0,08 та 0,14%, порівняно з аналогічними показниками молока від контрольної (К) групи корів ($P \geq 0,95$).

Різниця між показниками зразків молока від двох експериментальних груп корів Д2 і Д1 під впливом обох видів біопрепаратів становила 0,06%.

Протеїн (загальний вміст білка) у пробах молока під дією біопрепарату та БВП збільшився на 0,24 ($P \geq 0,99$) та 0,28% ($P \geq 0,95$), порівняно з аналогічним показником молока від контрольної (К) групи корів. Різниця між показниками



проб молока від дослідної групи корів Д2 і Д1 становила 0,04%. Вище викладене, свідчить про більшу ефективність дії вітчизняного біостимулятора «Мегасвіт», порівняно із іноземним аналогом «Біосвіт».

Висновок.

1. Були випробувані 2 види біопрепаратів: відомий під назвою “Біосвіт”, що виготовлений з рослинної сировини іноземного походження (БІП) та створений нами “Мегасвіт” (БВІП), виготовлений на основі рослинної сировини вітчизняного походження.

2. Основний показник до якого належить білок у пробах молока, отриманих від дослідних тварин під дією біопрепаратів БІП та БВІП збільшився на 0,12 ($P \geq 0,99$) та на 0,37% ($P \geq 0,95$), відповідно, порівняно з аналогічним показником молока від контрольної (К) групи корів. Така сама тенденція спостерігалася і відносно збільшення інших фізико-хімічних показників проб молока одержаних від дослідних груп корів Д1 та Д2 (жиру, лактози, сухих речовин та сухого знежиреного молочного залишку).

3. Встановлено, що більш ефективний вплив на збільшення вище перерахованих фізико-хімічних показників проб молока, чинить біопрепарат вітчизняного походження «Мегасвіт», ніж «Біосвіт» - іноземного походження.

Література

1. Ареф'єв В.Л., Чорний В.М., Кочеткова В.В. (2008). Метаболізм білків і вуглеводів в організмі телят при використанні фітостимулятора «Гумосвіт». Гучність. 10/4. 39: 3-8. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицький ISSN: 2413-5550 eISSN: 2518-1327: <https://scholar.google.com.ua/> / цитати користувач 9MD a i Dc AAAA J & hl ru.

2. Веселов Є.В. Щербакова І.Л. Левченко І.С. (2019). Інноваційні технології у тваринництві та ефективність впровадження концепції SMART FARM. Таврійський науковий вісник № 109. Частина 2: 15-20. Дой: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-2.3>.

3. Петриченко О.А. (2016). Методологія дослідження виробництва молочної продукції. Електронний журнал №12. "Ефективна економіка" входить до переліку наукових фахових видань України з економіки (категорія "В". Наказ Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 № 975). <http://www.economy.nayka.com.ua/> op1 & z 5316

4. Червен І.І., Топорова Т.С. (2017). Сутність та особливості інноваційних технологій у молочному скотарстві. - Випуск 15: 332-337. //Глобальні та національні економічні проблеми: <http://global-national.in.ua/archive/15-2017/68.pdf>.

5. Кочеткова В.В. Головка В.О., Ареф'єв В.Л. Аксіонов О.В. (2005). Біологічно активний препарат 'ГУМОСВІТ' / Патент на корисну модель UA (01) 7182 (від) U (51) 7 A61 K35 / 00. A61 P15 / 08- Бик № 61506: <https://uapatents.com/4-7182- biologichno-aktivnijj-preparat-gumosvit.html>.



References

1. Arefiev V.I., Chornyi V.M., Kochetkova V.V. (2008). Metabolizm bilkiv i vuhlevodiv v orhanizmi teliat pry vykorystanni fitostymuliatora «humosvit». Huchnist. 10/4. 39: 3-8. Lvivskyi natsionalnyi universytet veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni s.z. hzhytskyi issn: 2413-5550eissn: 2518-1327: <https://scholar.google.com.ua/tsyatykorystuvach/9mda1dc/aaaa&j&hl=ru>
2. Veselov Ye.V. Shcherbakova I.I. Levchenko I.S. (2019). Innovatsiini tekhnolohii u tvarynnystvi ta efektyvnist vprovadzhennia kontseptsii smart farm. Tavriiskyi naukovyi visnyk № 109. Chastyna 2: 15-20. Doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-2.3>.
3. Petrychenko O.A. (2016). Metodolohiia doslidzhennia vyrobnytstva molochnoi produktsii. Elektronnyi zhurnal №12. "Efektyvna ekonomika" Vkhodyt do pereliku naukovykh fakhovykh vydan ukraïny z ekonomiky (katehoriia "v". Nakaz ministerstva osvity i nauky ukraïny vid 11.07.2019 № 975). <http://www.economy.nayka.com.ua/op1&z5316>
4. Cherven I.I., Toporova T.S. (2017). Sutnist ta osoblyvosti innovatsiinykh tekhnolohii u molochnomu skotarstvi. - vypusk 15: 332-337. //Hlobalni ta natsionalni ekonomichni problemy: <http://global-national.in.ua/archive/15-2017/68.pdf>.
5. Kochetkova V.V. Holovko V.O., Arefiev V.I. Aksionov O.V. (2005). Biologichno aktyvnyi preparat humosvit / patent na korysnu model ua (01) 7182 (vid) u (51) 7 a61 k35 / 00. A61 p15 / 08-byk № 61506: <https://uapatents.com/4-7182-biologichno-aktivnijj-preparat-gumosvit.html>.

Abstract. *This article reports on the creation of a biological preparation (biostimulant) "megavit" by specialists of two educational institutions of the state biotechnology university and the volodymyr dahl east ukrainian national university. The prototype of the above-mentioned biostimulator created by us was the well-known biological preparation "biosvit".*

One of them, "Biosvit", was made on the basis of a dry herbal mixture called "11-tigers" "eleven tigers herbal bar energizer", delivered from thailand, and consists of seven species of plants of foreign origin. Another type - "Megavit" was made on the basis of a dry plant mixture of 7 plants of domestic origin, which were collected and harvested - in ukraine.

The experiment was conducted at "Renaissance +1881" llc, zolochiv district, kharkiv region. In the experimental studies we conducted, we used 2 biologically active types of the biological preparations indicated above. They were administered to two experimental groups of ukrainian black-spotted dairy cows subcutaneously at the rate of 3-4 mg of the active substance per 1 kg of body weight (on average, 15 ml) per 1 animal.

A control group of animals was injected subcutaneously with an isotonic solution of nacl, amounting to 15 ml per 1 animal. Milk samples were taken at the beginning of the experiment after the first injection. And then, 72 hours after the first injection of biologics, and 30 days after five injections.

Milk samples selected from the formed groups of cows were monitored for physical and chemical parameters.

Installed. That under the action of two types of biological preparations "Biosvit" and "Megavit" after 30 days of the experiment in experimental groups of cows (D1) and (D2), there were changes in physico-chemical parameters in milk samples compared to the control (K): an increase in the mass fraction of fat by 0.21 and 0.32%, protein by 0.12 and 0.37%; lactose by 0.17 and 0.20%, dry substances by 0.10 and 0.13%, dry low-fat milk residue by 0.08 and 0.14%. The effectiveness of the domestic biological preparation "megavit" turned out to be somewhat higher than that of the preparation "biosvit" of foreign origin.

Keywords: *plant biostimulants, dairy cows milk, physical and chemical indicators.*



УДК 004.2

**ADAPTIVE EDUCATIONAL MODELS OF ENERGY SYSTEMS
АДАПТИВНІ НАВЧАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЕНЕРГОСИСТЕМ****Kyryk V. V. / Кирик В.В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-0419-8934

Kravchenko M. S. / Кравченко М. С.*Master's student / магістрант**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,**Kyiv, Prosp.Peremohy, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», м.Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Анотація. У статті розглядається питання необхідності використання диспетчерських тренажерів для підготовки оперативного персоналу в мережах оператора системи передачі та оператора системи розподілу. Досліджується відмінності між типами навчальних моделей. Проведено аналіз структурної наявності необхідних елементів та їх параметрів в моделі для точного відтворення поведінки реальної мережі ОЕС. Розглянуто питання використання моделі на базі програмного комплексу PowerFactory для експлуатації, управління ОЕС та навчання оперативного персоналу в межах дотримання Кодексу системи передачі.

Ключові слова: диспетчерський тренажер, навчальна модель, PowerFactory, навчання оперативного персоналу, моделювання в реальному часі, віртуальний інструктор.

Вступ.

Об'єднана енергосистема України, стає дедалі складнішою в експлуатації та управлінні завдяки розширенню ОЕС України з об'єднанням з Європейською енергосистемою ENTSO-E та запровадженню нових децентралізованих джерел генерації. Системному оператору в таких умовах стає все складніше передбачати результати реконфігурації та зміну режиму. Водночас, практичне навчання оперативного персоналу не завжди дозволяє в повній мірі моделювати складні аварійні ситуації в ОЕС України. В цьому плані тренажер може бути потужним інструментом для набуття практичних навичок та досвіду, при умові що він відображає реальні режими та параметри енергосистеми за будь-який період часу. Використання тренажерів як освітніх інструментів на базі програмних комплексів є важливим фактором при підготовці кваліфікованих кадрів, які виконують оперативне або оперативно-технологічне управління та експлуатаційне обслуговування енергоустановок електростанцій і мереж.

Галузь електроенергетики характеризується балансом вироблення та споживання електроенергії в часі. І той факт, що в кожен момент часу має зберігатись баланс між виробленням та споживанням електричної потужності – створює головну особливість роботи оперативного персоналу (диспетчерів), а також і головну вимогу до тренажерного комплексу для тренувань [1].

Перший диспетчерський тренажер був представлений на виставці PICA у 1977 році [2]. Очевидно, він не задовольняв усіх вимог щодо навчання оперативного персоналу. Недоліки його полягали у невеликій кількості вузлів в моделі, можливостей розрахунку, точності моделювання та графічного



відображення. Після представлення моделі на виставці РІСА велика кількість компаній почали власні розробки. Були представлені розробки ІТ компаній, а також власні продукти електроенергетичних компаній з управління мережею. На сьогоднішній день сформувались як основні вимоги, так і додаткові, які є перевагою того чи іншого програмного комплексу.

Одна з основних складових будь-якого тренажерного комплексу – це наявність моделі енергосистеми. Її складання потребує великої кількості ресурсів, адже необхідно максимально точно відобразити параметри ЛЕП (враховуючи, що можуть бути використанні різні типи опор та провідників), автоматичні системи збудження генераторів, автоматику в енергосистемі.

Варто відзначити, що використання тренажерних комплексів в Україні регулюється на законодавчому рівні. Глава 3 розділу X Кодексу системи передачі (КСП) зазначає вимоги до інтегрованої системи оперативно-диспетчерського управління та систем зв'язку з боку системи управління. Цей пункт також зобов'язує ОСП мати інтегровану автоматизовану систему диспетчерського управління (АСДУ), до якої повинні входити у тому числі комплекс диспетчерського тренажеру. Глава 2 розділу XII КСП описує організацію проведення спеціального навчання. Пункт 2.10 цієї глави зазначає, що навчання працівників проводиться як традиційними методами, так і з використанням сучасних видів навчання включно з технічними засобами навчання (комп'ютерні тренажери та навчально-тренувальні комплекси) [7].

Ступінь деталізації, можливості щодо моделювання та розрахунків можуть значно відрізнятись. Розглянемо якого типу навчальні моделі існують. Передусім, варто розуміти для якої ланки диспетчерського управління призначений тренажер: оператор системи передачі, оператор системи розподілу, електрична частина станції чи оператор залізничної мережі. До прикладу, основні задачі оператора системи розподілу – дотримання параметрів з надійності електропостачання SAIDI та SAIFI, локалізація несправностей у розгалуженій мережі, швидке перемикання для використання резервних схем електропостачання.

Постають питання: які елементи та компоненти мають бути в моделі для найбільш точного відтворення процесу симулювання? Які параметри дозволяється не використовувати з метою економії ресурсів? Відповіді на ці питання має давати електроенергетична компанія, враховуючи свої потреби [5]. Проте існують базові компоненти, які можна знайти на найбільш поширених диспетчерських тренажерах. Особлива увага має приділятися моделям захисту та автоматиці: диференціальні реле, реле направленої захисту, реле максимального струму, захист від відмов автоматичного вимикача, автоматика повторного включення, автоматика ліквідації асинхронного режиму.

Автоматика частотного розвантаження також базовий компонент будь-якого тренажерного комплексу. Частота – невід'ємний параметр при моделюванні перехідних динамічних процесів. Системний оператор у своїх тренуваннях повинен освоїти асинхронний режим роботи енергосистеми з поділом її на 2 та більше частин. Дефіцитні ізольовані зони в першу чергу використовують резерви підтримки, відновлення частоти, а також резерви



заміщення. Однак, при подальшій низькій частоті мають бути використані черги автоматичного частотного розвантаження (АЧР), а також інші заздалегідь сплановані можливості щодо підтримки частоти: графіки аварійних відключень споживачів, спеціальна автоматика відключення навантаження, графіки обмеження споживання електричної енергії, спеціальні графіки аварійних відключень [8].

Важливим моментом тренування є регулювання частоти та потужності – як однієї з основних задач, яка стоїть перед оператором системи передачі. Саме тому в диспетчерському тренажері особливу увагу слід приділити цьому аспекту.

Первинне регулювання здійснюється за допомогою автоматичних регуляторів швидкості турбіни і може задаватись як крутизна статичної частотної характеристики (СЧХ), що показує залежність зміни потужності на одиницю частоти.

Вторинне регулювання – це централізована автоматична функція, яка контролює виробництво електроенергії в зоні регулювання. На процес регулювання частоти в енергосистемі мають вплив і споживачі, адже згідно статичної характеристики навантаження по частоті і напрузі у разі відхилення цих компонентів змінюється і фактичне споживання потужності у споживача. Варто відзначити, що програмний комплекс PowerFactory дає можливість швидкого налаштування первинного та вторинного регулювання, а також СХН кожного споживача. На рис. 1 наведено функціональну структуру побудови системи регулювання частоти та потужності в ОЕС України.



Рисунок 1 – Функціональна структура побудови системи регулювання частоти та потужності в ОЕС України

Джерело: [7]

Для підвищення кваліфікації оперативного персоналу необхідно проводити



навчання, використовуючи тренажер з моделлю реальної ОЕС. Одним з важливих моментів є проведення моделювання в режимі реального часу з використанням регуляторів частоти, релейного захисту та автоматики. Але в той же час, створення такого тренажеру (моделі) потребує великої кількості ресурсів, та, відповідно, фінансів [3]. Саме тому пропонується універсальне рішення щодо використання вже наявної моделі ОЕС, яку енергетичні компанії використовують для внутрішніх розрахунків статичної та динамічної стійкості, електричних режимів $n-1$, релейного захисту та автоматики.

На основі проведених досліджень розроблено оригінальний графічний інтерфейс базової моделі ОЕС, який відповідає поточній мнемосхемі системного оператора. Тобто, процес розрахунку та моделювання на фактично відбувається на наявній моделі, а відображення результатів виводиться на звичній для диспетчерського персоналу мнемосхемі. Важливо, що програмний комплекс PowerFactory дозволяє прив'язку телеметрії та виконання функції з оцінки стану.

Структура взаємодії інструктора, стажера та моделі енергосистеми із прив'язкою бази даних графічно відображено на рис. 2.

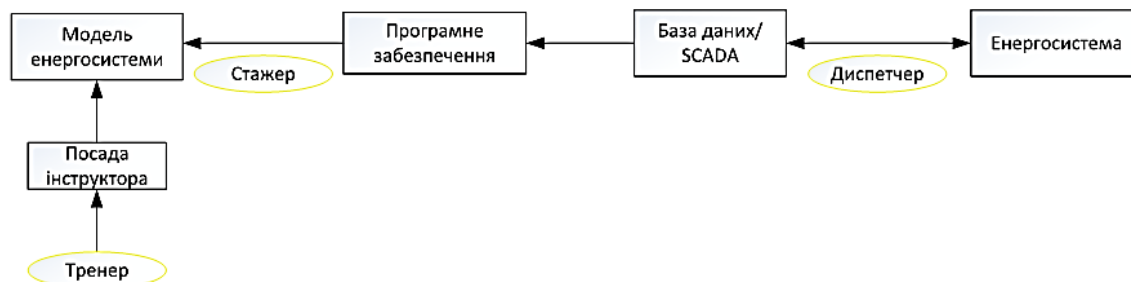


Рисунок 2 – Структура взаємодії

Авторська розробка

Розроблена модель для енергетичної компанії дозволяє не тільки скоротити витрати на розробку та закупівлі диспетчерського тренажеру, а також значно спрощує пошук відповідних інструкторів для експлуатації цього тренажеру. В такому випадку кожен структурний підрозділ (до прикладу, релейного захисту та автоматики) візьме на себе частину задачі, пов'язану з підготовкою моделі до тренування саме в аспекті своєї компетенції.

Висновки

Досліджено, що навчання диспетчерського персоналу неминує навіть на нижчих рівнях ієрархії управління енергосистемою, враховуючи швидку інтеграцію мікромереж та відновлювальних джерел енергії. Для операторів систем розподілу, а також системного диспетчера, використання розробленого графічного інтерфейсу тренажерної моделі ОЕС з моделюванням аварійних ситуацій в режимі реального часу є необхідним інструментом для підвищення кваліфікації, набуття явних та неявних знань. Програмний комплекс дозволить створити універсальну модель, яка може бути використана не тільки для диспетчерського тренажеру, а також для проведення розрахунків електричних режимів, статичної та динамічної стійкості, релейного захисту та автоматики. Такий підхід дозволяє значно зменшити фінансові капіталовкладення до



розробки та створення центру підготовки оперативного персоналу.

Перелік посилань

1. K. Máslo, M. Kolcun, “Simulation Engine for Dispatcher Training and Engineering Network Simulators”, IFAC, 2016, pp. 195-200
2. Pan Zhelong, Sun Hongbin, Wu Wenchuan, Zhang Boming, “New approach to customize secondary device models in a dispatcher training simulator (DTS)”. Electrical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, 2002, pp. 616-620.
3. R. Podmore, Fellow, IEEE, M. Robinson, M. Sadinsky and R. Sease. Virtual Instructor for Simulator Training. 2008. Pp. 1-7
4. Y. Bao, Z. Li, D. Wen, C. Guo, L. Zhang, S. Pang. Development and design of dispatcher training simulation evaluation system based on IDAC, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 15-18 Nov. 2015, 7380937.
5. K. Keerthivasan, K. Geetha, V. Sharmila Deve. Modelling and simulation of a variable step size algorithm for a power simulator, International Review on Modelling and Simulations, Vol. 7, Issue 1, 2014, pp. 185-195.
6. Veloza O P, Santamariab F. Analysis of major blackouts from 2003 to 2015: classification of incidents and review of main causes. The Electricity Journal, 2016, 29: 42–49.
7. Кодекс системи передачі. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#n1538>
8. J.G. Waight, K. Nodehi, M. Rafian, H. Van Meeteren, “An Advanced Transportable Operator Training Simulator” Empros Systems International, pp. 278-284.

Abstract. *The article examines the need to use dispatching simulators for the training of operational personnel in the networks of the transmission system operator and the distribution system operator. Differences between types of educational models are studied. An analysis of the structural presence of the necessary elements and their parameters in the model was carried out to accurately reproduce the behavior of the real UES network. The question of using a model based on the PowerFactory software complex for operation, management of the UES and training of operational personnel within the limits of compliance with the Transmission System Code was considered.*

Keywords: *dispatcher training simulator, training model, PowerFactory, operational personnel training, real-time simulation, virtual instructor.*

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кирик В.В.

Стаття відправлена: 08.11.2023 г.

© Кравченко М. С.



УДК 622.245.52

**CHANGE OF OIL PROPERTIES BY HYDRODYNAMIC CAVITATOR
ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТИ ГІДРОДИНАМІЧНИМ КАВІТАТОРОМ****Yakymchko Y. Y. / Якимечко Я. Я.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4406-0094

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019*

Анотація. В роботі розглядаються експериментальні дослідження роботи гідродинамічного кавітатора та його вплив на параметри нафти Долинського родовища.

Дослідження проводилися на базі нафтогазовидобувного управління «Долинанафтогаз» за розробленою програмою і методикою з метою: визначення частоти і амплітуди пульсацій тиску на виході з гідродинамічного пристрою-кавітатора; визначення впливу створюваних пульсацій тиску на процес зниження в'язкості нафти; оцінки динаміки зміни в'язкості нафти при її обробленні гідродинамічним кавітатором.

У статті наведено схему дослідної установки, описано порядок проведення експерименту, проаналізовано отримані результати, які свідчать про зміну реологічних показників нафти, що піддавалась впливу кавітаційно-пульсаційних коливань.

Внаслідок проведення експериментальних досліджень були отримані такі результати: встановлено виникнення пульсацій тиску і кавітаційних процесів у потоці робочої рідини при її проходженні через гідродинамічний кавітатор; встановлено характер пульсації потоку, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з пульсаційної камери з частотою 10-12 Гц. Амплітуда коливань при роботі з комбінованим соплом діаметром 8 мм складала на вході в установку 4,6-7,0 МПа, а на виході 0,21-0,24 МПа, а з комбінованим соплом діаметром 6 мм відповідно 2,1-8,3 МПа і 0,21-0,28 МПа. Виявлено, що зниження в'язкості високов'язкої нафти відбувається з перших секунд роботи гідродинамічного кавітатора, який, створюючи знакозмінні коливання тиску, руйнує механічну структуру високов'язкої нафти, що сприяє збільшенню швидкості її відкачування із свердловин.

Ключові слова: нафта, кавітатор, коливання, тиск, амплітуда, в'язкість.

Вступ.

Проблема пошуку ефективних технологій видобування високов'язкої нафти із свердловин сьогодні є актуальною у всіх нафтовидобувних країнах світу, у тому числі і в Україні. Для удосконалення цих технологій і технічних засобів використовують нові фізичні явища та ефекти. До таких фізичних явищ відноситься і кавітація. Використання кавітаційно-пульсаційної технології для зниження в'язкості важких нафт в свердловинних умовах на родовищах з високов'язкими вуглеводнями може забезпечити істотне збільшення дебіту свердловин та зниження витрат на їх експлуатацію [1]. Тому проблема більш ефективної експлуатації свердловин, що продукують високов'язкі нафти, за умов існування дефіциту енергоносіїв є актуальною і потребує подальшого вивчення.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій. Останнім часом виявлені термодинамічні ефекти, що виникають в пористому середовищі внаслідок дії на нього ультразвуком. До таких відносяться:

- термоакустичний ефект, що виражається у зміні ефективної теплопровідності середовища в акустичному полі;



- явище зміни тиску насичення, а також зміщення точки конденсації вуглеводневих систем в пористому середовищі під дією акустичного поля;
- руйнування гідратних газів під дією тепла і ультразвуку.

Ці та інші ефекти від дії акустичних коливань на високов'язку нафту можуть бути використані з метою інтенсифікації видобування нафти [2]. Вони є ефективними лише тоді, коли інтенсивність коливань достатня і основним в цьому є розробка, випробування і впровадження потужних і довговічних генераторів імпульсного поля. Перспективними в цьому напрямі є гідродинамічні випромінювачі.

Ефективність цих пристроїв часто залежить від комплексу одночасної дії не одного, а декількох факторів, які поодиночі не дають бажаного ефекту [3,4]. Так, ефективність акустичних коливань суттєво підвищується за одночасного температурного впливу і циклічної зміни тиску.

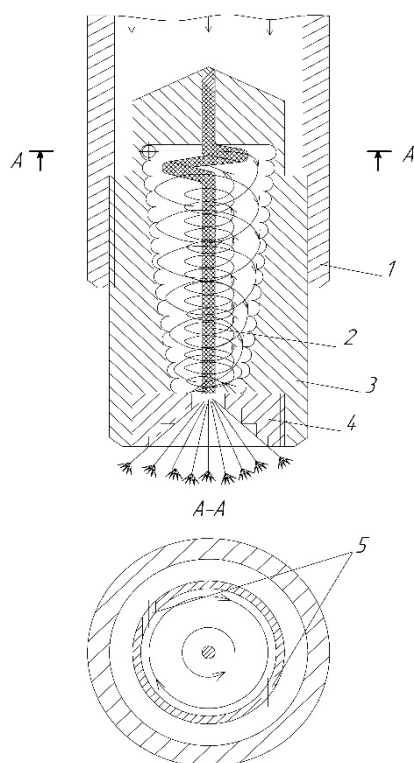
Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Основні ускладнення під час експлуатації горизонтів з високов'язкими нафтами (ВВН) пов'язані з фізико-хімічними властивостями самих нафт [5]. Під час піднімання на поверхню температура нафти знижується, внаслідок чого в'язкість нафт, що містять значну кількість асфальтеносмолопарафінових речовин. Це призводить до відчутних втрат тиску у привибійній зоні пласта, стовбурі свердловини, інтенсивного відкладання густих вуглеводнів на стінках насосно-компресорних труб і, як наслідок, погіршення видобувних можливостей свердловин і збільшення загальних витрат на експлуатацію таких свердловин. Усунення цих недоліків дало б змогу збільшити видобуток високов'язкої нафти, чого можна досягти, поєднавши одночасну роботу струминного насоса і гідродинамічного кавітатора.

Мета роботи - визначення частоти і амплітуди пульсацій тиску на виході з гідродинамічного пристрою- кавітатора; визначення впливу пульсацій тиску, які створюються, на процес зниження в'язкості нафти з метою інтенсифікації видобування високов'язкої нафти; оцінка динаміки зміни в'язкості нафти при її обробленні гідродинамічним кавітатором.

Дослідження коливань тиску, які створюються гідродинамічним кавітатором. Гідродинамічний кавітатор встановлюється на вході у всмоктувальну лінію струминного насоса і, створюючи штучну кавітацію, руйнує механічну структуру високов'язкої нафти, яка всмоктується струминним насосом. Для реалізації цієї технології в Івано-Франківському національному університеті нафти і газу була удосконалена конструкція гідродинамічного кавітатора [6, 7] і проведено дослідження пульсаційно-кавітаційних процесів, що виникають під час роботи такого пристрою. Схема гідродинамічного кавітатора зображена на рисунку 1.

Дослідження роботи гідродинамічного кавітатора удосконаленої конструкції та його впливу на нафту було проведено на базі нафтогазовидобувного управління «Долина нафтогаз». Для цього за розробленою програмою і методикою було проведено експериментальні випробування [8, 9]



*1 – патрубок; 2 – пружинний стрижень; 3 – циліндричний корпус;
4 – ступінчатий дифузор; 5 – тангенціальні входні канали*

Рисунок 1- Схема гідродинамічного кавітатора

Висвітлення матеріалів дослідження. Виходячи з поставленої мети експериментальних досліджень щодо створення пульсацій тиску в робочій рідині за допомогою гідродинамічного кавітатора, було розроблено і виготовлено стендову експериментальну установку. Дослідження проводилися згідно з нижче наведеною схемою (рисунок 2).

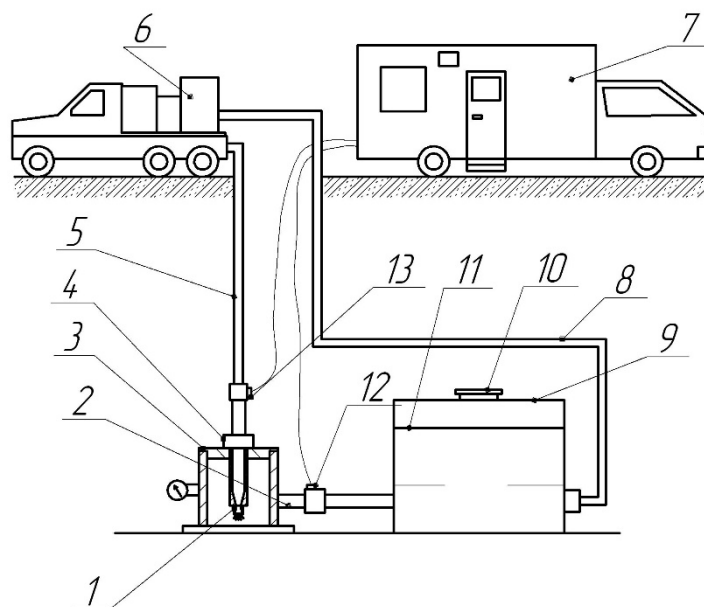
Нафта 11 подається через шток 2 від насосного агрегату 6 типу 4АН-700, проходить через гідродинамічний пристрій-кавітатор 1 і спрямовується у ємність 9. Із ємності нафта прямує у викидну лінію 8 і знову повертається у насос. Тиск на вході і на виході в установку фіксується в автономному режимі через датчики тисків 13, 12 із записом їх показників на комп'ютері станції контролю і керування ЕС-22-ACD 7.

Послідовність проведення операцій була такою:

- 1) Напомпували в сталеву ємність 1 м³ підготовленої товарної нафти (ПТН).
- 2) Провели вимірювання вихідних показників товарної нафти: температури, в'язкості, густини.
- 3) Обв'язали дослідну установку з насосним агрегатом, ємністю з нафтою і станцією контролю і керування ЕС-22-ACD.
- 4) Провели прокачування ПТН з тиском 7 МПа на насосному агрегаті упродовж 10 хвилин через дослідну установку і ємність без встановлення у шток установки гідродинамічного пристрою- кавітатора.
- 5) Зупинили роботу насоса. Провели вимірювання показників нафти: температури, густини і в'язкості.



- 6) Встановили у дослідній установці гідродинамічний кавітатор з діаметром комбінованого сопла спочатку 8 мм, а пізніше 6 мм та почали прокачування ПТН упродовж 10 хвилин і фіксували тиск на вході і на виході з установки.
- 7) Зупинили роботу насоса, відібрали із сталевієї ємності пробу ПТН і провели вимірювання показників нафти: температуру, в'язкість, густину



1 – гідродинамічний кавітатор; 2 – шток; 3 - корпус експериментальної установки; 4 – контргайка; 5 – нагнітальна лінія; 6 – насосний агрегат; 7 – станція контролю і керування EC-22-ACD; 8 – викидна лінія; 9 – ємність для нафти; 10 – горловина ємності; 11 – нафта; 12 – контрольний датчик тиску на виході з установки; 13 - контрольний датчик тиску на вході в установку

Рисунок 2 - Схема обв'язки стендової експериментальної установки при проведенні досліджень роботи гідродинамічного кавітатора удосконаленої конструкції

Прокачування нафти через дослідну установку з гідродинамічним кавітатором тривало близько однієї години. Через кожні 10 хв. зупиняли роботу насоса, відбирали проби нафти і проводили вимірювання її показників: температури, густини і в'язкості.

Усього було відібрано сім проб. Необхідно відзначити, що дослідження проводились за температури повітря – 6°C, швидкості вітру 8-12 м/с і атмосферних опадах у вигляді снігу.

Вихідні параметри нафти: температура - 14°C; густина $\rho = 849 \text{ кг/м}^3$; кінематична в'язкість $\nu = 18,52 \text{ мм}^2/\text{с}$, статична напруга зсуву через одну і десять хвилин становила $\text{CHЗ} = 2,0/2,5 \text{ дПа}$.

Необхідно відзначити, що під час прокачування нафти упродовж 10 хвилин без встановлення у шток дослідної установки гідродинамічного кавітатора температура нафти знизилась на 2 °C, а густина, кінематична в'язкість і CHЗ



(1/10) відповідно збільшились і становили $\rho = 854 \text{ кг/м}^3$ і $\nu = 28,946 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ і $\text{CH}_3 = 2,5/3,5 \text{ дПа}$.

Результати проведених експериментальних досліджень зведені до табл. 1.

Таблиця 1- Результати досліджень впливу роботи гідродинамічного кавітатора на параметри нафти

Тип пристрою	Тиск на вході в установку $P_{\text{вх}}$, МПа	Тиск на виході з установки $P_{\text{вих}}$, МПа	Час нагнітання рідини, робочої рідини, хв.	Параметри нафти			
				ρ , кг/м^3	ν , $\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	t , $^{\circ}\text{C}$	CH_3 , 1/10 хв. дПа
Без гідродинамічного кавітатора	4,0-5,3	0,01	10	854	28,946	12	2,5/3,5
Гідродинамічний кавітатор з діаметром комбінованого сопла 8 мм	4,6-7,0	0,21-0,24	10	846	8,23	16	1,0/1,0
				839	7,65	20	1,0/1,0
Гідродинамічний кавітатор з діаметром комбінованого сопла 6 мм	2,1-8,3	0,21-0,28	10	835	7,44	25	1,0/1,0
				830	7,23	29	1,0/1,0
				824	6,95	34	1,0/1,0

Авторська розробка

Пульсації на виході з установки не спостерігалось (рисунок 3). Після встановлення гідродинамічного кавітатора у шток установки і відновлення прокачування нафти згідно з наведеною схемою температура нафти почала зростати на 4 – 5 $^{\circ}\text{C}$ через кожні 10 хвилин, а густина знижувалась відповідно на 4-8 одиниць і 2-3 %. Необхідно зауважити, що після першого прокачування через гідродинамічний кавітатор кінематична в'язкість знизилась більше ніж на 20 одиниць (в кінцевому результаті кінематична в'язкість зменшилась в 4,16 рази). Статична напруга зсуву через 1 хв. зменшилась на 1,5 дПа, а через 10 хв. – на 2,5 дПа і становила 1,0 дПа і залишалась стабільною до кінця проведення експерименту (рисунок 4).

За результатами стендових експериментальних досліджень складено акт, в якому було відмічено, що гідродинамічний кавітатор є безпечним в екологічному



відношенні і може бути використаний як засіб для зниження в'язкості нафти у вибійних умовах у складі комплексу обладнання для видобування із свердловин високов'язкої нафти з вмістом асфальтенів, смол і парафінів.

Частота коливань під час роботи гідродинамічного кавітатора, як видно з рис. 4-5, становила 10-12 Гц. Амплітуда коливань при роботі з комбінованим соплом діаметром 8 мм складала на вході в установку 4,6-7,0 МПа, а на виході - 0,21-0,24 МПа, а з комбінованим соплом діаметром 6 мм відповідно 2,1-8,3 МПа і 0,21-0,28 МПа.

Для порівняння наводимо результати досліджень показників нафти (в'язкість, статична напруга зсуву) після її нагрівання до відповідних температур, які проводилися разом з фахівцями НДПІ ПАТ «Укрнафта» (таблиця 2).

**Таблиця 2 - Результати дослідження нафти зі свердловин
Долинського родовища**

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	№ свердловини		
			833	751	825
1.	Температура застигання	°C	21	27	20
2.	Густина товарної нафти	кг/м ³	848	863	849
3.	В'язкість кінематична	м ² /с · 10 ⁻⁶			
	при 25 °C		27,996	-	17,88
	при 29 °C		15,026	36,874	10,448
	при 34 °C		8,193	16,229	7,224
	при 40 °C		7,934	11,562	5,914
4.	Статична напруга зсуву через 1/10 хв.	дПа			
	при 25 °C		1,0/1,0	2,0/2,0	1,0/1,0
	при 29 °C		2,0/2,0	2,5/1,0	2,0/2,0
	при 34 °C		1,0/1,0	1,0/1,5	1,0/1,5
	при 40 °C		1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0

Авторська розробка

В результаті проведення стендових випробувань було зафіксовано залежність політропи нафти від температури (рисунок 6). Необхідно відмітити, що найбільш інтенсивна зміна залежності показника політропи нафти від часу її обробки гідродинамічним кавітатором відбувалася у межах температур від 16 °C до 34 °C. Після 30 °C настає поступова стабілізація. Це свідчить про те, що завдяки такій обробці відбувається перехід нафти від стану неньютонівської до неньютонівської рідини [7]. Подальша ж обробка нафти буде малоефективною і недоцільною і призведе до зайвої витрати енергії.

Аналізуючи залежність зростання температури нафти від часу роботи гідродинамічного кавітатора (рисунок 7), можна зробити висновок, що ця залежність носить степеневий характер.

На рис. 8 відображена залежність густини нафти від часу роботи гідродинамічного кавітатора. Впродовж роботи кавітатора (із зупинками до 5 хв.



для відбору проб нафти) густина нафти знизилась з 854 до 824 кг/м³.

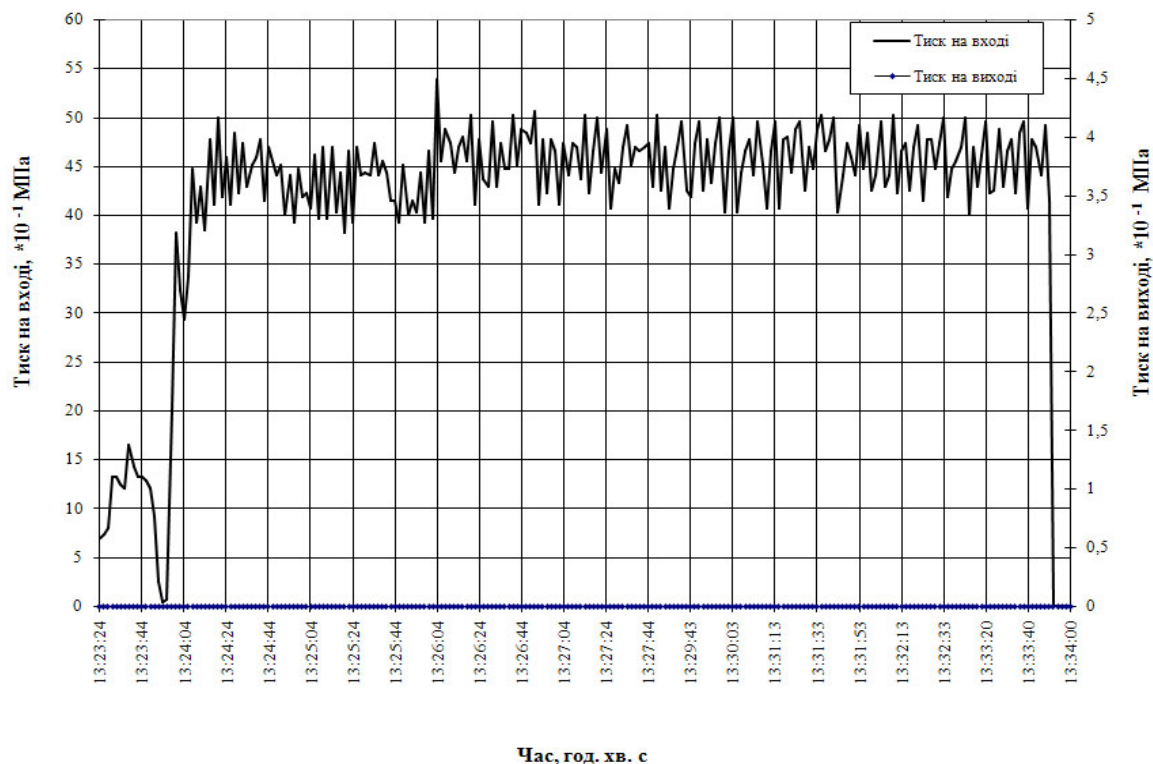


Рисунок 3 - Графічна інтерпретація результатів дослідження роботи установки без гідродинамічного кавітатора при прокачуванні нафти

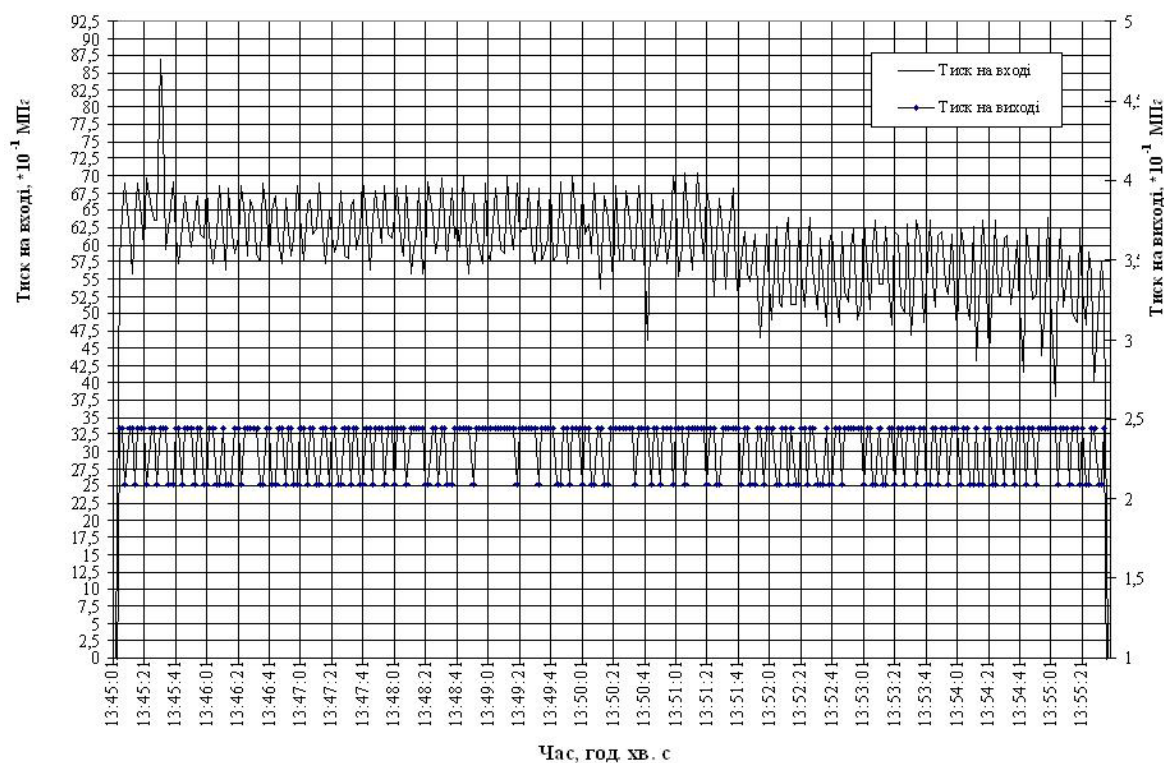


Рисунок 4 - Графічна інтерпретація результатів дослідження гідродинамічного кавітатора з діаметром комбінованого сопла 8 мм при прокачуванні нафти

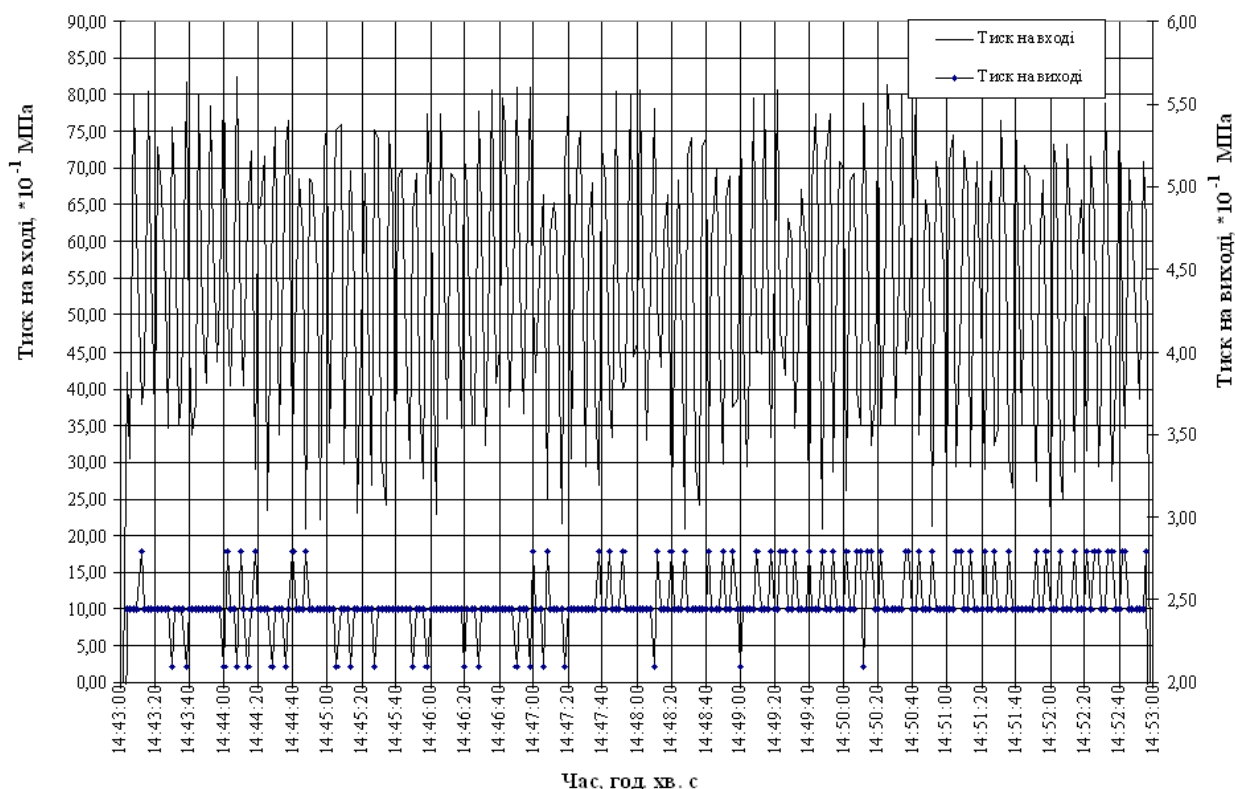


Рисунок 5 – Графічна інтерпретація результатів дослідження гідродинамічного кавітатора з діаметром комбінованого сопла 6 мм при прокачуванні нафти

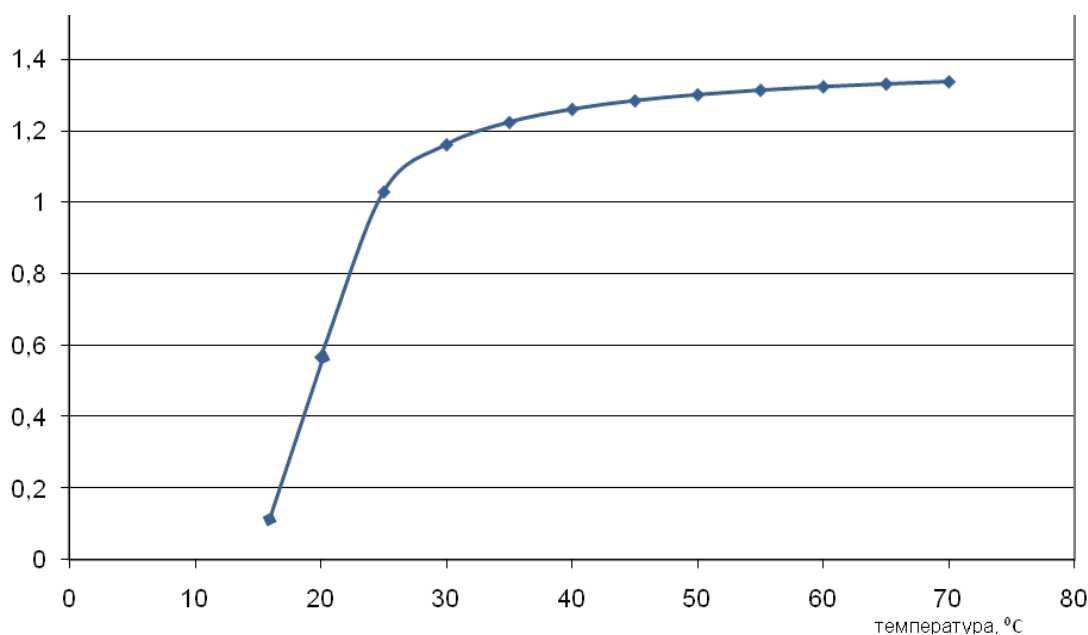


Рисунок 6 - Залежність показника політропи нафти від температури

На рисунку 9 відображена залежність коефіцієнта кінематичної в'язкості нафти від часу обробки її гідродинамічним кавітатором. Інтенсивне зниження в'язкості високов'язкої нафти відбувається з перших секунд роботи гідродинамічного кавітатора, який створюючи знакозмінні коливання тиску, руйнує механічну структуру нафти, що сприяє підвищенню швидкості її відкачування із свердловин.

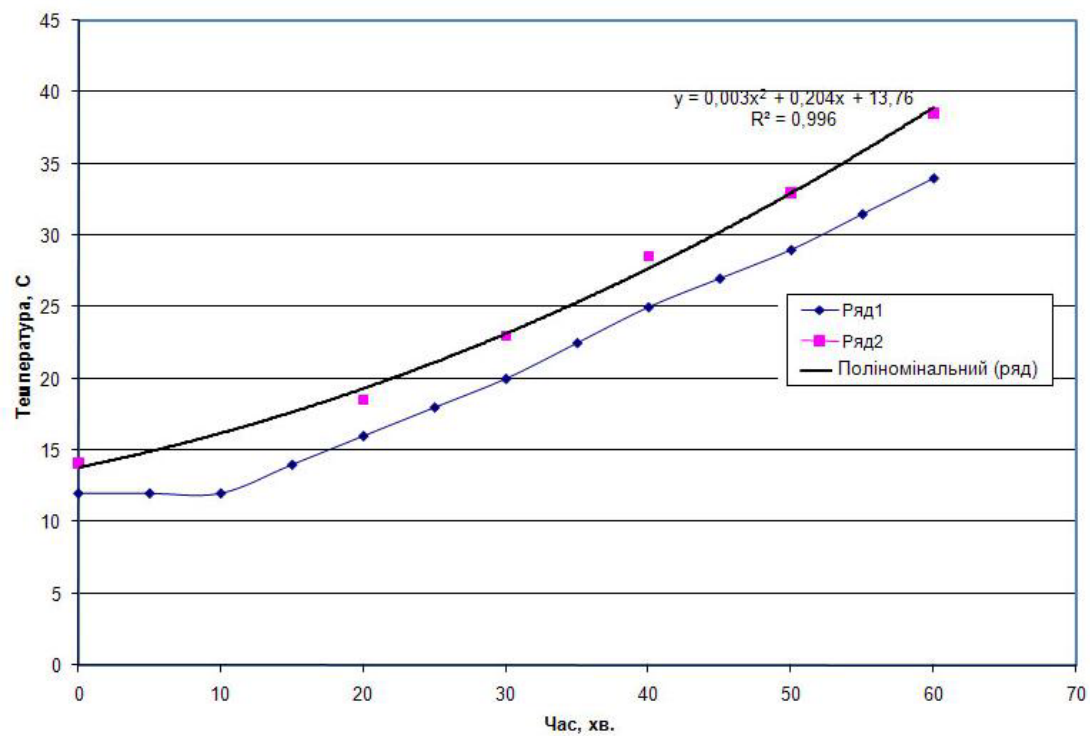


Рисунок 7 – Залежність зростання температури нафти від часу роботи гідродинамічного кавітатора

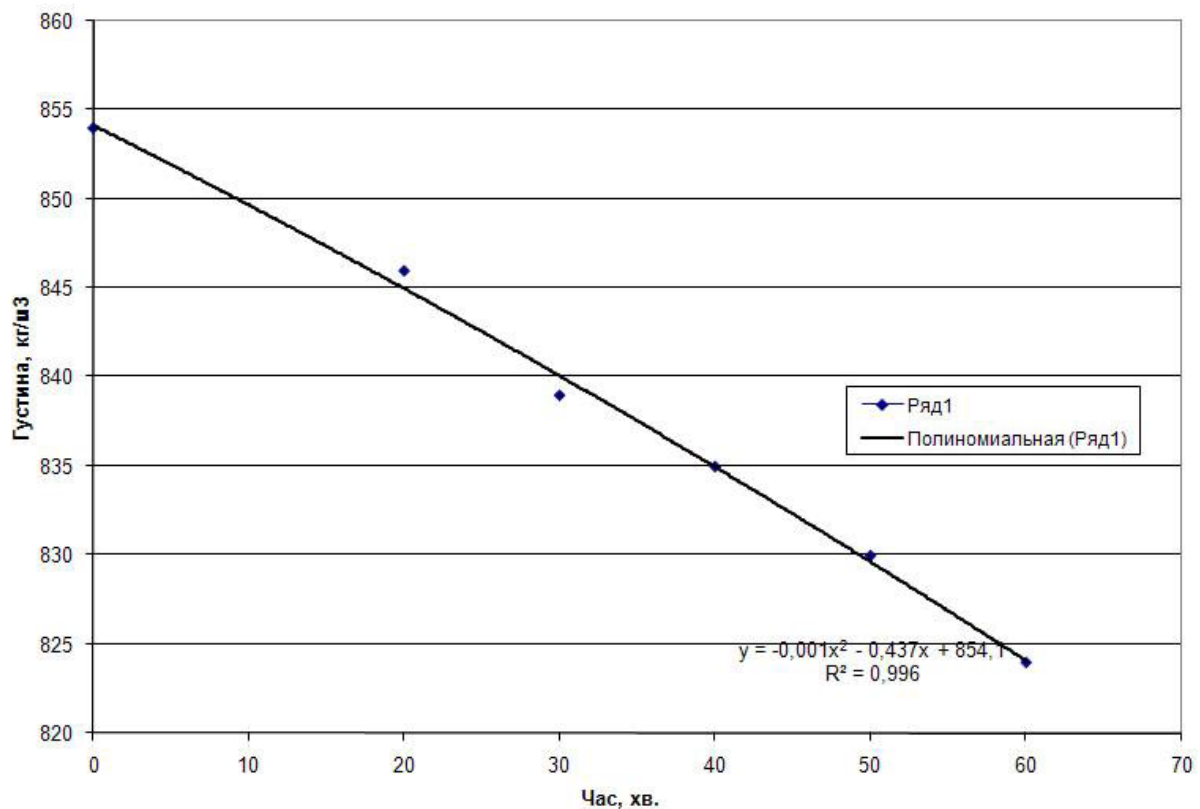


Рисунок 8 – Залежність густини нафти від часу роботи гідродинамічного кавітатора

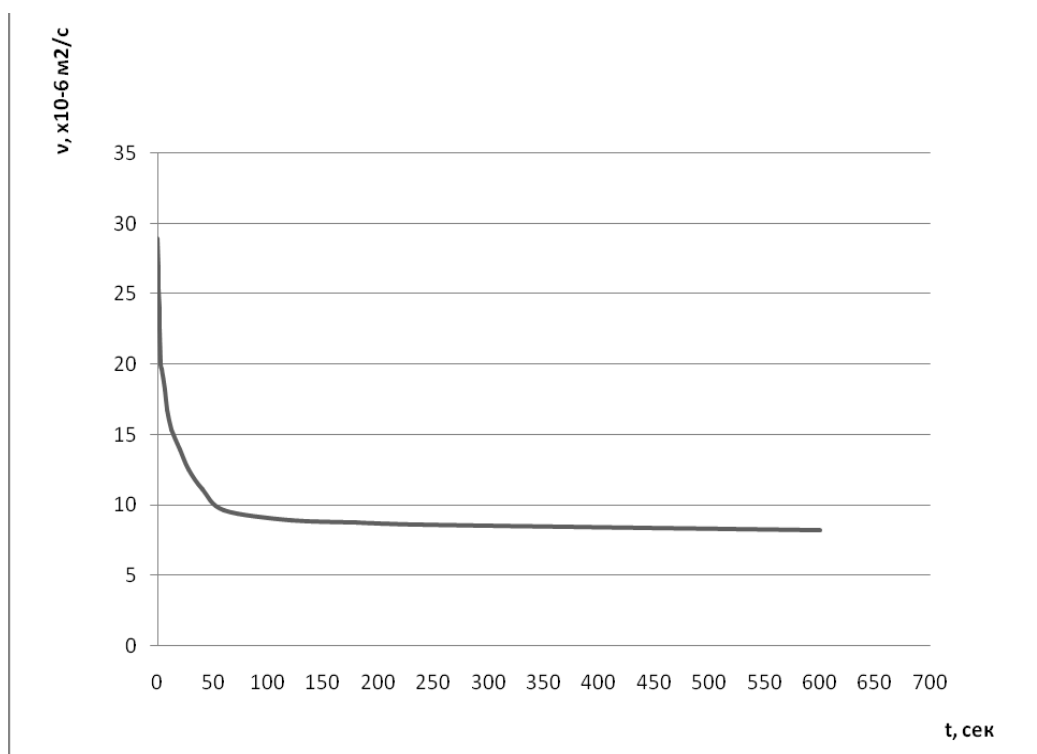


Рисунок 9 - Залежність коефіцієнта кінематичної в'язкості нафти від часу обробки гідродинамічним кавітатором

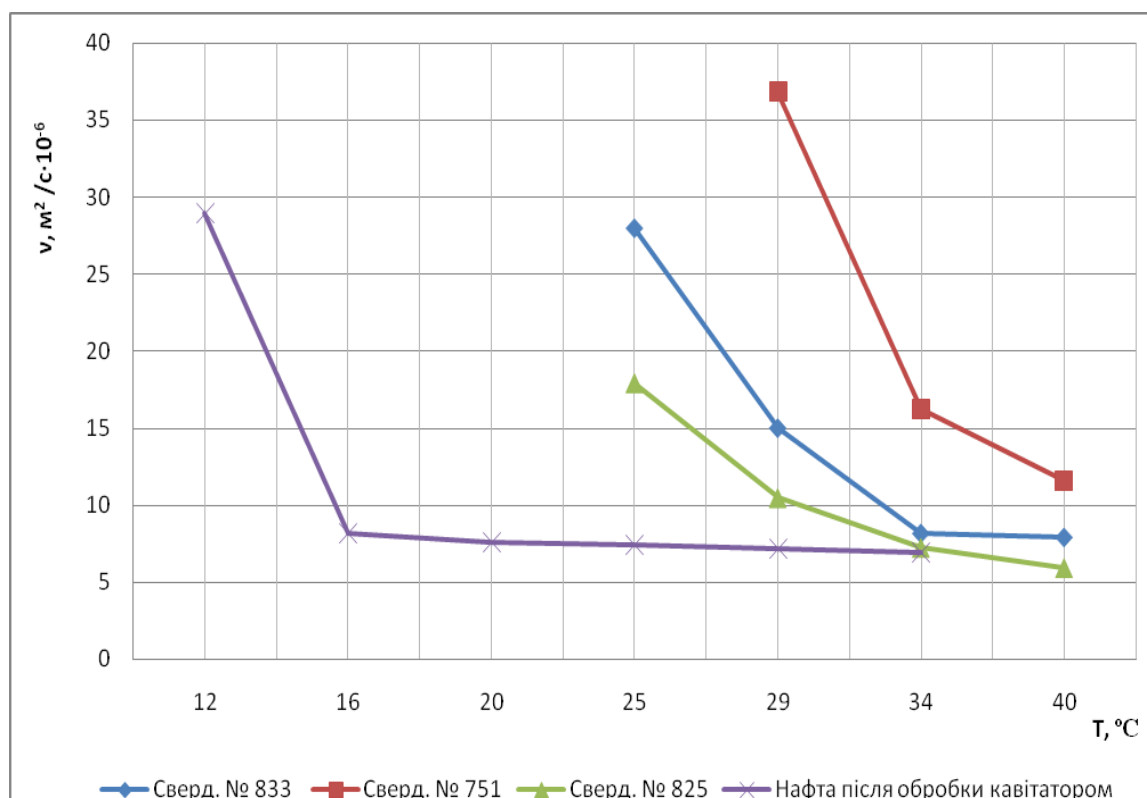


Рисунок 10 – Динаміка зміни в'язкості нафти Долинського родовища при нагріванні

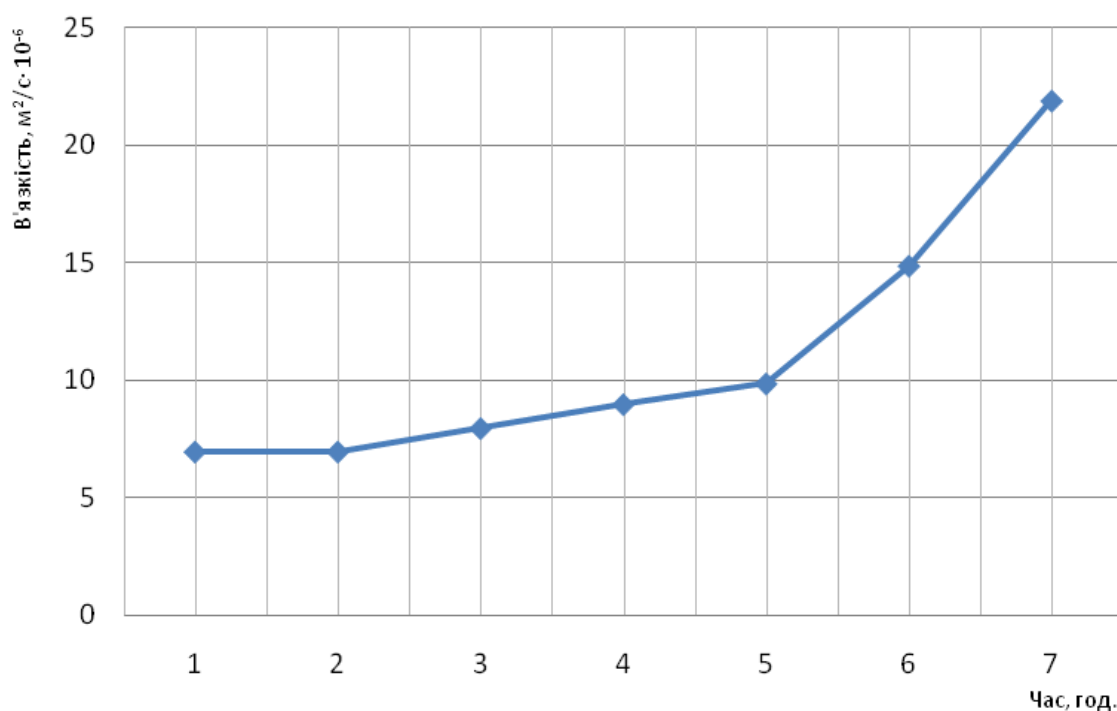


Рисунок 11 – Залежність в'язкості нафти від часу після проведення її обробки гідродинамічним кавітатором

На рисунку 10 зображена динаміка зміни в'язкості нафти Долинського родовища від температури. Порівнюючи з нафтою, яка була оброблена гідродинамічним кавітатором, стає очевидним, що її в'язкість за фіксованих температур має нижчі показники, в окремих випадках у два рази. Практично нафта, оброблена гідродинамічним кавітатором, за температури 16 °С має таку ж в'язкість, як підігріта до до 34 °С нафта Долинського родовища.

На рисунку 11 показана залежність в'язкості обробленої нафти від часу, який минув після проведення експерименту. Через 4-5 годин після обробки досліджуваної нафти гідродинамічним кавітатором її в'язкість знову повільно зростає, що підтверджується дослідженнями Сургучова М.Л., Кузнєцова О.Л., Сімкіна Е.М. та Вахітова Г.Г.

Висновки. Внаслідок проведення експериментальних досліджень були отримані такі результати:

- ✓ встановлено можливість виникнення пульсацій і кавітаційних процесів у потоці робочої рідини при її проходженні через гідродинамічний кавітатор;
- ✓ встановлено характер пульсації потоку, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з пульсаційної камери з частотою 10-12 Гц. Амплітуда коливань при роботі з комбінованим соплом діаметром 8 мм складала на вході в установку 4,6-7,0 МПа, на виході - 0,21-0,24 МПа, а з комбінованим соплом діаметром 6 мм відповідно 2,1-8,3 МПа і 0,21-0,28 МПа;
- ✓ визначено раціональне використання підведеної енергії для збільшення внутрішньої енергії в'язкої нафти на основі зміни показника політропи пульсаційно-кавітаційного процесу (від 0,1 до 1,3);
- ✓ виявлено, що в'язкість нафти знижується з перших секунд роботи гідродинамічного кавітатора, який, створюючи знакозмінні коливання тиску,



руйнує механічну структуру високов'язкої нафти, що сприяє збільшенню швидкості її відкачування із свердловин;

✓ впродовж 4-5 годин після закінчення обробки досліджуваної високов'язкої нафти гідродинамічним кавітатором її в'язкість знову повільно зростає і набуває початкових значень і навіть перевищує їх. Це явище підтверджується дослідженнями Сургучова М.Л., Кузнецова О.Л. та Сімкіна Е.М.

Проведені дослідження вказують на суттєвий вплив гідродинамічного кавітатора на параметри нафти і на доцільність застосування цього пристрою у технологічній схемі для видобування із свердловин високов'язких нафт. Роботи у цьому напрямку тривають.

Література:

1. Шандровський Т.Р., Якимечко Я.Я. До проблеми створення насосів для підймання із свердловин високов'язких нафт [Текст] / Т.Р. Шандровський, Я. Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. - 1999. - № 2. - С. 41-44.

2. Якимечко Я.Я. Концепції видобування високов'язких вуглеводнів [Текст] / Я. Я. Якимечко // Розвідка і розробка нафтових та газових родовищ. - Івано-Франківськ. - 1999. – Вип. 36 - С. 200-206.

3. Якимечко Я.Я. Інтенсифікація видобування важких нафт зниженням їх в'язкості за допомогою гідродинамічного кавітатора [Текст] / Я.Я. Якимечко, Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, О.Ю. Витязь, Я.М. Фем'як // Нафтова і газова промисловість. - 2005. - № 6. – С. 24-26.

4. United States Patent 4,702,315, Int. Cl. E 21B 43/25. Method and apparatus for sonically stimulating oil wells to increase the production thereof / Albert G. Bodine.; appl. № 900,587; filed: Aug. 26, 1986; date of Patent: Oct. 27, 1987.

5. Федоткин И. М. Исследование кавитации в технологических процессах [Текст] / И. М. Федоткин, А. Ф. Немчин. – К.: Вища школа, 1984. – 175 с.

6. Патент 36439А Україна, МПК В06В1/20. Гідродинамічний кавітатор / Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, Я. Я. Якимечко; заявники і патентовласники: Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, Я.Я. Якимечко. - № 99126895; заявл. 17.12.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3.

7. Патент 57331 Україна, МПК F04F 5/00 E21B 37/00. Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним пульсатором для видобування високов'язких нафт/ Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський; заявники і патентовласники Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський. - № u2010 08424; заявл. 05.07.2010; опубл. 25.02.2011. Бюл. № 4.

8. Якимечко Я. Я. Стендові випробування гідродинамічного пристрою-пульсатора та його вплив на параметри товарної нафти [Текст] / Я. Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – № 5-6. – С. 29–30.

9. Якимечко Я. Я. Вплив пульсацій тиску, створених гідродинамічним кавітатором, на параметри нафти / Я. Я. Якимечко, Я. М. Фем'як., С. О. Овецький, І. Я. Яремко // Тези допов. і повідомл. міжнар. наук.-техн. конф. «Нафтогазова енергетика – 2011», м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р. – Івано-Франківськ.: вид-во ІФНТУНГ, 2011. – С. 48.



References.

1. Shandrovs'kyy T.R., Yakymchko YA.YA. Do problemy stvorenniya nasosiv dlya pidymannya iz sverdlovin vysokov'yazkykh naft [Tekst] / T.R. Shandrovs'kyy, YA. YA. Yakymchko // Naftova i hazova promyslovist'. - 1999. - № 2. - S. 41-44.
2. Yakymchko YA.YA. Kontseptsii vydobuvannya vysokov'yazkykh vuhlevodniv [Tekst] / YA. YA. Yakymchko // Rozvidka i rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovysch. - Ivano-Frankivs'k. - 1999. - Vyp. 36 - S. 200-206.
3. Yakymchko YA.YA. Intensyfikatsiya vydobuvannya vazhkykh naft znyzhenniam yikh v'yazkosti za dopomohoyu hidrodynamichnoho kavitatora [Tekst] / YA.YA. Yakymchko, R.S. Yaremychuk, T.R. Shandrovs'kyy, O.YU. Vytyaz', YA.M. Fem'yak // Naftova i hazova promyslovist'. - 2005. - № 6. - S. 24-26.
4. United States Patent 4,702,315, Int. Cl. E 21V 43/25. Method and apparatus for sonically stimulating oil wells to increase the production thereof / Albert G. Bodine.; appl. № 900,587; filed: Aug. 26, 1986; date of Patent: Oct. 27, 1987.
5. Fedotkin Y. M. Yssledovanye kavytatsyy v tekhnolohycheskykh protsessakh [Tekst] / Y. M. Fedotkin, A. F. Nemchyn. - K.: Vyshcha shkola, 1984. - 175 s.
6. Patent 36439A Ukrayina, MPK V06V1/20. Hidrodynamichnyy kavitator / R.S. Yaremychuk, T.R. Shandrovs'kyy, YA. YA. Yakymchko; zayavnyky i patentovlasnyky: R.S. Yaremychuk, T.R. Shandrovs'kyy, YA.YA. Yakymchko. - № 99126895; zayavl. 17.12.1999; opubl. 16.04.2001, Byul. № 3.
7. Patent 57331 Ukrayina, MPK F04F 5/00 E21B 37/00. Sposib roboty nasosno-ezhektornoyi sverdlovinnoyi strumynnoyi ustanovky z hidrodynamichnym pul'satorom dlya vydobuvannya vysokov'yazkykh naft / R.S. Yaremychuk, YA.YA. Yakymchko, T.R. Shandrovs'kyy; zayavnyky i patentovlasnyky R.S. Yaremychuk, YA.YA. Yakymchko, T.R. Shandrovs'kyy. - № u2010 08424; zayavl. 05.07.2010; opubl. 25.02.2011. Byul. № 4.
8. Yakymchko YA. YA. Stendovi vyprobuvannya hidrodynamichnoho prystroyu-pul'satora ta yoho vplyv na parametry tovarnoyi nafty [Tekst] / YA. YA. Yakymchko // Naftova i hazova promyslovist'. - 2009. - № 5-6. - S. 29-30.
9. Yakymchko YA. YA. Vplyv pul'satsiy tysku, stvorenykh hidrodynamichnym kavitatorom, na parametry nafty / YA. YA. Yakymchko, YA. M Fem'yak., S. O. Ovets'kyy, I. YA. Yaremko // Tezy dopov. i povidoml. mizhnar. nauk.-tekh. konf. «Naftohazova enerhetyka – 2011», m. Ivano-Frankivs'k, 10-14 zhovtnya 2011 r. – Ivano-Frankivs'k.: vyd-vo IFNTUNH, 2011. – S. 48.

Abstract. *Experimental study of the hydrodynamic cavitator and its influence on the parameters of oil Dolinskogo field has been performed. The studies were conducted on the basis of Oil and Gas Management "Dolianaftogaz" on the developed program and methodology in order to: determine the frequency and amplitude of the pressure fluctuations at the output of the hydrodynamic device - cavitator, to determine the influence of pressure fluctuations that are created, the process of reducing the viscosity of crude oil; assess the dynamics of changes in the viscosity of the oil when it is processed by the hydrodynamic cavitator.*

The article shows a diagram of the experimental setup described in the procedure of the experiment, an analysis of the results was made, showing the change of rheological parameters of oil exposed to the cavitation-pulsating vibrations.

As a result of experimental research achievements were as follows: set the emergence of pressure fluctuations and cavitation processes in the flow of the working fluid as it passes through the hydrodynamic cavitator; established the nature of flow pulsations, which is to reduce the pressure values at the outlet of the pulsation chamber with a frequency of 10-12 Hz, and the oscillation amplitude when working with a combined nozzle diameter of 8 mm was at the entrance to the installation of 4,6-7,0 MPa, and output 0,21-0,24 MPa, and the combined nozzle with a diameter of 6 mm, respectively 2,1-8,3 MPa and 0.21-0.28 MPa; it was found that the decrease in the viscosity of highly viscous oil comes from the first seconds of the hydrodynamic cavitator that creates alternating pressure fluctuations and destroys the mechanical structure of the high-viscosity oil so helps to increase its rate of pumping from wells.

Key words: *oil, cavitator, vibrations, pressure, amplitude, viscosity.*



УДК 620.9

USE OF TESLA TURBINES IN LIGHTING SYSTEMS OF MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS

ВИКОРИСТАННЯ ТУРБІН ТЕСЛА В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Vashchyshak I. R. / Ващишак І.Р.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-9078-6726

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація. На основі реалізованих проєктів щодо застосування систем піко гідро та турбін Тесла обґрунтовано вибір пікогідроенергетичної системи з використанням турбіни Тесла для застосування в системах освітлення багатоповерхових будинків.

Проведено дослідження енергетичної ефективності турбіни Тесла різних конструкцій у системах піко гідро. Встановлено вплив геометрії наконечника диска на характеристики потоку турбін Тесла. Для багатоповерхового житлового будинку визначено потребу в електроенергії для забезпечення системи освітлення загальної території. Проаналізовано систему водовідведення будинків та визначено оптимальне місце для встановлення системи піко гідро. Розроблено схему системи піко гідро та підібрано необхідні її складові. Розраховано енергетичну ефективність даної системи.

Ключові слова: турбіна Тесла, енергетична ефективність, пікогідроенергетична система, система освітлення

Вступ.

Міське водне господарство, як відомо, дуже енергоємне. Інженери та дослідники в усьому світі шукають способи рекуперації енергії, що міститься у водопровідних та каналізаційних мережах. Невикористаний потенціал малих (1-10 МВт), міні (100 кВт – 1 МВт) і мікро (5-100 кВт) гідроенергетичних систем в інженерних водоводах в основному залишився невивченим, тому дослідження цього альтернативного джерела енергії набуває актуальності.

Постановка проблеми дослідження. Метою роботи є дослідження можливого виробництва електроенергії мікрогідротурбінами, інтегрованими в каналізаційні системи житлових багатоповерхових будинків, які перетворюють потенційну енергію стоків у трубах в електричну потужність.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. Раніше застосування турбіни Тесла було обмежене технологіями, які вимагали високої швидкості, але низького крутного моменту. Це мало цікавило інвесторів і уповільнювало розвиток технології. Але тепер, після змін у конструкції турбіни, вона стає перспективним джерелом електроенергії у багатьох аспектах [1].

Піко гідросистеми потужністю 5 кВт або менше можуть задовольнити енергетичну потребу з відносно низькими витратами та без негативного впливу на навколишнє середовище. Конструкція турбіни Тесла добре підходить для невеликих енергетичних проєктів, бо вона легко виготовляється та обслуговується на місці. Самі ж дискові ротори не чутливі до стирання і можуть працювати у засмічених джерелах води, що є значною перевагою для піко ГЕС.

Конструкція турбіни Тесла складається з кількох близько розташованих



дисків, встановлених та зафіксованих паралельно на валу (рисунок 1) [1]. Поруч із центром дисків розташовані отвори, через які випускається рідина в осьовому напрямку. Вузол диск-вал встановлено на підшипниках і вкрито в циліндричний корпус. Вхідний отвір в кожух спрямований приблизно по дотичній.

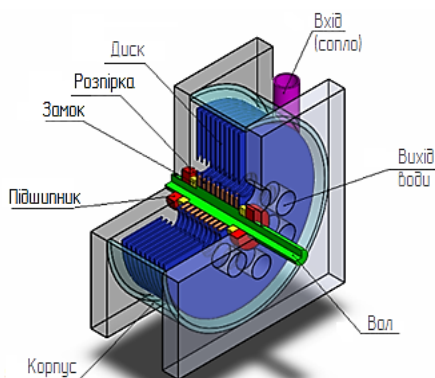


Рисунок 1 – Розріз турбіни Тесла

Робоча рідина надходить в камеру через вхідний патрубок в тангенціальному напрямку і тече по поверхні диска через дискові проміжки. Шлях потоку обертається по спіралі до центральних отворів, а потім виходить аксіально через випускний отвір. Завдяки в'язкості рідина прилипає до дисків, а градієнт швидкості формується по всьому робочому середовищу. Через це явище частина енергії рідини перетворюється на механічну роботу, що змушує диски та вал обертатися. Для керування характеристиками потоку рідини, особливо для збільшення швидкості під час входу або виходу рідини, застосовується сопло [2].

Потужність, яку можна отримати з води, розраховують за формулою [1]:

$$P = \eta \cdot Q \cdot H \cdot \rho \cdot g, \quad (1)$$

де η – ефективність турбіни, Q – загальний об'ємний потік (витрата), $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір води, м; ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$, g – прискорення вільного падіння $\text{м}/\text{с}^2$.

Крутний момент турбіни Тесла розраховують за допомогою рівняння [2]:

$$T = F \cdot R = W \cdot L, \quad (2)$$

де T – крутний момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$; F – сила, Н ; R – перпендикулярна відстань, м; W – навантаження, Н ; L – довжина плеча важеля, м.

Об'ємна швидкість потоку рідини Q визначається як об'єм рідини, що проходить через задану площу поперечного перерізу за одиницю часу [2]:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh^{1.5}} = \frac{Vol}{t}, \quad (3)$$

де Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; C_d – коефіцієнт розряду $= 0,60$; A – площа поперечного перерізу джерела води, м^2 ; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; h – напір переливу води, м; Vol – об'єм ємності, м^3 ; t – час заповнення ємності, с.

Крутний момент вимірюють навколо обертового валу, а механічна потужність обчислюється за допомогою рівняння [2]:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot N, \quad (4)$$

де T – крутний момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$; N – швидкість обертання валу, $\text{об}/\text{хв}$.

Кількість гідроенергії Ph , яка генерується шляхом перетворення



потенційної енергії з води на перепаді висот, розраховують за виразом [2]:

$$Ph = Qt \cdot H \cdot \rho \cdot g, \quad (5)$$

де Qt – об'ємна витрата, м³/с; H – напір води, м; ρ – густина води, кг/м³.

Для визначення ефективності турбіни Тесла використовують рівняння [2]:

$$\eta = P / Ph = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot N / Qt \cdot H \cdot \rho \cdot g. \quad (6)$$

Необхідна конструкція турбіни Тесла підбирається для кожного конкретного випадку її застосування, щоб можна було отримати найбільші переваги від особливостей цієї турбіни.

Оцінка продуктивності турбіни Тесла здійснена на основі результатів випробувань, наведених в [2, 3]. У [2] описано експеримент, де порівнювались ефективності турбіни Тесла при застосуванні двох джерел потоку води: потік води у прямокутній водозливній ємності та примусово створений насосом у шлангу. Результати отримані при різних кутах потоку води, зокрема 0°, 30° і 45° показують, що кут входу води в турбіну більш ефективний при 0°.

Для використання турбін Тесла з максимальною ефективністю та з врахуванням впливу середовища, проведено дослідження впливу геометрії наконечника диска на аеродинамічні характеристики та характеристики потоку «один до одного» та «один до багатьох» багатоканальних турбін Тесла [4]. Турбіни Тесла «один до одного» характеризуються тим, що один канал сопла направлений до одного каналу диска в осьовому напрямку, а турбіни Тесла «один до багатьох» характеризуються тим, що один канал сопла направлений до кількох дискових каналів в осьовому напрямку. Згідно з [4] характеристики потоку в одноканальних і багатоканальних моделях турбін відрізняються через наявність дисків, і тому кращою є турбіна Тесла з серією дисків і дискових каналів. Для роботи в неповністю очищених стоках каналізаційних мереж будинків краще застосувати набори дисків з гострими наконечниками, які допоможуть розмелювати залишки сміття. Конструкція турбіни Тесла повинна бути «один до багатьох», бо там найвищий крутний момент.

Висвітлення основного матеріалу дослідження.

Для оцінки тривалості стоку виконано частотний аналіз швидкості потоку [5]. Облік стічних вод ведеться на водоочисних спорудах, де встановлені витратоміри. Однак великою проблемою є облік потоку стічних вод у колекторній мережі будинків. Потік у зливних стоках змінюється залежно від щоденної потреби у воді, сезону та року. Для дослідження можливого вироблення електроенергії мікрогідротурбінами, інтегрованими в системи стічних вод, необхідно розглянути особливості схем потоку стічних вод та каналізації багатоповерхових будинків. Крім того, для підтвердження енергетичної ефективності системи піко гідро на базі турбін Тесла необхідно розрахувати їх генерацію та порівняти її з енергопотребою на освітлення під'їздів та прибудинкових територій.

Для досліджень вибрано стандартний 9-ти поверховий будинок з трьома під'їздами. У кожному під'їзді знаходиться 36 квартир, загальна кількість їх у будинку – 108. Кожен під'їзд обладнаний шістьма водяними стояками, діаметром 25 мм, та шістьма зливними стояками, діаметром 110 мм.

Щоб освітити сходи кожного поверху в будинку використаємо LED-лампи,



потужністю 12 Вт. Цих ламп потрібно по 9 на кожен під'їзд. Для освітлення коридорів, яких є по два на поверх, застосуємо LED-лампи, потужністю 10 Вт. Для освітлення входів до під'їздів у будинок використаємо 3 лампи, потужністю 12 Вт. Повна потужність внутрішнього освітлення будинку становить:

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{сх}} \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + P_{\text{кор}} \cdot 2 \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + P_{\text{вх п}} = 12 \cdot 9 \cdot 3 + 10 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 3 + 3 \cdot 12 = 900 \text{ Вт},$$

де $P_{\text{сх}}$, $P_{\text{кор}}$, $P_{\text{вх п}}$ – відповідно, потужність LED-ламп, що використовуються для освітлення сходових маршів, коридорів, входів до під'їздів, Вт; $n_{\text{пов}}$ – кількість поверхів у будинку, шт.; $n_{\text{під}}$ – кількість під'їздів у будинку, шт.

Розрахована потужність цілком підходить для застосування піко ГЕС. Освітлення сходових маршів у під'їздах здійснюється у вечірній і ранковий час доби, а освітлення коридорів перед входами у квартири – при натисканні вимикача. Тобто, для визначення одночасно необхідної потужності освітлення можна прийняти, що працюють усі лампи освітлення сходових маршів і приблизно п'ята частина ламп освітлення коридорів, отже:

$$P_{\text{од}} = P_{\text{сх}} \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + \frac{P_{\text{кор}} \cdot 2 \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}}}{3} = 12 \cdot 9 \cdot 3 + \frac{10 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 3}{5} = 324 + 108 = 432 \approx 450 \text{ Вт}.$$

Ця потужність повинна враховуватись при визначенні ємності акумулятора, що забезпечуватиме безперебійну роботу освітлення будинку. З добового графіку вмикання і вимикання мереж вуличного освітлення видно, що максимальна тривалість будинкового освітлення буде в січні і становитиме біля 12 годин. Тобто потрібно, щоб протягом 12 год. забезпечувалась неперервна потужність 450 Вт. Для цього використаємо акумулятор типу EUROSTART Trusk 190А на напругу 12 В і струм 190 А. Цей акумулятор не зможе забезпечувати розраховану потужність освітлення протягом вказаного періоду, тому йому необхідне регулярне підзарядження в процесі роботи. Це і повинна забезпечити запропонована піко гідросистема з турбіною Тесла.

Для знаходження місця встановлення піко ГЕС в будинковій системі каналізації розглянемо її загальну будову. Як правило, каналізація багатоповерхового будинку розміщується в підвальному приміщенні. Також у ньому знаходиться центральна стічна труба, діаметром 250 мм, яка виходить в каналізаційну систему міста. До центральної стічної труби приєднуються збірні колектори з усіх стояків будинку, діаметром 110 мм [6]. У цих колекторах є ревізійні шахти для очищення труб та видалення твердого сміття.

Існують принципові відмінності між встановленням турбін на очисних спорудах і встановленням їх у каналізаційних мережах. Не завжди технічно можливо створити необхідний тиск в колекторі каналізаційної мережі через наявні бічні відводи, підключені до магістралі (колектора). Для зниження швидкості потоку в гравітаційних каналізаційних магістралях з великим ухилом також встановлюються пристрої для розсіювання енергії. В цьому випадку важко створити тиск в колекторі, а тому необхідно реконструювати трубопровід, щоб він працював як напірний трубопровід. Це дозволить додатково використовувати спожиту воду, розподілену по під'їздах будинку, та застосувати її підвищену температуру для підвищення ефективності піко ГЕС з турбіною Тесла. Для



створення напору та зменшення впливу забруднення зливний загальний колектор необхідно реконструювати шляхом перетворення його в напірний та реконструювати системи зливу загалом (рисунок 2).

До складу реконструйованої системи входять каналізаційні стояки кожного під'їзду 1, які заведені в колектор 2. В колекторі 2 є розгалуження, яке йде на ревізійну шахту 3 та на поряд розташовану герметичну ємність 4. В герметичній ємності 4 є люк для видалення сміття 5 та труба переливу 6. Герметична ємність 4 служить для створення напору H , який забезпечуватиме необхідну потужність турбіни Тесла. Залив стоків у герметичну ємність 4 здійснюється в нижню її частину для того, щоб тверді відходи осідали на дні. Забір робочої рідини для турбіни Тесла 7 здійснюється в точці, вищій від заливу для усунення пульсацій рідини, що надходить з колектора. На валу турбіни Тесла розміщений генератор змінного струму 8 з редуктором. У збірний колектор 9, який направляє стоки до центральної стічної труби району, направляються стоки або з герметичної ємності 4, або з ревізійної шахти 3. Перемикання між каналами подачі стоків здійснюється кранами 10 – 13. Коли працює турбіна Тесла, то крани 11 та 13 відкриті, а крани 12 та 10 – закриті. Коли ж вона знаходиться на обслуговуванні, або ємність 4 очищається від твердих відходів, то крани 11 та 13 закриваються, а 10 і 12 відкриваються і стоки йдуть через ревізійну шахту 3. Змінна напруга з генератора 8 надходить на контролер 14, який заряджає акумулятор 15. Постійна напруга з акумулятора надходить на інвертор 16, а звідти, перетворена у змінну 220 В, 50 Гц – в мережу освітлення будинку.

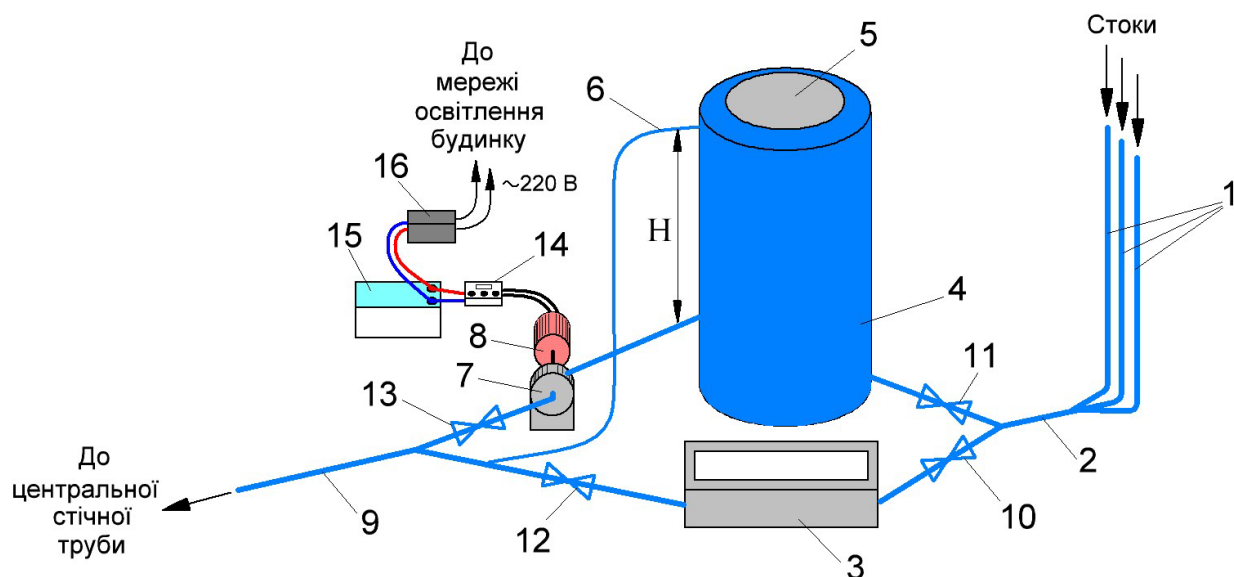


Рисунок 2 – Схема застосування піко гідросистеми у системі водовідведення будинку

Оцінка енергетичного потенціалу піко ГЕС у стічних водах є складною задачею. Дані про об'єм стічних вод залежні від різних часових форматів (місяці, дні, години), а також того, чи це стоки від зливної, чи побутової каналізації [5]. З дослідження [5] видно, що рівномірні стоки відбуваються приблизно з 10 до 23 год., тобто протягом 12-13 годин. Враховуючи, що внутрішнє освітлення будинку працює біля 10 год., цього цілком достатньо для генерації



електроенергії піко гідросистемою з підзарядкою акумулятора.

Вихід для очищення стічних вод із достатнім перепадом висоти підходить для установки міні ГЕС через високий і постійний об'єм потоку. Падіння напору з часом є значним, що призводить до зниження виробництва електроенергії в період малої кількості води в потоці (рисунок 3) [5]. Для зменшення впливу цього явища і застосували герметичну ємність, що служить як гідроакумулятор.

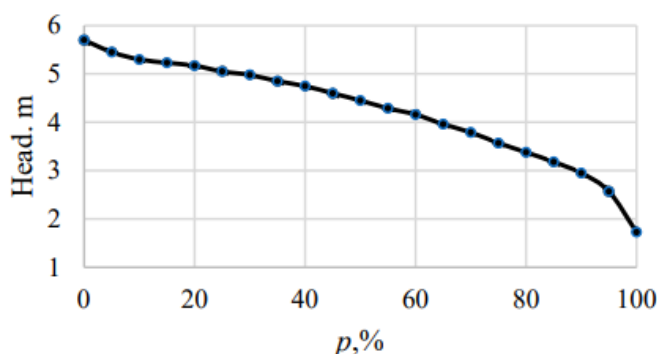


Рисунок 3 – Крива тривалості напору на виході з каналізаційної станції

Розрахуємо основні параметри турбіни Tesla для запропонованої піко гідросистеми.

Потужність на валу турбіни Tesla P_z , визначається з виразу (1). При цьому, з врахуванням різноманітних втрат приймемо, що ККД турбіни становить 60%. Напір води у герметичній ємності H приймемо 1,5 м.

Для розрахунку витрати рідини використаємо вираз (3), прийнявши напір води до переливу $h = 1,5$ м., а діаметр трубопроводу 250 мм. Звідси:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0,6 \cdot \frac{0,25^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5^{1,5}} = 0,118 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тоді: $P_z = 0,6 \cdot 0,118 \cdot 1,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 1041,82 \text{ Вт}.$

Електрична потужність електрогенератора піко гідросистеми, враховуючи, що його ККД η_e становить 90%, визначиться з виразу:

$$P_e = P_z \cdot \eta_e = 1041,82 \cdot 0,9 = 937,638 \approx 940 \text{ Вт}.$$

За 12 годин при стабільному тиску стоків піко гідросистема згенерує:

$$P_{\text{доб}} = P_e \cdot 12 = 940 \cdot 12 = 11280 \text{ Вт} \cdot \text{год. електроенергії}.$$

Для освітлення будинку за добу використовується:

$$P_{\text{ос}} = P_{\text{од}} \cdot 12 = 450 \cdot 12 = 5400 \text{ Вт} \cdot \text{год. електроенергії}.$$

З розрахованого можна зробити висновок, що запропонована піко гідросистема згенерує необхідну для освітлення кількість електроенергії з практично подвійним запасом. А це дозволить не тільки постійно підзаряджати акумулятор, а й додатково освітити територію перед будинком.

Висновки.

На основі реалізованих проєктів застосування систем піко гідро та турбін Tesla обґрунтовано вибір такої системи з використанням турбіни Tesla для застосування в системах освітлення багатоповерхових будинків та підтверджено її енергетичну ефективність.

**Література:**

1. Ho-Yan, Bryan P. Tesla turbine for pico hydro applications. *Guelph Engineering Journal*. 2011. No. 4. p. 1-8.
2. Andres, Jibsam F., Loretero, Michael E. Performance of tesla turbine using open flow water source. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019. Vol. 12. No 12. p. 2191-2199.
3. Halim, Sufi, et al. Analysis on Inlet Nozzle Design Geometry of Tesla Turbine. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. p. 1-13.
4. Qi, Wenjiao, et al. Influence of disc tip geometry on the aerodynamic performance and flow characteristics of multichannel Tesla turbines. *Energies*. 2019. No 12.3. p. 572.
5. Punys, Petras; Jurevičius, Linas. Assessment of Hydropower Potential in Wastewater Systems and Application in a Lowland Country, Lithuania. *Energies*. 2022. No 15.14. p. 5173.
6. Монтаж каналізації в будинку. URL: <https://napravisam.net/?p=27143>.

Abstract. On the basis of implemented projects on the use of pico-hydro systems and Tesla turbines, the choice of a pico-hydro power system using a Tesla turbine for use in lighting systems of multi-story buildings is substantiated.

A study of the energy efficiency of the Tesla turbine of various designs in pico-hydro systems was carried out. The influence of the geometry of the disk tip on the flow characteristics of Tesla turbines is determined. For a multi-story residential building, the need for electricity to provide a lighting system for the common area is determined. The drainage system of the building is analyzed and the optimal location for the installation of the pico-hydro system is determined. The scheme of the pico-hydro system is developed and its necessary components are selected. The energy efficiency of this system is calculated.

Key words: Tesla turbine, energy efficiency, pico hydro energy system, lighting system



УДК 621.313.175.32

STUDY OF THE MAGNETIC FIELD OF AN SINGLE-PHASE INDUCTION MOTORS

Iegorov Oleksiy

PhD, Ass. Professor

ORCID: 0000-0003-2599-1624

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,

17 Marshal Bazhanov st., Kharkiv, Ukraine, 61002

Iegorova Olga

PhD, Ass. Professor

ORCID: 0000-0001-8593-1557

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

2, Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002

Glebova Marina

PhD, Ass. Professor

ORCID: 0000-0002-0973-150X

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,

17 Marshal Bazhanov st., Kharkiv, Ukraine, 61002

Annotation. Induction capacitor motors are widely used in electric drive systems of various industrial and domestic mechanisms. Every year the scope of use of these machines continues to expand, both in new areas of technology and as a replacement for more complex electrical machines of various designs. The features of electromagnetic processes of induction capacitor electric motors with a massive rotor made of composite materials, the method and some results of mathematical modeling of such electric motors are considered.

Keywords: single-phase induction motors, field in the air gap, starting mode, shaft load, maximum torque.

Low-power induction capacitor motors for household electrical appliances (washing machines, vacuum cleaners, etc.) occupy a huge niche in electrical engineering. This also includes centrifuges, gyroscopes and other mechanisms with large moments of inertia.

However, in these new areas of application, new technical requirements are imposed on induction capacitor motors, to satisfy which it has become necessary to create designs with special properties and parameters [1].

It is known that a significant disadvantage of induction capacitor motors with rotors of traditional designs is their low starting torque. As a result, starting and accelerating devices with large moments of inertia takes a significant amount of time, during which the engine heats up intensively [2]. To reduce the acceleration time, special circuit solutions are used to increase the starting torque of the engine. These include an increase in rotor resistance, an increase in the capacity of the phase-shifting capacitor, and voltage boost. The first option is associated with increased losses in the engine, the second and third - with the need to complicate the switching circuits.

In electric drive systems with large inertial masses, it is rational to use capacitor electric motors with a massive ferromagnetic rotor (CMFR). These motors have the utmost simplicity of design, significant starting torques, the ability to operate at high speeds, and the absence of slots on the rotor, as a result of which the amplitudes of higher spatial harmonics of the magnetic field are reduced [3]. In addition, in such



engines there is magnetostriction, i.e. the change in the shape and size of the magnetic circuit during magnetization reversal is insignificant, and, consequently, the level of magnetic noise is small.

At the same time, due to the displacement effect, the massive ferromagnetic rotor of the motor has a high active resistance. This leads to increased losses in the rotor and, accordingly, to a decrease in its efficiency.

A feature of induction machines with a massive rotor is the approximate preservation of the ratio of the inductive resistance of the rotor to the active one over a significant range of changes in rotation speed. When the parameters of the stator winding are constant, the resulting motor resistance and power factor are close to a constant value [4]. This circumstance makes it possible to maintain the circular field of the engine at different values of its slip. By choosing the capacitance of the capacitor according to the conditions for obtaining the maximum starting torque in a circular magnetic field, it is possible to preserve the nature of the field while reducing slip. As the engine accelerates, the active and inductive resistance of the rotor decreases. As a result, the mechanical characteristic takes on the appearance of an “excavator”, favorable for engine starting modes [5].

The possibility of creating a circular magnetic field in capacitor motors with a massive rotor can be explained as follows. The elliptical magnetic field arising in the engine is a combination of forward and reverse magnetic fields. The frequency of the EMF induced in the rotor is determined by the sliding value of the forward field L [6]. The frequency of the EMF from the reverse field is close to double the network frequency, and the massive rotor becomes practically “opaque” to the reverse field.

It should be especially noted that it is possible to improve the energy performance of the engine by changing the composition of the rotor material.

The use of massive ferromagnetic rotors made of composite materials is a promising direction for improving the technology for manufacturing low-power induction machines. The use of powder metallurgy methods makes it possible to change the characteristics of the rotor material over a wide range due to the qualitative and quantitative composition of the various components of the charge. In addition to simplifying the technology for their production, the advantage of powder composite technology is high material conservation, characterized by a material utilization rate of 96%. Powder metallurgy methods can save up to 20% of electrical steel by reducing the waste that is inevitable when stamping electrical steel sheets.

An analysis of the electromagnetic processes of an induction capacitor motor with a massive rotor shows that, due to the effect of current displacement, the nature of their flow, as well as the distribution of the magnetic field, turns out to be much more complex than in machines with rotors of traditional design. The main reasons causing this complication are:

- current displacement effect, the nature of its manifestation depends on the rotation speed;
- electrical asymmetry of the motor, which occurs when the capacitor capacitance remains constant and the rotation speed varies;
- the presence of a spectrum of higher spatial harmonics of the magnetic field, characteristic of single-phase windings with a reduced number of stator slots.



These circumstances have necessitated the study of magnetic fields and electromagnetic processes in capacitor motors with a massive rotor using a mathematical model that reflects them with a sufficient degree of adequacy.

Maxwell's system of equations is reduced to a partial differential equation written for the axial component of the vector potential. Taking into account that in a stationary mode all the studied quantities change according to a harmonic law, and the rotor current density under the assumptions used has only a vortex component, the complex amplitude of the vector potential of the CDMR is determined by solving a field problem described by an equation with periodic boundary conditions along the φ coordinate and zero conditions of the first kind along the coordinate R .

$$\frac{1}{R} \frac{d}{dR} \left(\frac{1}{\mu} R \frac{dA}{dR} \right) + \frac{1}{R^2 \mu} \frac{d^2 A}{d\varphi^2} - \mu_0 \gamma \varpi \frac{dA}{d\varphi} - j \mu_0 \gamma \varpi A = -\mu_0 J_p - \mu_0 J_k$$

Various methods can be used to solve the magnetic field equation with known boundary conditions. In this case, a combination of the finite difference method and the method of separation of variables using the fast Fourier transform is used. The combination of these methods makes it possible to solve a boundary value problem with minimal mathematical operations.

As a result of replacing differential operators with finite-difference expressions and representing the vector potential and the right-hand side of the equation in the form of expansions in eigenfunctions of the discrete Laplace operator, we arrive at a system of algebraic equations

$$\frac{1}{R_n h_R} \left[\left(\frac{R}{\mu} \right)_{+0.5} \cdot \frac{y_{n+1} - y_n}{h_R} - \left(\frac{R}{\mu} \right)_{-0.5} \cdot \frac{y_n - y_{n-1}}{h_R} \right] - \left(\frac{1}{\mu R^2} \right)_n \lambda_k y_{k,n} - i \mu_0 \gamma \varpi_0 - \Theta_k \varpi y_n = -\phi_{k,n}$$

eigenvalues of the discrete Laplace operator:

$$\lambda_k = \frac{4}{h_\varphi^2} \sin \frac{2k\pi}{N_\varphi}$$

Coefficients Θ_k are written as:

$$\Theta_k = \frac{1}{h_\varphi} \sin \left(\frac{2k\pi}{N_\varphi} \right)$$

$k = 1, 2, \dots, N_2$; $n = 1, 2, \dots, N_1$, where N_1 and N_2 - number of partitions of spatial coordinates. The right-hand side of the magnetic field equation is calculated using the fast Fourier transform.

$$\phi_{k,n} = \frac{1}{N_\varphi} \sum_{j=0}^{N_2-1} F_{n,j} e^{j \frac{2\pi}{N_2} kj}$$

where $n = 1, 2, \dots, N_{R-1}$, $k = 1, 2, \dots, N_{\varphi-1}$, $j = 1, 2, \dots, N_{\varphi-1}$.



The calculated values of the vector potential make it possible to determine the magnetic induction in various elements of the CMFR, current density and electromagnetic forces acting on the massive rotor, losses and other machine parameters.

In Fig. 1 shows the magnetic field distribution for a sample of a capacitor motor with a stationary rotor. The engine parameters and the capacity of the phase-shifting capacitor were calculated in such a way that when the engine starts, the magnetic field is circular. The stator current load was taken in the form of a traveling wave. The vector potential, as one would expect, is uniformly distributed along the stator bore, and its envelope has a constant value.

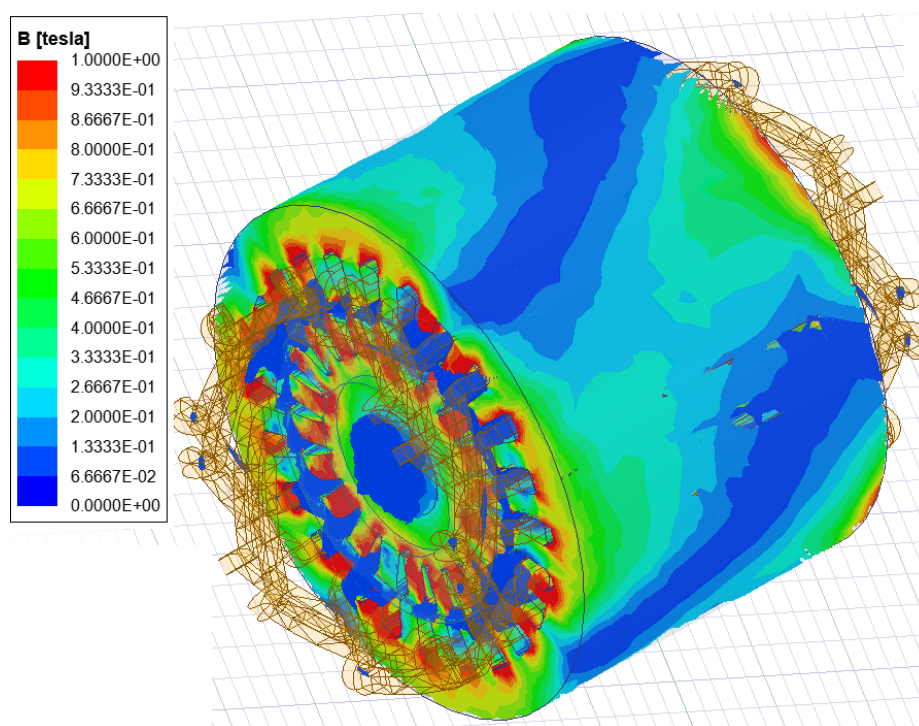


Fig. 1. Magnetic field distribution with a stationary rotor

Given the real nature of the current load, the symmetry of the phase currents and the same parameters of single-layer windings, the vector potential has a clearly defined third harmonic, which is confirmed by the nature of the envelope in Fig. 2.

In Fig. 3 shows the mechanical characteristics of a capacitor motor with a massive rotor. To calculate the mechanical characteristics, the magnetic field was calculated for each slip, and the magnetic induction and current density in the massive rotor were determined. The magnitude of the magnetic moment acting on the rotor was determined by integrating the tangential moments over the entire rotor array.

Mechanical characteristics form close to “excavator” with a high degree of filling. As a result, the electromagnetic torque of the motor in this frequency range can maintain an almost constant value. This mechanical characteristic of the engine allows the engine to be started from 0 to the rated rotation speed in the minimum possible time.

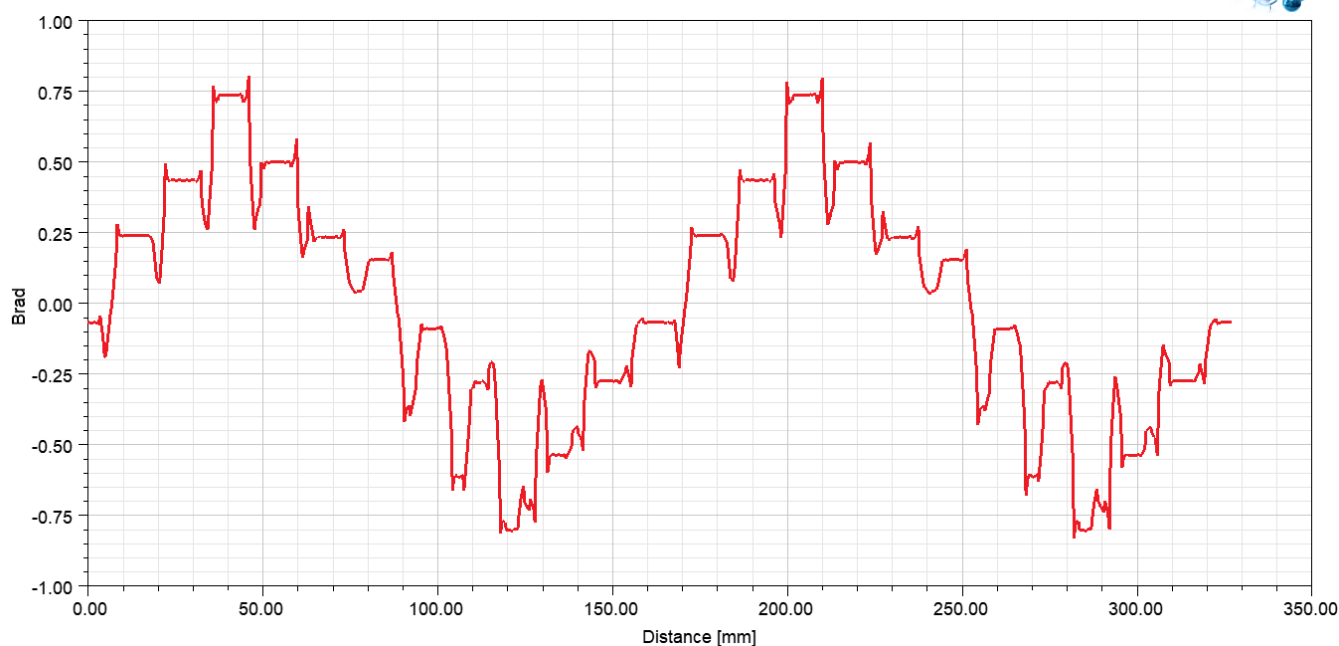


Fig. 2. The nature of magnetic induction in the air gap

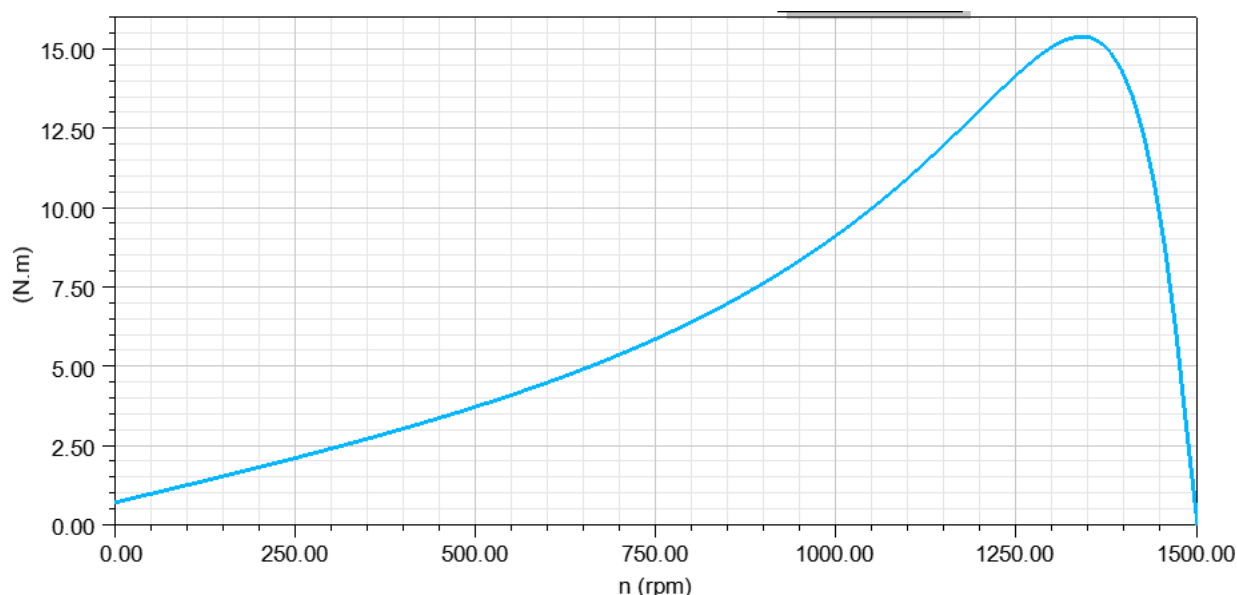


Fig. 3. Mechanical characteristics of a capacitor motor with a massive rotor

Conclusions. The modeling method discussed in the article is intended to study magnetic fields and electromagnetic processes of the magnetic resonance motor in a linear approximation, without taking into account the saturation of the ferromagnetic elements of the engine. The results obtained can be used as a first approximation for modeling saturated machines. The next stage of the work is to improve mathematical models of the CMFR, taking into account the spatial unevenness of the magnetic and electrical properties of ferromagnetic powder materials of a massive rotor.

References

1. Bobozhonov, Y., Seytmuratov, B., Fayzullaev, B., & Sultonov, A. Study of the influence of different designs of massive rotor of asynchronous generator on their maximum power. In E3S Web of Conferences (2020, Vol. 216, p. 01177). EDP Sciences.



2. O. Iegorov, O. Iegorova, O. Miroshnyk and O. Savchenko, “Improving the accuracy of determining the parameters of induction motors in transient starting modes”, ENERGETIKA, vol. 66, no. 1, 2020, pp. 15–23.

3. Yunusov, R. F., Imomnazarov, A. B., Rajabov, M. N., Karimov, I. N., Oblaqulov, S. T., & Mamatkulov, A. N. Electromagnetic quality of a linear asynchronous motor with different designs of the secondary element. In E3S Web of Conferences (2023, Vol. 434, p. 01006). EDP Sciences.

4. Finkelshtein V., Iegorov O., Maleev A. Comparison of characteristics of the converter-fed motor at supply from the single-phase network and from the source of the direct current. Електротехніка і електромеханіка. 2015. № 4. P. 15–19.

5. Iegorov O., Iegorova O., Kundenko M., Milenin A. Single-Phase Induction Motors Winding Parameters Optimization with Maximum Efficiency. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). 21-25 Sept. 2020.

6. Kurvinen, E., Di, C., Petrov, I., Nerg, J., Liukkonen, O., Jastrzebski, R. P., ... & Kangasmäki, T. Design and manufacturing of a modular low-voltage multimegawatt high-speed solid-rotor induction motor. 2021 IEEE Transactions on Industry Applications, 57(6), 6903-6912.



УДК 621.22+621.67+62.001.57

**CONSTRUCTION OF THE VECTOR DIAGRAM OF THE OPERATION
MODES OF A CENTRIFUGAL PUMP AND DETERMINATION OF THE
SCALAR EQUATION FOR ITS PRESSURE CHARACTERISTICS
ПОБУДОВА ВЕКТОРНОЇ ДІАГРАМИ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО
НАСОСА ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКАЛЯРНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ ЙОГО НАПІРНОЇ
ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Nykolyn P.M. / Николин П.М.

<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>

Nykolyn U.M. / Николин У.М.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц

<https://orcid.org/0000-0001-9111-1280>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),

Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019

Анотація. В роботі розглядається відцентровий насос, моделювання режимів його функціонування, визначення комплексних параметрів його схеми заміщення на основі термодинамічного підходу та електрогідравлічної аналогії. Представлено скалярне рівняння для визначення напірної характеристики насоса використовуючи тригонометричні співвідношення.

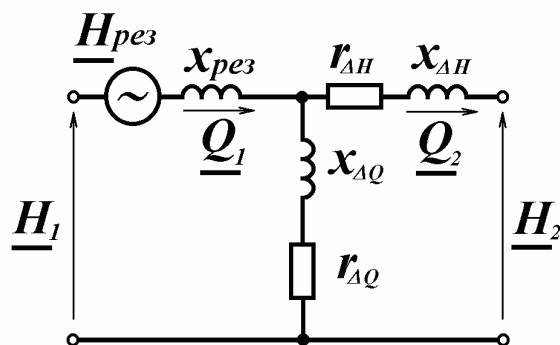
Ключові слова: термодинамічний підхід, математичне моделювання, відцентровий насос, електрогідравлічна аналогія, чотириполюсник.

Вступ.

Збереження електричної енергії є важливою частиною загальної тенденції щодо захисту навколишнього середовища. Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, найбільш потужні приводять в рух компресорні та насосні установки для перекачування рідин чи газу. Вони споживають більше половини виробленої енергії. Саме тут закладені найбільші резерви енергозбереження, оскільки загальна встановлена потужність асинхронних двигунів в Україні складає близько 40...50 млн кВт [1]. Більшість електроустановок працюють з низькою ефективністю. Щоб визначити оптимальні параметри ефективного функціонування ВН необхідно створити адекватну математичну модель. Таким чином вирішення цієї задачі можливе лише з позицій системного міждисциплінарного підходу, одним із напрямків якого є термодинамічний підхід для аналізу роботи довільних енергетичних перетворювачів [2,3]. Передумовою створення ефективною термодинамічної моделі ВН є також робота [4], в якій на основі теорії кіл Кірхгофа [5] запропонована схема заміщення гідромашини, що оперує із зосередженими комплексними параметрами.

Основна частина.

Взявши за основу повну комплексну заступну схему ВН і провівши нескладні математичні перетворення ми отримаємо схему активного чотириполюсника [3]. Отриману заступну схему ВН в подальшому легше аналізувати на основі термодинамічного підходу (рисунк 1).



$x_{\Delta H}, r_{\Delta H}$ – гідравлічні втрати у відводі; $x_{\Delta Q}, r_{\Delta Q}$ – об'ємні втрати у насосі; Тут $\underline{Q}_1, \underline{H}_1; \underline{Q}_2, \underline{H}_2$ – відповідно вхідні та вихідні комплексні значення напорів та витрат насоса; $\underline{H}_{рез}, x_{рез}$ – результуючий напір (аналог електрорушійної сили в електричному колі) та результуючий опір, що зумовлений внутрішнім опором та впливом скінченної кількості лопатей на витрату і напір ВН.

Рисунок 1 - Заступна схема відцентрового насоса

Не для всіх насосів існує вхідний підпір, для багатьох гідромашин цей підпір має невелике значення, тому для спрощення аналізу роботи ВН можна знехтувати підпірним напором $H_1 = 0$. Тому, напір котрий створюється електричним двигуном буде рівний напору на відвідному патрубку насоса. Такий підхід до аналізу роботи ВН дає змогу розглядати отриману схему як пасивний чотириполіусник. Узагальнивши вітки заступної схеми ВН комплексними опорами $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ отримаємо Т-подібний, чітко виражений пасивний чотириполіусник (рисунок 2).

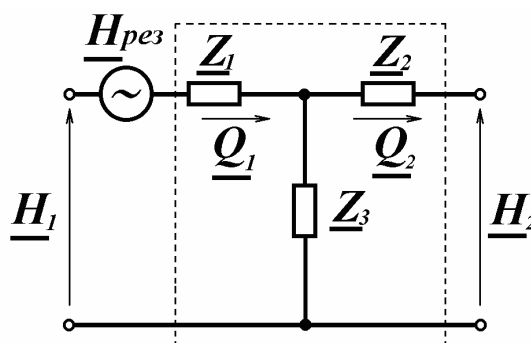


Рисунок 2 - Пасивний чотириполіусник

Повні комплексні опори визначаємо через розрахункові параметри повної комплексної заступної схеми ВН за формулами [4]

$$\underline{Z}_1 = jx_{рез} \quad (1)$$

$$\underline{Z}_2 = r_{\Delta H} + jx_{\Delta H} \quad (2)$$

$$\underline{Z}_3 = r_{\Delta Q} + jx_{\Delta Q} \quad (3)$$

Результати розрахунків в для ВН у відносних одиницях, де базовими вибрані дійсні номінальні параметри гідромашини (таблиця 1).

**Таблиця 1- Параметри Т-подібної заступної схеми ВН**

Марка ВН	$\underline{Z}_1$	$\underline{Z}_2$	$\underline{Z}_3$
НМ 2500-230	j0.137	0.002+J0.424	28.64+J21.14
НМ 7000-210	j0.59	0.00053+J0.398	25.04+J36.74
12Н-10*4	j0.32	0.001+J0.468	32.94+J10.89
10Н-8*4	j0.131	0.002+J0.482	29.19+J7.36
8МБ-9*2	j0.189	0.003+J0.489	30.18+J6.56

Володіючи внутрішньою схемою з'єднань чотириполосника та комплексними значеннями опорів можна скласти систему рівнянь його роботи

$$\left. \begin{aligned} \underline{H}_{рез} &= \underline{A}\underline{H}_2 + \underline{B}\underline{Q}_2, \\ \underline{Q}_1 &= \underline{C}\underline{H}_2 + \underline{D}\underline{Q}_2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Відомо, що для будь-якого пасивного чотириполосника можна знайти комплексні термодинамічні коефіцієнти $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$, які встановлюють зв'язок між вхідними та вихідними параметрами схеми. Комплексні коефіцієнти для Т-подібної заступної схеми залежать від схеми внутрішніх з'єднань чотириполосника, значень опорів та частоти, визначаємо їх за відомими формулами [4], результати розрахунку (таблиця 2). Для будь-якого чотириполосника коефіцієнти зв'язані математичним співвідношенням [4].

$$\underline{AD} - \underline{BC} = 1. \quad (5)$$

Таблиця 2 - Комплексні коефіцієнти пасивного чотириполосника для ВН

Марка ВН	$\underline{A}$	$\underline{B}$	$\underline{C}$	$\underline{D}$
НМ-2500-230	1.002+j0.003	0.000833+j0.562	0.023-j0.017	1.007+j0.01
НМ-7000-210	1.011+j0.007	-0.002+j0.992	0.013-j0.019	1.007+j0.005
12Н-10*4	1.003+j0.009	-0.003+j0.79	0.027-j0.009	1.004+j0.013
10Н-8*4	1.001+j0.004	0.0000088+j0.613	0.032-j0.008	1.004+j0.016
8МБ-9*2	1.001+j0.006	0.000143+j0.579	0.032-j0.007	1.003+j0.015

Із системи рівнянь чотириполосника (4) ми отримаємо рівняння напірної характеристики ВН в комплексній формі з термодинамічними коефіцієнтами

$$\underline{H}_Д = \frac{1}{\underline{A}} \cdot \underline{H}_{рез} - \frac{\underline{B}}{\underline{A}} \cdot \underline{Q}_Д, \quad (6)$$

де $\underline{Q}_Д, \underline{H}_Д$ - значення витрати та напору на вихідному патрубку ВН.

Рівнянню (6) відповідає зображена на комплексній площині векторна діаграма режимів ВН

Використовуючи тригонометричні співвідношення можна записати скалярне рівняння для визначення напірної характеристики ВН.

$$\underline{H}_Д = \frac{1}{\underline{A}} \left[\sqrt{(\underline{H}_{рез})^2 - (\underline{B} \cdot \underline{Q}_Д \cdot \sin(\beta - \alpha))^2} - \underline{B} \cdot \underline{Q}_Д \cdot \cos(\beta - \alpha) \right] \quad (7)$$

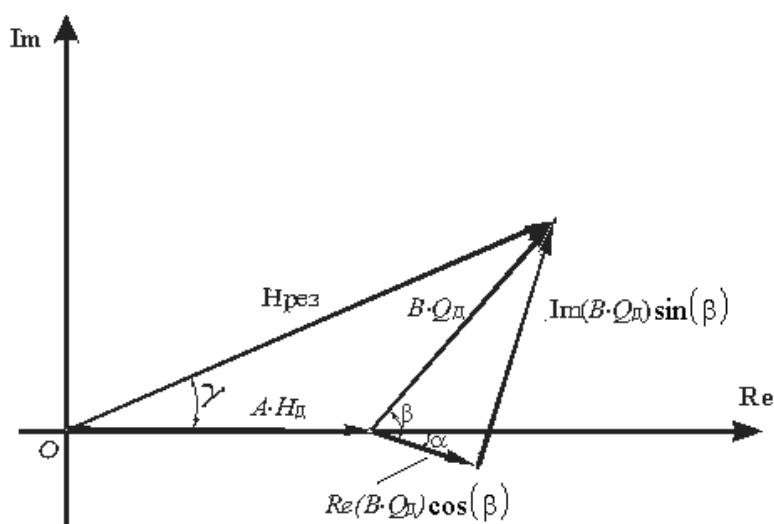


Рисунок 3 – Векторна діаграма режимів ВН

Аналізуючи роботу ВН видно, що вся його робота є між двох режимів (неробочий хід (НХ) та коротке замикання (КЗ)). При НХ $H_D=0$, а $Q_D \approx Q_{\min}$, які спричинені об'ємними втратами. Другий - режим умовного обриву трубопроводу, котрий супроводжується різким зниженням напору та багатократним підвищенням витрати, режим КЗ. Побудуємо напірну характеристику магістрального відцентрового насоса НМ-2500-230.

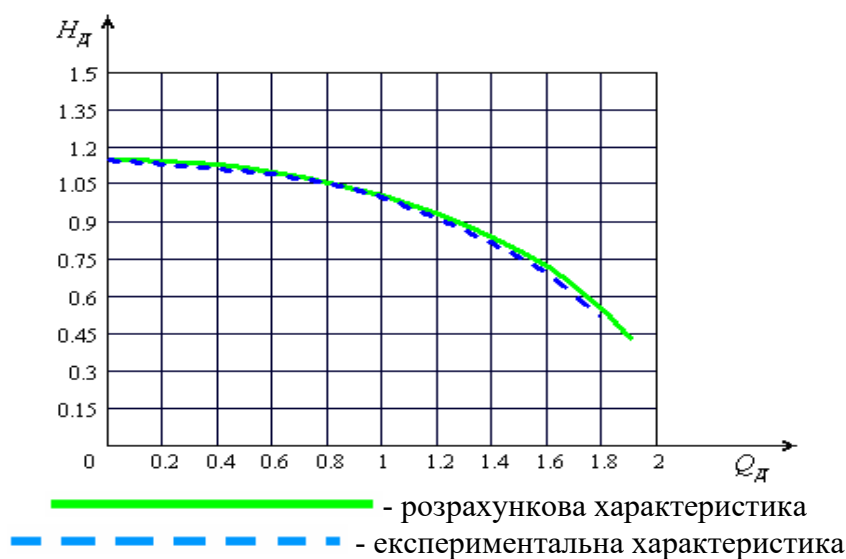


Рисунок 4 – Розрахункова напірна характеристика насоса НМ-2500-230

Результати порівняння розрахункової та отриманої експериментально [1] напірних характеристик досліджуваного насоса свідчать про хорошу збіжність результатів. Крім того термодинамічна модель ВН дає змогу досліджувати втрати потужності, проводити аналіз ефективності роботи через втрати потужності.

Висновки. Пораховано термодинамічні параметри моделі відцентрового насоса та отримані рівняння напірної характеристики в комплексній та скалярній формах. Проілюстровано хорошу збіжність результатів.



Література

1. Нізімов В.Б. Энергозбереження в галузі економіки. - Конспект лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. - 100 с.
2. В.А. Эткин Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии Тольятти, 1999.-216с.
3. Вейник А.И. Термодинамика необратимых процессов.-Минск: "Наука и техника",1966.-360с.
4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано–Франківськ: Факел, 2000. – 163 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., "Высшая школа", 1973. – 752с.

Abstract. *The work considers a centrifugal pump, modeling of its operation modes, determination of complex parameters of its replacement scheme based on a thermodynamic approach and an electrohydraulic analogy. A scalar equation for determining the pressure characteristic of the pump using trigonometric relations is presented.*

Key words: *thermodynamic approach, mathematical modeling, centrifugal pump, electrohydraulic analogy, quadrupole.*

Стаття відправлена: 22.11.2023 р.

© Николин П.М.



УДК 528:71:332

ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE TECHNOLOGY OF ARRANGEMENT OF THE EARTH SHEET WITH THE INVOLVEMENT OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC LEVELING BY THE WORKING UNIT OF EARTH-MOVING EQUIPMENT

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ РОБОЧИМ АГРЕГАТОМ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ ТЕХНІКИ

Zakharova E.V. / Захарова Е.В.
asist. / asist.

ORCID: 0000-0001-8811-451X

Sarkisian H.S. / Саркісян Г.С.
с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2343-4461

Onishchenko O.S. / Онищенко О.С.
asist. / asist.

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Yaroslava Mudroho str, 25, 61002

Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет,
Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002

Анотація. В роботі розглядається сучасна технологія влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робочим агрегатом землерийної техніки. Сучасні нові технології сприяють розробленню і впровадженню нових, ефективних і економічно доцільних технологічних процесів на базі сучасних наукових досягнень і виробничого досвіду. Одним з головних засобів підвищення продуктивності праці є подальший розвиток механізації будівельних робіт. Питома вага ручної праці в будівельному виробництві все одно залишається досить значною. Тому є потреба не тільки у використанні сучасної техніки для виконання будівельних робіт, а й підготовка висококваліфікованих фахівців, бо будівельна галузь завжди була і залишається однією з найважливіших галузей народного господарства. Для розширення можливостей, а також через більш жорсткі терміни будівництва і вимоги до точності разом з нестачею кваліфікованих операторів стає вкрай важливим впровадження інноваційних технологій в конструкцію сучасної землерийної техніки.

Ключові слова: системи автоматичного нівелювання, влаштування земляного полотна, землерийна техніка.

Вступ. Будівництво – одна з найважливіших галузей матеріального виробництва, оскільки є базовою для успішного функціонування інших галузей господарства, а також обумовлює форму комфортного середовища життєдіяльності людини [1].

Сталий розвиток будівництва сприяє створенню великої кількості робочих місць, що, зі свого боку, приводить до розвитку низки суміжних галузей матеріального виробництва.

Будівельна технологія в загальному розумінні – сукупність методів із виготовлення та оброблення матеріалів або напівфабрикатів, застосовуваних під час отримання продукції. Сучасні нові технології сприяють розробленню і впровадженню нових, ефективних і економічно доцільних технологічних процесів на базі сучасних наукових досягнень і виробничого досвіду [1].



Одним з головних засобів підвищення продуктивності праці є подальший розвиток механізації будівельних робіт. Комплексна механізація означає, що всі процеси: основні й допоміжні, важкі й трудомісткі – виконуються машинами або комплектом машин. Машини, що складають комплект, мають бути подібні технологічно, за призначенням, технічним рівнем і продуктивністю роботи, що забезпечить заданий і стабільний темп роботи.

Показник рівня комплексної механізації визначається як відношення обсягу робіт, виконаних механізованим способом, до загального обсягу того самого різновиду робіт. Для земляних робіт досягнуто близько 98,2 % комплексної механізації [1].

Питома вага ручної праці в будівельному виробництві все одно залишається досить значною. Тому є потреба не тільки у використанні сучасної техніки для виконання будівельних робіт, а й підготовка висококваліфікованих фахівців, бо будівельна галузь завжди була і залишається однією з найважливіших галузей народного господарства [1].

Для розширення можливостей, а також через більш жорсткі терміни будівництва і вимоги до точності разом з нестачею кваліфікованих операторів стає вкрай важливим впровадження інноваційних технологій в конструкцію сучасної землерийної техніки [2].

Основний текст. Системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів – це програмно-апаратний комплекс, який використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії та GPS технології, а також різні типи датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових датчиків, гідравліки та елементів контролю й управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проєкт, рисунок 1 [3].



Рисунок 1 - Схема системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів [3]



Залежно від розв'язуваних завдань існує три основні різновиди рішень [3]:

- 1D система – автоматична робота в одній площині (просто витримування певного рівня або ухилу робочого елемента);
- 2D система – робота в похилій площині (установка перевищення і нахилу, робота в площині з подвійним нахилом);
- 3D система – автоматична установка перевищення і нахилу з урахуванням положення та напрямку руху машини.

Системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів мають максимальну для свого сегмента гнучкість конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації датчиків (лазерні приймачі, у/з датчики, датчики нахилу, датчики зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний виконавцю, крім цього сумісні з найширшим спектром техніки.

Переваги, одержувані завдяки використанню системи автоматичного нівелювання [3]:

- виняток переробок;
- підвищення рентабельності за рахунок економії матеріалів;
- автоматичне управління робочим елементом значно скорочує помилки через людський фактор і знижує втому оператора;
- економія часу на майданчику;
- економія пального;
- поліпшення якості й точності поверхні безпосередньо забезпечує загальну якість майбутнього елемента інфраструктури.

Всі вищеперераховані особливості в більшій мірі відносяться до 2D систем. 3D системи автоматизації грейдерів і бульдозерів – це системи 2D нівелювання, які враховують також положення машини і траєкторію її руху, виключаючи тим самим необхідність базових ліній. Всі необхідні дані для завдання напрямку містяться в проєкті. Команди при виконанні робіт в реальному часі видаються на бортовий комп'ютер машини на основі вимірів зовнішнього роботизованого тахеометра або високоточного GPS приймача на борту техніки.

Як це працює: GPS або тахеометр видає координати на бортовий комп'ютер, там вони порівнюються з проєктною моделлю і в результаті порівняння й аналізу здійснюється відповідне переміщення робочого органу машини [3].

Додаткові переваги при використанні саме 3D систем [3]:

- підвищення продуктивності та гнучкості;
- максимальне підвищення точності робіт;
- економія коштів.

Система 3D нівелювання містить наступні компоненти [3]:

- апаратура позиціонування робочого органу машини (датчики на машині і стаціонарна базова станція);
- бортовий комп'ютер;
- програмне забезпечення.

Системи автоматичного нівелювання використовують при спорудженні земляного полотна бульдозерами і екскаваторами, формуванні дорожнього одягу



автогрейдері та асфальтоукладачі. Їх встановлюють на котки, скрепери, тримери і дорожні фрези. Автоматичні системи управління для дорожніх машин випускають багато компаній. Найбільш відомі MOBA, Lieca Geosystems, Topcon Positioning Systems, Trimble, AccuGrade, рисунок 2 [3].



Рисунок 2 - Система автоматичного 3D нівелювання для грейдеру [3]

Використання систем автоматичного нівелювання підвищує продуктивність праці операторів, допомагає працювати швидко і точно. Наприклад, за даними компанії Caterpillar застосування простої сигнальної системи підвищує продуктивність праці екскаватора на 22-35 %. Йому не потрібно періодично залишати кабіну, щоб перевірити глибину. Немає зупинок, при яких машина споживає паливо на холостому ходу. А 3D-система нівелювання для екскаватора дозволяє збільшити продуктивність на 45 %.

При використанні автоматичних систем нівелювання на кожному етапі дорожніх робіт підвищується якість, зменшуються витрати на оплату послуг сторонніх організацій, паливо [3].

Основні елементи системи автоматичного нівелювання.

Система Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром на автогрейдер встановлюється на автогрейдері та бульдозері, рисунок 3. Принцип роботи [3]:

- на майданчику встановлюється роботизований тахеометр з відомими координатами. Координати встановлюються за 3 реперами;
- на машині встановлен відбивач з ідентифікатором встановлений на відвалі. Роботизований тахеометр UTS стежить за ідентифікатором, вимірює два кути та дальність до машини з частотою 20 Гц. Потім ці данні передаються по радіоканалу в систему керування машиною, блок керування перераховує ці данні та перетворює у керуючі сигнали положення робочої кромки відвалу;
- отримана точність – не гірше 0,5 см в плані та 1 см по висоті;
- система повністю керує роботою відвала машини;
- оператор може самостійно, не виходячи з машини, контролювати якість робіт.

Застосування систем Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром [3]:



- чистова обробка, профілювання з міліметровою точністю;
- підготовка до укладання асфальту;
- будівництво, розширення доріг;
- будівництво аеропортів;
- точне профілювання для будівництва доріг та їх розширення.

До складу системи входять [3]:

- ❖ Trimble MT 900 активна призма;
- ❖ Trimble EM 400 електрична щогла;
- ❖ Trimble AS400 датчик нахилу;
- ❖ Trimble RS400 датчик обертання;
- ❖ Trimble PM400 модуль керування живленням;
- ❖ Trimble CB 450 або CB 460 керуючий дисплей з програмним забезпеченням – Trimble GST 900;
- ❖ Trimble SNR радіомодем одно або двох діапазонний;
- ❖ Trimble SNM 940 GSM модем;
- ❖ Гідравлічні шланги та з'єднання для інтеграції в гідравліку машини;
- ❖ Гідроблок beta;
- ❖ Електропроводка beta;
- ❖ Trimble VM430 модуль клапана використовується для одночасного управління до 3 гідравлічних клапанів по шині CAN.

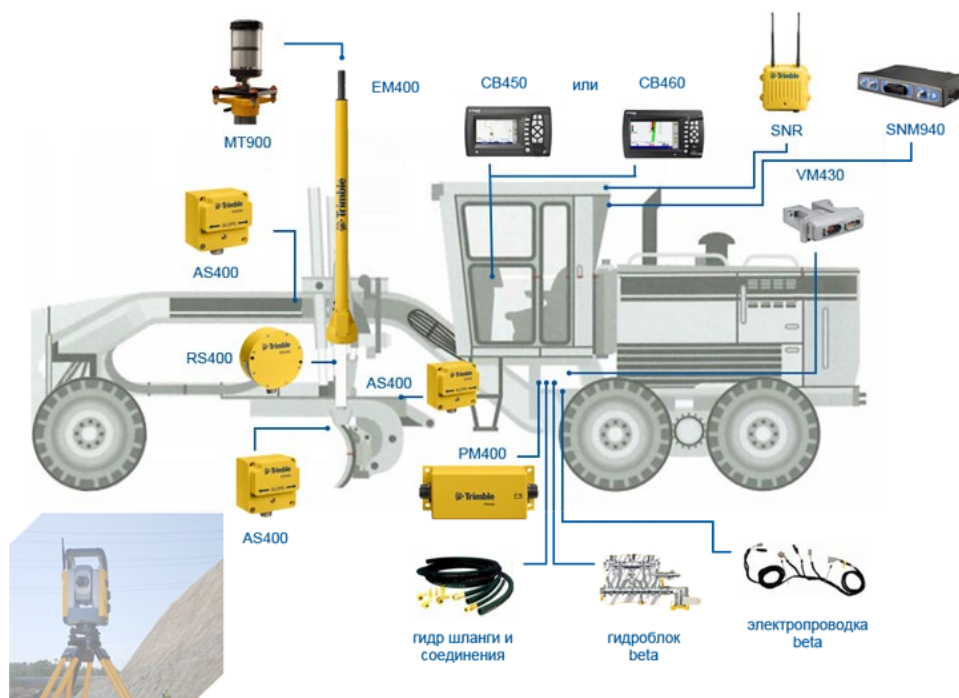


Рисунок 3 - Система автоматичного нівелювання Trimble 3D з Роботизованим Тахеометром для автогрейдера [3]

Система автоматичного нівелювання 3D GPS DisCAV для грейдера – це супутникова система нівелювання, встановлюється в кабіні і автоматично управляє роботою грейдера. Висота, будова насипу, нахил, поворот – машина в точності повторює вкладену в бортовий комп'ютер модель дороги.



Грейдер приїжджає на заплановану ділянку дороги. Зйомка проводиться оператором безпосередньо з кабіни, по центру уздовж дороги відзначається точка А (початок) і точку В (кінець) планованого ділянки, водяться дані нахилів по краях, взяті з проекту, бортовий комп'ютер робить необхідні обчислення і вже через кілька хвилин оператор може приступати до роботи по плануванню ділянки. 3D GPS системи дозволяють економити час і ресурси, рисунок 4 [3].



Рисунок 4 - Система автоматичного нівелювання 3D GPS DisCAV для автогрейдеру [3]

Системи автоматичного нівелювання Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів – це програмно-апаратний комплекс, який використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії та GPS технології, а також різні типи датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових датчиків, гідравліки та елементів контролю й управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проєкт.

Leica PowerGrade має максимальну для свого сегмента гнучкістю конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації датчиків (лазерні приймачі, у / з датчики, датчики нахилу, датчики зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний виконавцю, крім цього сумісна з найширшим спектром техніки [3].



Однією з унікальних особливостей системи PowerGrade від Leica Geosystems є функція автоматичного бокового зміщення. У цьому випадку положення леза щодо базової лінії (струни, бордюру) встановлюється автоматично в час руху, використовуючи при цьому свої власні датчики з технологією TriSonic, що дозволяють максимально точно орієнтуватися на опорний об'єкт. Звідси знову ж – зменшення втоми оператора, спрощення виконання робіт для менш досвідченого персоналу та загальне підвищення точності. Використання 3D датчиків (GPS і відбивачів з роботизованим тахеометром) дозволяє з максимальною точністю та в реальному часі встановлювати бічний зсув відвала навіть при поворотах (тобто при роботі з непрямолінійними ділянками), рисунок 5 [3].

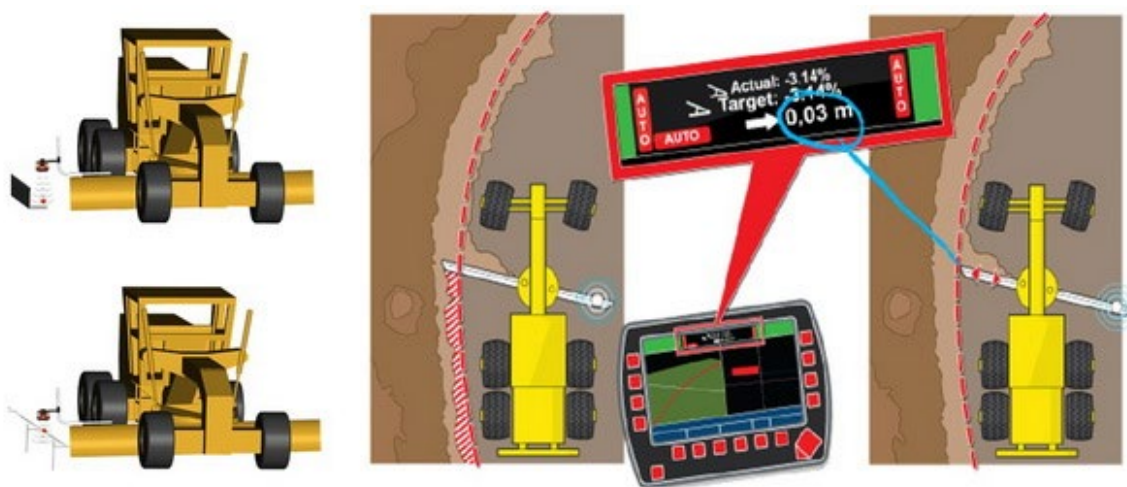


Рисунок 5 - Програмно-апаратний комплекс Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів на повороті [3]

Принцип роботи 3D системи управління ґрунтується на тому, що в бортовий комп'ютер системи завантажується цифрова модель проектної поверхні. Система управління постійно контролює поточне просторове положення та усунення робочого обладнання машини (відвалу бульдозера або грейдера, що вигладжує плити асфальтоукладача тощо) щодо цієї проектної поверхні. Для цього системі потрібно постійно знати розташування машини та її орієнтацію (напрямок руху) на території будмайданчика.

Одним із способів позиціонування будівельної техніки є використання роботизованого електронного тахеометра. Така технологія отримала у Торсон назву 3D LPS (Local Positioning System – локальна система позиціонування). Слід зазначити, що Торсон належить пальма першості у створенні систем на основі роботизованих електронних тахеометрів стосовно управління будівельною технікою – перша система Торсон 3D LPS була випущена в 1999 році [3].

Роботизований електронний тахеометр встановлюється над точкою з відомими координатами та орієнтується на точку зворотного орієнтування, після чого готовий до роботи. У процесі роботи тахеометр безперервно стежить в автоматичному режимі за круговою призмою, яка встановлюється на спеціальній щоглі, що закріплена на робочому органі будівельної машини (наприклад, на



відвалі грейдера). Оскільки машина постійно перебуває в русі, для забезпечення точної роботи системи тахеометр визначає координати призми з високою частотою 20 Гц (20 разів на секунду) і радіоканалом передає цю інформацію в бортовий комп'ютер системи управління. Програмне забезпечення системи управління використовує отриману з тахеометра координатну інформацію для розрахунку поточного положення робочої кромки обладнання та обчислює зміщення робочого органу машини по висоті та ухилу щодо проектної поверхні в кожній точці. Після цього система віддає команди гідравліці машини для автоматичного приведення робочого органу проектного положення.

Для забезпечення роботи системи управління на основі технології 3D LPS необхідно забезпечити виконання на будмайданчику наступних умов [3]:

- наявність закріплених точок планово-висотного обґрунтування. У процесі роботи системи електронний тахеометр встановлюється на точці із відомими координатами. Це означає, що для роботи системи 3D LPS на будмайданчику повинні бути закріплені точки планово-висотного обґрунтування. Важливо забезпечити збереження цих закріплених точок протягом усього роботи 3D LPS систем управління будівельної техніки;

- забезпечення прямої видимості між тахеометром та машиною. Оскільки електронний тахеометр повинен постійно визначати поточні координати машини, необхідно забезпечити постійну наявність прямої видимості між інструментом та круговою призмою. Якщо пряма видимість втрачається в результаті її короткочасного перекриття (наприклад, машиною, що проїжджає повз), необхідна короткочасна зупинка будівельної техніки з системою 3D LPS для того, щоб електронний тахеометр знову захопив призму і продовжив передачу координатної інформації в бортовий комп'ютер системи управління.

На сьогоднішній день технологія 3D LPS забезпечує досягнення максимально можливої точності роботи систем керування будівельною технікою. Завдяки використанню високоточних роботизованих електронних тахеометрів Topcon досягається точність визначення висотної позначки на рівні перших міліметрів. Більш того, інтегрована в тахеометри Topcon технологія швидкого захоплення та надійного супроводу призми PowerTrack гарантує надійну роботу системи навіть в умовах недостатнього освітлення та за наявності оптичних перешкод (відблисків від блискучих поверхонь тощо) [3].



Рисунок 6 - Схема роботи технології 3D LPS [3]



Важливо розуміти, що для роботи кожної одиниці техніки із системою 3D LPS потрібен свій роботизований електронний тахеометр. За наявності великої кількості техніки з системами керування на будмайданчику забезпечити умови постійної видимості між кожним тахеометром та його машиною може бути важко. Однак самі електронні тахеометри можуть використовуватися як у складі систем керування технікою, так і самостійно (коли машина із системою не працює) для вирішення традиційних геодезичних завдань на будмайданчику.

Системи управління на основі технології 3D LPS можуть використовуватися як на відкритих територіях, так і там, де застосування інших методів позиціонування (зокрема, ГНСС) неможливе через проблеми з прийомом супутникових сигналів, або з неможливістю організувати роботу ГНСС обладнання в RTK режимі. Такими можливими областями застосування технології 3D LPS можуть бути роботи в тунелях, в умовах щільної висотної міської забудови, в ангарах і на закритих територіях, поблизу спеціальних об'єктів, де відсутня можливість передачі RTK поправок через GSM або УКХ канали зв'язку [3].

У всіх високоточних додатках з використанням сигналів глобальних супутникових навігаційних систем (ГНСС) використовується принцип відносних вимірювань. Це означає, що з високою точністю визначається не абсолютне положення кожного окремого ГНС приймача, а збільшення координат (вектори) між парами приймачів. Важливою умовою супутникових відносних вимірювань є факт одночасних спостережень парою приймачів тих самих супутників, тільки в цьому випадку можна розрахувати вектор між цими приймачами. При цьому якщо якийсь із приймачів знаходиться на пункті з відомими координатами, то можна точно визначити щодо нього координати інших приймачів у цій системі координат.

Базові станції застосовуються практично у всіх додатках, в яких використовуються супутникові координатні визначення – інженерні дослідження, геодезичні роботи, картографія, ГІС, кадастрові роботи, будівництво доріг та складних інженерних споруд, системи управління будівельною технікою, системи точного землеробства, моніторинг деформацій інженерних об'єктів, навігація транспорту тощо [3].

Зазвичай базовий приймач встановлюють на штатив над вихідною точкою, і він продовжує роботу доти, доки разом із ним працюють ровери. Робота може виконуватися в режимі кінематики з постобробкою, коли координати роверів згодом розраховуються в офісі в результаті постобробки накопичених усіма приймачами результатів вимірювань. Робота також може здійснюватися в режимі кінематики в реальному часі (RTK), коли базовий приймач каналом зв'язку (радіо або GSM/GPRS) передає деяку інформацію (поправки) на ровер, а ровер за допомогою цієї інформації обчислюють свої поточні координати.

У наші дні відбувається активний розвиток інфраструктури базових станцій, що постійно діють (або референсних). Їхня принципова відмінність від польових базових станцій полягає в тому, що референсні станції монтуються стаціонарно і працюють цілодобово, забезпечуючи в зоні своєї дії роботу необмеженого числа ГНСС приймачів.



Слід зазначити, що управління роботою базової станції, що постійно діє, як правило, здійснюється дистанційно з центру управління за допомогою спеціального програмного забезпечення, тобто постійного знаходження персоналу в місці встановлення обладнання не потрібно. Програмне забезпечення для управління роботою базової станції, що постійно діє, виконує такі функції:

- дистанційне налаштування параметрів роботи базового приймача; оновлення версій внутрішнього програмного забезпечення;
- передача результатів вимірювань базового приймача (у внутрішньому форматі) персональний комп'ютер центру управління;
- перетворення результатів вимірювань у міжнародний формат обміну даними RINEX, збереження файлів даних у цьому форматі, надання RINEX файлів користувачам для їхньої спільної обробки з файлами даних, отриманими власними приймачами;
- передача RTK поправок користувачам RTK роверів для забезпечення координатних визначень на сантиметровому рівні точності, передача поправок може здійснюватися різними способами через мережу Інтернет (NTRIP), з використанням УКХ або GSM модемів;
- передача DGPS поправок для забезпечення координатних визначень на субметровому рівні точності мобільними приймачами (додаток ГІС, навігація тощо).

У лінійці ГНС обладнання Topcon є приймачі NET-G3A, спеціально розроблені для використання на базах, що постійно діють. Для управління роботою базової станції Topcon, що постійно діє, пропонує програмний продукт TopNET RTK з модулями TopNET-S (Сервер), TopNET-N (Формування КЕЛ поправок) і TopNET-R (Віддалене управління базовою станцією). Базова станція може працювати як в автономному режимі (одиночна станція), і у складі мережі станцій. Поодинокі базові станції використовуються тоді, коли район робіт у діаметрі не перевищує в середньому 50 км. Таке обмеження пов'язане з принципами ГНСС визначень – чим більша відстань між пунктами, тим менша точність отримання координат. Видалення RTK ровера більш ніж на 25 км від базової станції призводить до помітної деградації точності координат, що отримуються. Якщо потрібно забезпечити покриття більшої території, станції можуть бути об'єднані в мережу [3].

Висновки.

У даній роботі було розглянуто аналіз та узагальнення технології влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робочим агрегатом землерийної техніки. Розглянуто системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів. Проаналізовано переваги, одержувані завдяки використанню системи автоматичного нівелювання. Розглянуто основні елементи системи автоматичного нівелювання: Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром на автогрейдер; 3D GPS DisCAV для грейдера; Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів; технології 3D LPS від Topcon.

**Література:**

1. Якименко О. В. Технологія будівельного виробництва : навч. посібник. О. В. Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 410 с
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016. Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг. [Чинний від 2017–01–01]. Київ, 2016. 98 с. (Національний стандарт України).
3. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади: підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. Львів: ІЗМН, 2000. 324 с

Abstract. *The paper deals with the modern technology of laying the earth bed with the involvement of the automatic leveling system by the working unit of the earthmoving equipment. The introduction of new technologies is intended to contribute to the development and implementation of new, efficient and economically feasible technological processes based on modern scientific achievements and production experience. One of the main means of increasing labor productivity is the further development of the mechanization of construction works. The specific weight of manual labor in construction production still remains quite significant. Therefore, there is a need not only to use modern equipment for construction work, but also to train highly qualified specialists, because the construction industry has always been and remains one of the most important sectors of the national economy. In order to expand opportunities, as well as due to stricter construction deadlines and accuracy requirements, together with a lack of qualified operators, it is extremely important to introduce innovative technologies into the design of modern earthmoving equipment.*

Key words: *automatic leveling systems, arrangement of earth bed, earthmoving equipment.*

Науковий керівник: д.т.н., проф. Батракова А.Г.

Статья отправлена: 24.11.2023 г.

© Захарова Е.В., Саркісян Г.С., Онищенко О.С.



УДК 528.486

COMPARATIVE ANALYSIS OF GEOSPATIAL DATA COLLECTION METHODS FOR THE CONSTRUCTION OF DIGITAL MODELS OF THE LOCATION

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБОРУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ МІСЦЕВОСТІ

Dorozhko Y.V. / Дорожко Є.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2894-2131

Onyshchenko O.S. / Онищенко О.С.

asist. / асист.

Kharkiv National Automobile and Highway University,

Kharkiv, Yaroslava Mudroho str, 25, 61002

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002

Анотація. В роботі розглядається обґрунтування доцільності розробки цифрових моделей місцевості лінійних об'єктів на прикладі автомобільних доріг. Основними факторами, що спонукають розвиток цифрового моделювання місцевості на сьогоднішній день є: стрімкий розвиток різноманітних систем автоматизованого проектування конструкцій, що в своїй основі використовують цифрові моделі місцевості, зручність та швидкість передачі інформації про рельєф та ситуацію місцевості в цифровому форматі між користувачами, зручність зберігання та редагування інформації про рельєф місцевості в цифровому форматі. Розглянуті джерела геопросторових даних для створення цифрових моделей місцевості, дистанційні та наземні методи знімання.

Ключові слова: автоматизоване проектування, геопросторові дані, методи геодезичного знімання, цифрова модель місцевості.

Вступ.

Основними факторами успіху у сучасному будівництві та експлуатації автомобільних доріг є скорочення терміну виконання проєктних та будівельних робіт, зниження вартості проєктних та будівельних робіт та підвищення якості їх виконання. До числа найбільш ефективних технологій, що дозволяють виконати зазначені вимоги, належать використання автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань та використання систем автоматизовано проектування транспортних споруд при проєктуванні капітального ремонту автомобільних доріг та нового будівництва. Основними факторами, що спонукають розвиток цифрового моделювання місцевості на сьогоднішній день є [1, 2]:

- 1) стрімкий розвиток різноманітних систем автоматизованого проектування конструкцій, що в своїй основі використовують цифрові моделі місцевості;
- 2) зручність та швидкість передачі інформації про рельєф та ситуацію місцевості в цифровому форматі між користувачами;
- 3) зручність зберігання та редагування інформації про рельєф місцевості в цифровому форматі.

Системи автоматизованого проєктування дозволяють суттєво збільшити якість та швидкість розробки проєктних рішень, спрощують роботу



проектувальника. Системи автоматизованого проектування здебільшого вимагають вихідних даних у вигляді цифрових моделей, наприклад при проектуванні водовідведення з поверхні ділянки місцевості тощо. Головним недоліком використання паперової картографічної інформації є витрата значної кількості часу, у порівнянні з витратою часу на опрацювання цієї інформації машиною, що є серйозним бар'єром розвитку автоматизованих високоефективних технологій [2]. Для вирішення цієї проблеми, що полягає в обмеженні можливості успішного застосування сучасних засобів автоматизації, необхідно застосовувати цифрові моделі місцевості, які задовольняють вимогу прямого введення й опрацювання топографічної інформації на сучасних комп'ютерах.

Представлення результатів інженерно-геодезичних вишукувань в цифровій формі забезпечує подальший комп'ютерний аналіз і автоматизовану обробку даних. Нові технічні та технологічні можливості базуються на сучасних методах і засобах збору та комп'ютерної обробки просторових даних [1, 3]. У сучасній галузі інженерно-геодезичних вишукувань існує два основних напрямку щодо автоматизації обробки інформації [1]:

- використання спеціалізованого програмного забезпечення;
- використання універсальних програмних комплексів з метою автоматизації обробки результатів геодезичних вимірювань.

Основний текст.

Джерела геопросторових даних для створення цифрових моделей місцевості.

В сучасних умовах основні тенденції розвитку топографічної та картографічної діяльності обумовлюються розвитком програмних комплексів та геодезичного обладнання.

Основними джерелами вихідної інформації для побудови цифрових моделей місцевості можуть бути [4-6]:

- ✓ результати геодезичних вишукувань, які виконуються переважно електронними тахеометрами та ГНСС приймачами;
- ✓ існуючі паперові картографічні матеріали, які в подальшому оцифровуються;
- ✓ результати наземного лазерного сканування;
- ✓ результати лазерного сканування із повітряного носія;
- ✓ інтерферометричні дані, що отримані за допомогою радара, встановленого на літальному апараті;
- ✓ результати фотограмметричних стерео вимірювань просторової моделі, що будується із стереопари зображень.

Кожен з наведених джерел інформації має свої переваги і недоліки, потребує різного обладнання і програмного забезпечення, але в цілому варто відзначити тенденцію зростання ролі наземного лазерного сканування при створенні цифрових моделей місцевості. Процес оцифрування існуючого картографічного матеріалу – це перетворення в цифровий формат існуючих аналогових даних про рельєф і ситуацію.



При оцифруванні інформація переноситься із паперового варіанту в цифровий формат. Питання перетворення паперового картографічного матеріалу в цифрову модель місцевості на сьогоднішній момент досить актуальна з огляду на наступні фактори [1]:

- проблему швидкого псування паперових носіїв при використанні;
- зручність та швидкість передачі картографічного матеріалу в цифровому форматі між користувачами;
- стрімкий розвиток засобів автоматизованого проектування.

З часом корпоративні та муніципальні фонди картографічних матеріалів, що знаходяться в паперовому вигляді, зтираються, старіють та перетворюються в непридатний стан. Доволі простий і надійний спосіб врятувати часом безцінні картографічні матеріали – це перетворення їх в цифрові моделі місцевості. При оцифруванні існуючого паперового картографічного матеріалу обов'язковою умовою є збереження наступних даних [1]:

- 1) графічна точність – необхідно забезпечити збереження в растровій карті усіх деталей вихідної паперової карти (якщо паперова карта володіє графічною точністю 0,2 мм то сканування доцільно виконувати з розширенням не менше 500 dpi так, щоб розмір пікселю склав приблизно 0,1 мм;
- 2) загальна інформація – назва ділянки карти та розташованих на її площі населених пунктів, номенклатура і легенда карти та ін;
- 3) структурна інформація – опис зв'язків між різноманітними об'єктами;
- 4) метрична інформація – існуючі системи координат та координати точок ситуації;
- 5) синтаксична інформація – опис зв'язків між точками;
- 6) семантична інформація – характеристики властивостей об'єкта.

Перетворення картографічного матеріалу в цифрову модель місцевості, яка відповідатиме наведеним вимогам, можна виконувати за допомогою сучасних програмних комплексів «Autodesk Civil 3D», «Autodesk Map 3D» «MapInfo», «Pythagoras», «Digitals» «GeoniCS», «Topocad» та інших.

Дистанційні методи знімання.

Технології збирання геопросторових даних широко вживані у дистанційних зніманнях, таких як: аерофотограмметрія та космічне знімання з високою роздільною здатністю. Залежно від висоти знімання території вирізняють: космічне, аерознімання та знімання безпілотними літальними апаратами. Зазвичай до дистанційних або аерокосмічних методів відносяться ті методи, що призначені для отримання інформації про об'єкти земної поверхні, явища і процеси з космосу чи повітря. За способом одержання даних методи дистанційного знімання поділяються на: фотографічні знімання, телевізійні знімання, оптико-електронні знімання, оптико-механічні, інфрачервоні (теплові) знімання, радіотеплові знімання. В переважній більшості методи дистанційного знімання застосовуються для складання значних ділянок місцевості за площею та не є зручними для лінійних об'єктів з значною протяжністю. Особливо що стосується автомобільних доріг, то дистанційні методи знімання зазвичай не дозволяють отримати весь комплекс необхідних параметрів штучних споруд для



детального аналізу стану автомобільних доріг та розробки проектних рішень. Тому для лінійних об'єктів більш широко вживаними є методи наземного отримання вихідних даних для побудови цифрових моделей місцевості [1].

Наземні методи знімання.

Залежно від технології проведення робіт та використовуваного обладнання розрізняють декілька видів наземного знімання, а саме [1]:

- горизонтальна та вертикальна зйомка;
- тахеометрична зйомка;
- зйомка за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем ГНСС;
- наземна фотограмметрична зйомка;
- лазерне сканування;
- мобільні картографічні системи.

Для проведення горизонтального, вертикального та тахеометричного знімання наразі доступним є широкий вибір сучасних моделей високоточних електронних та роботизованих теодолітів, тахеометрів, нівелірів, функціональні можливості яких дозволяють виконувати кутові вимірювання з точністю до 0,5", вимірювання відстаней до 1 мм на один кілометр та вимірювання перевищень на 1 км подвійного ходу в межах від 0,3 мм до 1 мм. Водночас варто відзначити, що цей спосіб цілком забезпечує сучасні вимоги щодо точності вимірювань, але при використанні вимірювань на лінійних спорудах типу автомобільних доріг потребує значну кількість часу, що може вимірюватись тижнями, в залежності від щільності елементів ситуації, складності рельєфу і протяжності ділянки вишукувань.

Знімання із застосуванням методів ГНСС широко використовується з моменту розвитку глобальних супутникових геодезичних систем типу GPS (США), Compass (Китай), Galileo (Європейський Союз). Застосування систем ГНСС дозволяє визначити положення елементів ситуації у просторі, визначати відстані між об'єктами, задавати напрями при розмічуванні та вимірюванні тощо. Варто відзначити швидкість, зручність та легкість вимірювальних робіт у порівнянні із тахеометричним зніманням, але у якості недоліку варто відмітити обмеження у можливості використання даного методу пов'язаного із необхідністю працювати на відкритій місцевості, що дозволить забезпечити надійний зв'язок із супутниками. Варто відзначити, що розвиток систем автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань спонукав розвиток комбінованого методу топографічного знімання, коли розглянуті методи поєднуються і частина елементів ситуації знімається тахеометричним методом, а частина з використанням методу ГНСС.

Технологія наземної фотограмметричної зйомки, наразі суттєво втрачає вживаність у сучасних умовах розвитку скануючих систем. Методи наземного сканування почали інтенсивно розвиватись з початку 2000-х років і полягають у вимірюванні з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкта та реєстрації відповідних напрямків (вертикальних і горизонтальних кутів), тож величини, що вимірюються подібні до тих, що виконуються при тахеометричному зніманні. При цьому на відміну від тахеометричного знімання



результатом вимірювань наземного лазерного сканування є так звана хмара точок, а не окремо виміряні точки об'єкту. Тому в результаті наземного лазерного сканування отримуються надлишкові виміри, для опрацювання і зберігання яких необхідні потужні комп'ютерні ресурси. За способом вимірювань та призначенням існуючі методи наземного лазерного сканування поділяють на: системи рухомого лазерного сканування, які застосовують для сканування лінійних об'єктів (залізниць, автомобільних доріг) та системи статичного лазерного сканування, які використовуються для вирішення завдань переважно у промисловому та цивільному будівництві.

Розвиток методів цифрової фотограмметрії та статичного лазерного сканування призвів до появи та впровадженню наземних лазерних сканерів із вбудованою цифровою камерою та ГНСС системою. Таке обладнання поєднує як технологію наземної фотограмметрії, наземного лазерного сканування, ГНСС так і інерційних навігаційних систем. Сучасні електронні роботизовані тахеометри, лазерні трекери можна вважати простим 3D лазерним сканером, які призначені для вимірювання одиничних точок. Отже, зазначені методи вимірювання можуть бути об'єднані, використовуючи переваги кожного.

Висновки.

Розвиток методів цифрової фотограмметрії та статичного лазерного сканування призвів до появи та впровадженню наземних лазерних сканерів із вбудованою цифровою камерою та ГНСС системою. Таке обладнання поєднує як технологію наземної фотограмметрії, наземного лазерного сканування, ГНСС так і інерційних навігаційних систем. Сучасні електронні роботизовані тахеометри, лазерні трекери можна вважати простим 3D лазерним сканером, які призначені для вимірювання одиничних точок. Отже, зазначені методи вимірювання можуть бути об'єднані, використовуючи переваги кожного.

Література:

1. Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології геодезичного супроводу дорожньо-будівельної галузі та землепорядкування / за заг. ред. Дорожко Є.В. Харків. Видавництво: О.А. Мірошніченко, 2023. 342 с.
2. Дорожко Є.В. Особливості побудови цифрової моделі рельєфу за результатами геодезичної зйомки місцевості / Є.В. Дорожко, А.Г. Батракова, В.А. Ємець // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Сер.: Технічні науки та архітектура. 2021. Том 1. Вип. 161. С. 104–108.
3. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії. Навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 208 с.
4. Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія / В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, В.І. Зацерковний. Ніжин : ТОВ «Видавництво Аспект-Поліграф». 2011. 440 с.
5. Дорожко Є.В. Перетворення паперового картографічного матеріалу в цифрову модель місцевості / Є.В. Дорожко // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Сер.: Технічні науки та архітектура. 2018. Вип. 7 (146). С. 214–217.



6. Карпінський Ю.О, Лазоренко-Гевель Н.Ю. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного Геодезичного Товариства. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2018. Вип. I (35).С. 204-211.

Abstract. *The paper considers the justification of the feasibility of developing digital terrain models of linear objects on the example of highways. The main factors driving the development of digital terrain modeling today are: the rapid development of various systems of automated design of structures, which basically use digital models of the terrain, the convenience and speed of transferring information about the terrain and the situation of the terrain in digital format between users, the convenience of storage and editing information about terrain relief in digital format. Sources of geospatial data for creating digital terrain models, remote and ground surveying methods are considered.*

Key words: *automated design, geospatial data, surveying methods, digital terrain model.*

Стаття відправлена: 24.11.2023 р.

© Дорошко Є.В.

© Онищенко О.С.



УДК 004.2

MODEL-ORIENTED COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE WEAR RESISTANCE OF THE SURFACE OF HEAT EXCHANGE TUBES OF A DRUM STEAM GENERATOR AT A THERMAL POWER PLANT

МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНІ ТРУБ ТЕПЛООБМІНУ БАРАБАННОГО ПАРОГЕНЕРАТОРУ ТЕС

Brunetkin O.I. / Брунеткін О.І.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6701-8737

Sklifasovskiy D.E. / Скліфасовський Д.Є.

postgraduate student / аспірант

ORCID: 0009-0001-6202-3019

National University of Odesa Polytechnic,

Odessa, Shevchenko Avenue, 1, 65044

Національний університет «Одеська політехніка»,

Одеса, пр-т Шевченка, 1, 65044

Анотація. Було досліджено чотири сценарії зносу: поступове збільшення, постійний в межах норми, випадковий в задовільному діапазоні та контрольний тест з абсолютно випадковими значеннями. Динамічне моделювання показало здатність системи змінювати стратегію відбору проб і адаптувати відбір вугілля у відповідь на зміну рівня абразивності внаслідок спалювання. У сценаріях з високою абразивністю система регулювала частоту відбору проб для перевірки кожного вагона на наявність дефектів. Такі зміни відобразилися на споживанні вугілля на електростанції, зі збільшенням обсягу поставок для компенсації витрат на резерв на випадок відмови постачальника.

Проведений розрахунковий експеримент відобразив ключову роль розробленої КІСУ зносостійкістю труб теплообмінника на ТЕС. З огляду на умови обчислювального експерименту були помітні відмінності в результатах між сценаріями експлуатації з КІСУ і без неї. Відомості демонструють, що за наявності КІСУ ТЕС може своєчасно реагувати на зміни середнього індексу абразивності, зменшуючи абразивне пошкодження труб, підтримуючи планову товщину труб для експлуатації ТЕС до проведення необхідних ремонтів.

Ключові слова: зносостійкість труб, теплообмінник, обчислювальний експеримент, дефект, вугілля, комп'ютерно-інтегрована система управління.

Вступ.

У дослідницькому контексті проблема зносостійкості поверхні теплообміну в теплових електростанціях привертає велику увагу через свою критичну роль у роботі важливих об'єктів енергетики. Передчасна зупинка ТЕС на ремонт через неефективний контроль зносостійкості може мати суттєвий вплив на загальну стабільність енергосистеми, особливо коли враховується, що проведення ремонтних робіт для таких стратегічних об'єктів зазвичай вимагає значного часу і планується заздалегідь.

Проблема стає ще актуальнішою у світлі парадоксу, що полягає в розбіжності між фактичною якістю вугілля та інформацією, зазначеною в транспортних документах. Залишаючись без належного контролю, ТЕС змушені використовувати навіть низькоякісне вугілля, не маючи можливості швидко



замінювати паливо для спалювання без негативних наслідків. Внаслідок цього, труби поверхні теплообміну піддаються значному абразивному зносу.

Виходячи з попередніх досліджень, які вказують на можливість реалізації контролю зносостійкості труб через вчасне виявлення абразивної домішки у вугіллі та керування якістю вугілля, в даному розділі ставиться завдання розробити комп'ютерно-інтегровану систему управління (KICY) зносостійкості поверхні труб теплообміну котлоагрегатів (KICY розроблено за допомогою інтерактивного інструменту MATLAB®, Simulink® LICENSING 110721904 – MathWorks Trial – 22 Oct 2022). Основою такої системи буде розподіл потоку вугілля між керуючими впливами та умовами вивантаження і перевірки якості вугілля від постачальників, що має на меті мінімізацію витрат і забезпечення надійності роботи ТЕС. Очікується, що такий інтегрований підхід значно покращить управління зносостійкістю поверхонь теплообміну, відкривши нові перспективи в області ефективного використання вугілля та забезпечення стабільності роботи енергосистеми. KICY зображено на рисунку 1.

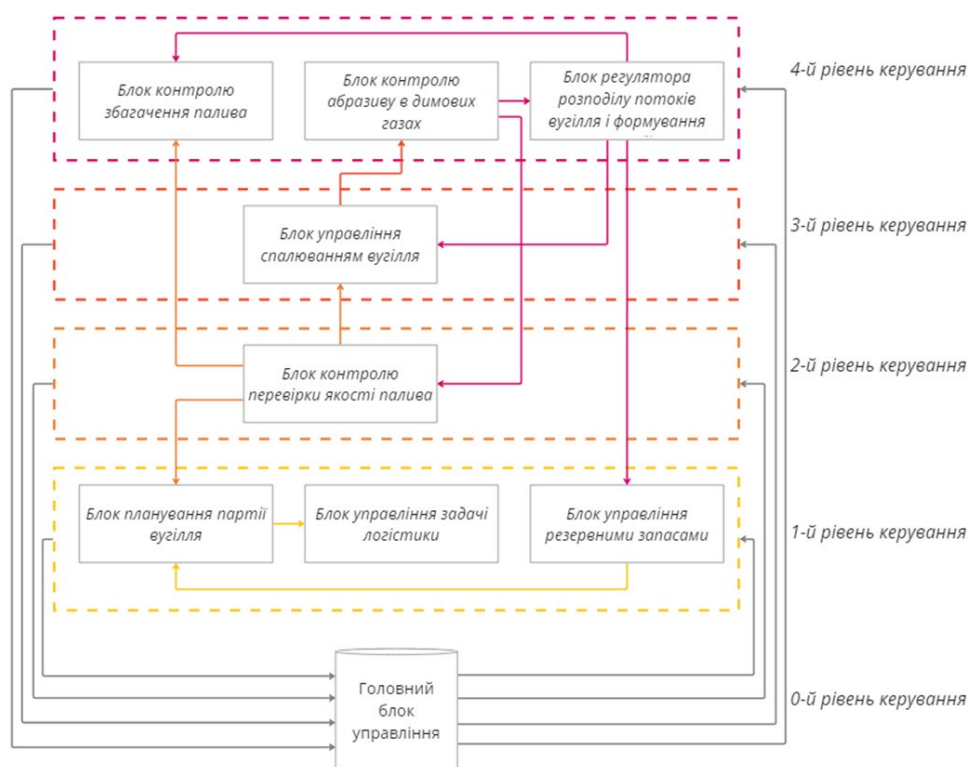


Рисунок 1 – Схема KICY зносостійкості поверхні труб теплообміну парогенератору ТЕС

Джселеро: [1]

Аналіз літературних джерел

Знос, пов'язаний з процесом спалювання абразивного палива, є добре відомим явищем, яке детально описано в [2]. Це спричиняє поступову і безперервну ерозію поверхні теплообмінних труб на ТЕС. Існуючі методи контролю якості вугілля, такі як метод детального відбору проб, представлений в [2], є трудомісткими і недостатньо адаптивними. Ці процедури вимагають безперервної оцінки кожної партії вугілля та індивідуального визначення кроку відбору проб, що, враховуючи постійне надходження змішаних поставок вугілля



з різних джерел, може призвести до значних затримок при транспортуванні. Ці затримки також призводять до значних витрат ТЕС через надмірне утримання вагонів. Існуючі методи прогнозування неефективно враховують реальний час роботи котла. Це стосується прогнозування споживання палива, виявлення летючої золи й абразивності. Зараз немає математичної моделі для парового котла ТЕС, яка поєднує різні аргументи, такі як різні види витрат палива, витрати летючої золи у золовловлювачах, показник абразивності, із функціями. Модель також повинна описувати загальні витрати золошлакової пульпи, втрати вуглецю (від невідповідності заявленої та фактичної зольності), тривалість роботи труб до проведення технічного обслуговування. Крім того, модель повинна враховувати розбіжності в зольності та тривалість до технічного обслуговування. В [4,5,6,7] висвітлюються питання, пов'язані з неоднозначною зольністю продуктів вуглезбагачення та завищеною похибкою коефіцієнту вуглезбагачення, виведеного емпіричними методами. Основною проблемою є складність чіткого визначення перехідного маркера якості для вугілля, де збагачення не потрібне. Процес збагачення також призводить до значної втрати вмісту вуглецю. Крім того, було введено можливість розміщення збагачувального обладнання на території ТЕС для роботи (тобто за необхідністю), а не для очищення палива на збагачувальній фабриці.

В роботах [3] та [2] розглядаються різні методи визначення зольності палива під час відбору проб. Однак ці процедури є трудомісткими, що створює проблеми під час безперервного використання палива. Необхідність спалювати наявне паливо до отримання результатів лабораторного аналізу може призвести до високої зольності або, в даному контексті, високого вмісту абразивного матеріалу в обхід заходів контролю. Цей непомітний сплеск абразивних домішок в потоці вугілля може неминуче призвести до абразивного зносу труб теплообмінної поверхні котлоагрегату. Існуючі методи забезпечення ТЕС високоякісним вугіллям є недостатніми для зменшення абразивного впливу на труби парогенераторів. Ці методи потребують вдосконалення шляхом інтеграції можливості регулювання кроку відбору. Таке регулювання дозволить вчасно відмовлятися від високозольного палива та контролювати знос теплообмінних труб у парогенераторах ТЕС.

Метою статті є вдосконалення методів і моделей комп'ютерно-інтегрованої системи управління зносостійкості труб теплообміну парогенератора ТЕС, що використовують вугілля з невідомим абразивним складом. Для досягнення мети, необхідно розробити:

- транспортну задачу постачання вугілля від дев'яти постачальників з території України та однієї доставки морем до трьох різних ТЕС;
- математичну модель у вигляді системи рівнянь, які описують параметричну схему котлоагрегату, виражена в зольних потоках;
- модель регулятора при різних характеристиках абразивності вугілля.

Основний текст

Транспортна задача постачання вугілля. В якості прототипів A1, A2 і A3 для побудови транспортної задачі було обрано наступні ТЕС [8]: Запорізька ТЕС, Вуглегірська ТЕС і Бурштинська ТЕС. Все обрані ТЕС працюють на вугіллі.



Оскільки питома теплота згоряння кам'яного вугілля приблизно 31 МДж / кг, наведено наступні показники орієнтовних потреб у таблиці 1.

Таблиця 1 - Потреби ТЕС у вугіллі

ТЕС	Встановлена електрична потужність, МВт	Споживання вугілля, кг/с	Споживання млн. тонн/рік
A_1	3600	290,32	9,16
A_2	3600	290,32	9,16
A_3	2400	193,55	6,10

Авторська розробка

У якості постачальників для прототипів було обрано деякі шахти Донецького вугільного басейну (крім Волинськвугілля та Львіввугілля).

Таблиця 2 - Вартість перевезення палива на рік з кожної шахти, млн. грн

127,1801847	45,53740265	25,05064244	0,525	B_1	Волинськвугілля
744,1657721	733,8540063	112,856549	2,9655	B_2	Львіввугілля
66,7066685	19,85776548	242,3418564	0,998	B_3	Мирноград-вугілля
101,2467087	34,75224867	350,532524	1,4165	B_4	Селидів-вугілля
185,097695	65,47338679	610,4285685	2,5483	B_5	м. Добропілля
62,04281552	6,4617811	8,502343553	0,2515	B_6	м. Соснівка
61,55068896	19,52414327	221,7148473	0,8565	B_7	м. Вугледар
71,45735598	80,15046498	156,475962	0,9	B_8	м. Олександрія
628,2408455	585,0998432	3084,581662	13,9575	B_9	м. Павлоград
A_1	A_2	A_3	Z		

$$\Sigma A_n = \Sigma B_m = 24,42$$

Також було розглянуто варіант дефіциту товару на внутрішньому ринку. У цьому випадку було розглянуто імпорту вугілля з ПАР. Відповідно до джерела [8] середню ціну за тону на вугілля на умовах CIF порт ПАР було обрано 2'724,96 грн.

З огляду на середні відстані від портів Одеської області (порт Південний і ТІС) до розглянутих ТЕС (555 км до Запорізької ТЕС, 845 км до Світлодарськ та 764 км до міста Бурштин).

З огляду на відносну дешевизну вугілля з ПАР і розташування глибоководного Південного порту по відношенню до ТЕС A_1 , A_2 і A_3 , схема з імпортом вугілля з ПАР через порт Південний виходить дешевше і вигідніше для ТЕС в закупівлі.

Транспортну задачу було вирішено з урахуванням річних потреб ТЕС,



річним видобутком з шахт і постачанням вугілля через сумарно в рік [9].

Було припущено, що для поставки, була здійснена закупівля вугілля з ПАР, який виявився неякісний з високим показником зольності 50%. Отже, вугілля, що доставляється цим шляхом, потрібно в два рази більше.

Також було припущено, що джерело В2 також має високу зольність (30%), лише 5,6875 тис. тонн корисної маси з видобутих щодня 8,125 тис. тонн.

Оскільки нам бракує 4,06233 тис. тонн. корисного вантажу без зольної домішки, реального вантажу з урахуванням зольності знадобиться 5,80333 тис. тонн. При цьому ні ціна на закупівлю, ні транспортні витрати не зміняться, тому що реальна маса залишається незмінною.

Було розглянуто дві умови флотації: 1) три механічні флотаційні машини МФУ-25, 2) п'ять МФУ-25.

1) В першому випадку, при проведенні процедури тричі, отримано концентрату в кінцевому підсумку 67,2% від початкової маси і 32,8% – хвости за всі етапи очищення палива.

З огляду на потужність установки 30 кВт на кожен агрегат отримано, що потужність збагачувальної фабрики 90 кВт і за день споживає 2'160 кВт*год.

Згідно з [8] було прийнято, що збагачення 2'400 т вугілля на добу становить 3'749,76 грн.

2) Для п'яти установок для обробки 500 тонн вугілля на годину було отримано переробку 12'000 тон вугілля з зольністю 30% на добу для отримання 8'064 тон палива з зольністю 10,8%. Експлуатація даної машини буде обходитись в 10,8 МВт * год на добу, що буде еквівалентно 18'749 грн на добу.

Попри те, що на перший погляд, спалювання палива без очищення виходить вигідніше через відсутність втрати частки палива разом з хвостами та немає потреби у витраті електроенергії для збагачення, однак в той самий момент формується абразивний знос конвективних поверхонь нагріву.

Якщо порівняти результати транспортних задач за цільовою функцією із витратами на збагачення і без, з [8] свідчить, що вигідніше встановити збагачувальне обладнання і очищати вугілля при зольності 30%, ніж вдаватися до термінового ремонту і заміні обладнання на ТЕС. Якщо взяти за приклад експлуатацію турбіни К-300 (10 років), то економія виходить в середньому більш ніж на 25,5 млн.грн.

Було розв'язано транспортну задачу у таблиці 3, де В2 – постачальник від української шахти, а В* - постачальник з ПАР, Ad обох партій складає 30%.

Оптимальний план є виродженням, так як базисна змінна $x_{104} = 0$.

Оцінка транспортування вугілля для трьох обраних ТЕС (Запорізька, Вуглегірська, Бурштинська) показала, що імпорт вугілля з ПАР, незважаючи на його нижчу якість та час на транспортування, може бути суттєвою підтримкою у випадку дефіциту палива. Дослідження показує, що навіть з урахуванням додаткових витрат на збагачення вугілля для зменшення зольності, це все одно є економічно вигідним завдяки економії від зменшення зносу обладнання. Крім того, оптимальний план транспортування визначає найбільш ефективний розподіл вугілля з різних шахт та південноафриканського постачальника на ТЕС.



Таблиця 3 - Транспортна задача

			корисний обсяг	реальний обсяг	
348,45	124,77	68,64	1,438356		B_1
1652,383592	1631,363195	365,4681826	4,062329	5,803326811	B_2
757,6973391	1096,359289	1001,767503	4,062329	5,80332681	B^*
182,78	54,42	663,97	2,734247		B_3
277,42	95,24	960,39	3,880822		B_4
507,17	179,43	1 672,46	6,981644		B_5
169,99	17,71	23,30	0,689041		B_6
168,65	53,51	607,45	2,346575		B_7
195,79	219,61	428,72	2,465753		B_8
1 721,48	1 603,28	8 451,18	38,23973		B_9
25,08705259	25,08705259	16,72470172	Z		
A_1	A_2	A_3	$\Sigma A_n = \Sigma B_m = 66,9$		

Математична модель у вигляді системи рівнянь, які описують параметричну схему котлоагрегату, виражена в зольних потоках

Для побудови математичної моделі спочатку була побудована параметрична схема (рис. 1.) для розуміння зв'язків інформаційних потоків на ТЕС [10], [11], базуючись на математичній моделі вимірювальному каналі рис. 2. Ці зв'язки були об'єднані у вигляді системи рівнянь (1).

$$\begin{cases} M_{sl} = M_f a_1 + M_{f_a} a_2 + M_{Ad} a_3 \\ M_{loss} = M_f b_1 + M_{f_a} b_2 + M_{Ad} b_3 \\ V_{res} = M_f c_1 + M_{res} c_2 + M_{en} c_3 \\ T_{op} = M_f d_1 + M_{f_a} d_2 + M_{Ad} d_3 + M_{res} d_4 + M_{en} d_5 \\ N = M_f e_1 + M_{res} e_2 + M_{en} e_3 \end{cases} \quad (1)$$

де a_n, b_n, c_n, d_n, e_n – постійні коефіцієнти; $n = \overline{1,3}$; $m = \overline{1,5}$; M_f – витрата палива, кг/год; M_{en} – витрата збагаченого палива, кг/год; M_{res} – витрата резервного палива, кг/год; M_{f_a} – витрата золи з золоуловлювачів, кг/год; M_{Ad} – зольність палива, %; M_{sl} – витрата загальної кількості золошлакової пульпи, кг/год; T_{op} – час роботи до заміни труб теплообмінника, год; M_{loss} – втрати вуглецю через невідповідність між заявленою та фактичною зольністю, якої не вистачає, що зумовлює необхідність збагачення або використання запасів, кг/год; V_{res} – запас палива на резервному складі, т; N – потужність станції, МВт.

Параметрична схема була адаптована для зосередження на розв'язанні трьох основних показників: поточний обсяг резервних запасів, час експлуатації труб до ремонту та заміну та чинний потік летючої золи (рис. 3).

Відповідно до рис. 3. систему рівнянь (1) було представлено у наступному вигляді.

$$\begin{cases} M_{f_a} = M_{sl} - F_{f_a}(M_f, A_d) \\ V_{res} = V_0 - F_{en}(M_f, A_d, M_{en}) \\ T_{op} = T_0 - F_T(M_f, A^d,) \\ M_{ash} - M_{sl} = 0 \end{cases} \quad (2)$$



де M_{ash} – це загальна витрата золи.

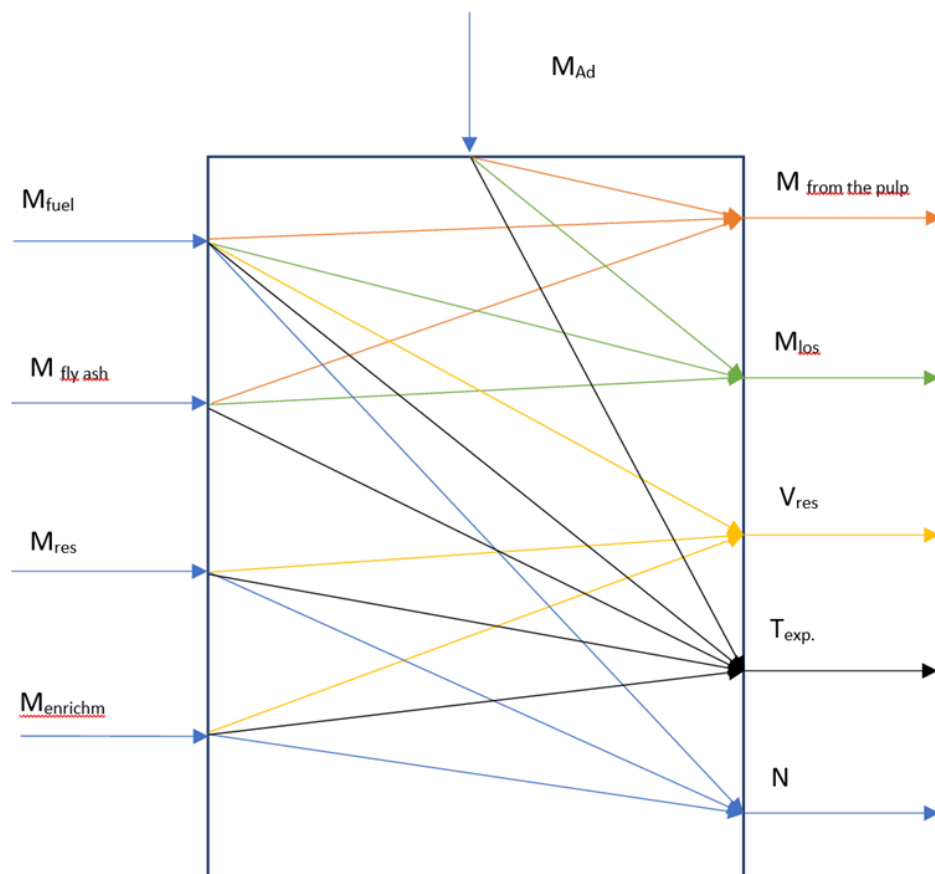


Рисунок 2 – Параметрична схема котлоагрегату

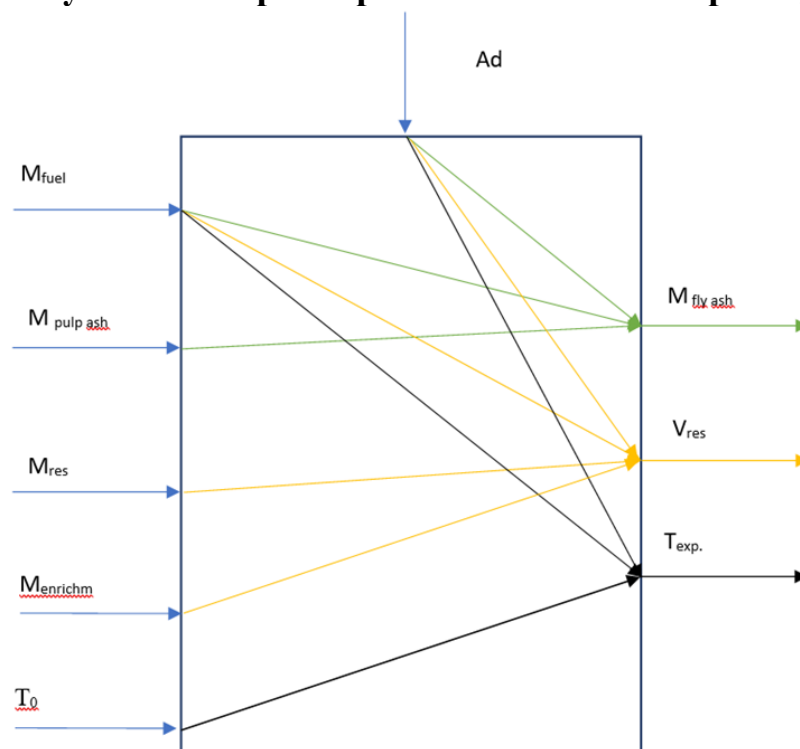


Рисунок 3 – Адаптована параметрична схема котлоагрегату ТЕС



Щоб зрозуміти, як система розвивається з часом, статичного розв'язку недостатньо. Для побудови математичної моделі необхідно використати диференціальні рівняння, які описують, як змінюються величини в системі з плином часу:

$$\begin{cases} \frac{dM_{Ad}}{d\tau} = (M_{ash} + dM_{ash}) - (M_{sl} + dM_{sl}) \\ \frac{dM_{Ad}}{d\tau} = dM_{ash} - dM_{sl} \end{cases} \quad (3)$$

Таким чином, система диференціальних рівнянь (3) представляє часову еволюцію системи, яка раніше описувалася статичними алгебраїчними рівняннями (2). Після перетворення статичних рівнянь на диференціальні, було отримано можливість відстежувати і прогнозувати, як система змінюється з часом. У (3) для позначення часу використовується τ , та система (3) описує зміну. Кожен член рівняння у цих диференціальних рівняннях описує швидкість зміни величини M_{Ad} з часом.

Математична модель котлоагрегату ТЕС, представлена у вигляді системи рівнянь, визначає взаємозв'язки між різними параметрами, такими як споживання палива, витрати золи, резервні запаси та час роботи до ремонту. Модель було адаптовано для зосередження уваги на еволюції резервних запасів, часі роботи до ремонту та поточних витратах золи. Перехід від статичних алгебраїчних рівнянь до диференціальних рівнянь дозволив відстежувати і прогнозувати зміни системи в часі, забезпечуючи цінний інструмент для стратегічного планування та оптимізації на ТЕС.

Розробка регулятора поточного часу для управління процесом контролю якості вугілля, що відвантажується

Було розглянуто ситуацію, коли ТЕС отримує вугілля від трьох постачальників, обраних на основі ціни, швидкості доставки та якості, згідно з методом планування поточної партії та управління задачі логістики описаному в третьому розділі. Всі поставки надходять одночасно і змішуються на складі ТЕС. Як описано в моделі Dw у другому розділі, при задовільній якості вугілля ТЕС обробляє на добу 840 вагонів вугілля, з регулярними перевірками в якості кожного десятого вагону. Якщо виявляється неякісне вугілля, цьому постачальнику відмовляють у співпраці, а його обсяги замінюються перевіреними вантажовідправниками та новим постачальником. Це вимагає залучення резервних запасів та щоденна кількість вагонів поступово збільшується і прагне до максимальної позначки в 1092, поки резервний запас не відновиться, щоб компенсувати витрати на використання резервного палива та втрати від відмови постачальника. На станції також є нечітка система для виявлення неякісного вугілля під час спалювання [12], яка, якщо спрацює, збільшує частоту перевірок. Необхідно змодельовати автоматизований контролер.

Підсистема буде виглядати так, як показано на рисунку 4. Ключовими блоками цієї підсистеми є наступні:

- "Variable Transport Delay" враховує транспортну затримку при відборі зразка.



- "UpdateSelectWagon" – функція, яка виконує роль контролера системи та визначає крок вибірки (r) для поточної ситуації.

- "Flow opening level of combustion" – відсоток потоку палива, який припадає на горіння (сигнал зворотного зв'язку від нечіткого контролера, який пропорційно розподіляє паливо за напрямками).

Згідно із запрограмованих правил керуючого пристрою на основі нечіткої логіки для керування зносостійкістю поверхні теплообміну, якщо в топку подається не більше половини потоку, це означає, що вугілля незадовільної якості. В якості регулятора буде виступати запрограмована функція "updateSelectWagon", яка працює за принципом, що якщо "Flow opening level of combustion" менше ніж 0,5, тоді за принципом Кокрана змінюється крок вибірки для контролю якості. Функція "updateSelectWagon" запрограмована наступним чином [11]:

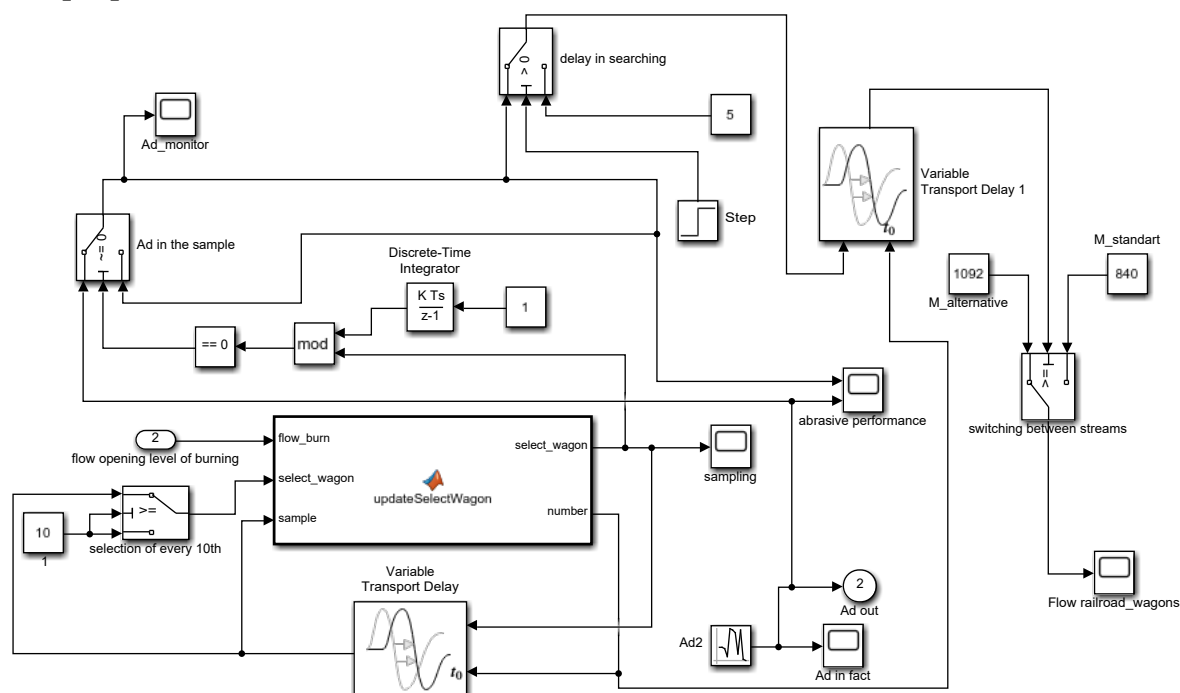


Рисунок 4 – Схема регулювання приймання вугілля та відбору проб на складі

```
function [select_wagon, number] =
updateSelectWagon(flow_burn, select_wagon, sample)
    if flow_burn <= 0.5
        select_wagon = ceil(select_wagon / 2);
    else
        select_wagon = 10;
    end
    number = 1;
    while sample >= 10
        sample = ceil(sample / 2);
        number = number + 1;
    end
end
```



Коли система контролю якості вугілля виявляє падіння якості вугілля, алгоритм оптимізує частоту відбору проб, поступово зменшуючи її до тих пір, поки не буде виявлено джерело проблеми.

Якщо відповідне джерело низької якості вугілля виявлено, система приймає низку стратегічних рішень: відмовляється від неякісного постачальника, активізує використання резервних ресурсів, збільшує кількість вагонів, що надходять від надійних вантажовідправників, залучає додаткових постачальників, щоб максимально ефективно компенсувати витрати на резервні ресурси. Тобто регулятор відправляє сигнал, що терміново необхідно прагнути до максимального числа обробки вагонів на добу. Для того, щоб переконатись, що КІСУ працює правильно, необхідно проаналізувати результати симуляції за різних умов.

Розрахунковий експеримент. Далі розглядається перевірка роботи КІСУ поверхні теплообмінних труб парогенератора ТЕС побудована на принципі А/В-тестування (також відоме як bucket-тестування або спліт-тестування [13-17]). Для цілей цього обчислювального експерименту приймаються наступні умови: ТЕС отримує партії вугілля з задовільним показником абразивності $A_d = 10\%$ від трьох постачальників B_1 , B_2 і B_3 протягом року. Початкова товщина труб становить 10 мм, і вони потребують заміни при досягненні товщини 2 мм. Далі припускається, що постачальник B_2 починає постачати вугілля нижчої якості $A_d = 20\%$ з 90-го дня, а постачальник B_3 постачає вугілля $A_d = 30\%$ з 180-го дня.

Обговорення результатів. Було детально описано проблему транспортування вугілля для ТЕС A_1 , A_2 та A_3 . Було розглянуто можливість закупівлі вугілля з окремих шахт Донецького вугільного басейну, з додатковим розглядом можливості імпорту вугілля з Південної Африки у випадку дефіциту вугілля на внутрішньому ринку. Зрештою, було зроблено висновок, що, незважаючи на вищі початкові витрати, обслуговування збагачувального обладнання для зниження зольності призводить до значної довгострокової економії, що перевищує витрати на термінові ремонти та заміну обладнання ТЕС. Аналіз також дозволив отримати оптимальний план розподілу вугілля з різних шахт на ТЕС, хоча було зазначено, що цей план є виродженим через те, що базова змінна x_{104} дорівнює нулю.

Описано побудову математичної моделі для опису параметричної схеми котлоагрегату теплової електростанції з акцентом на динаміку потоків золи. Модель була розроблена шляхом створення складної системи рівнянь, яка відображає взаємозв'язок різних факторів, включаючи витрату палива, витрату збагаченого палива, витрату резервного палива, витрату золи, зольність, загальну витрату золошлакової пульпи, час роботи, втрати вуглецю, запас палива та потужність установки. Ця параметрична схема була адаптована, щоб сконцентруватися на трьох основних показниках: поточному обсязі резервних запасів, часу роботи труб до заміни та поточному потоці золи. Розроблені алгебраїчні рівняння були далі перетворені в диференціальні рівняння для відстеження і прогнозування змін M_{Ad} в системі з часом, що має вирішальне значення для побудови регулятора та запровадження керуючих впливів в режимі поточного часу.



Представлено комплексне моделювання роботи регулятора за різних умов абразивності вугілля. Розроблено регулятор, який працює шляхом дробового розподілу напрямків потоку енергетичного вугілля, був протестований за двома основними сценаріями: постійна абразивність 35% при 90% резервних запасів і безперервне збільшення абразивності з 14% до 35% при 100% резервних запасів. Результати продемонстрували успішний розподіл регулятором потоку вугільного палива в топку з резерву при високому вмісті абразиву і його здатність коригувати розподіл потоку палива при постійному зростанні абразивності. Примітно, що при зростанні абразивності витрата резервного палива також зростала, а витрата подаваного зольного палива зменшувалася, тим самим мінімізуючи швидкість зносу поверхні теплообмінника від пневматичного потоку абразивного матеріалу при спалюванні.

Представлено розробку автоматизованого контролера, призначеного для управління процесом контролю якості вугілля, що надходить на ТЕС від різних постачальників. Розроблений контролер, інтегрований в блок "Acceptance, control, and unloading of fuel", враховує транспортну затримку при відборі проб, рівень відкриття потоку при спалюванні, а також коригує крок відбору проб у відповідь на зміну якості вугілля за допомогою нечіткої логіки. Важливою функціональністю цієї системи є її здатність виявляти вугілля низької якості, вчасно змінювати частоту відбору проб і приймати рішення. Це включає припинення співпраці з постачальником неякісного вугілля, збільшення використання резервних ресурсів, збільшення кількості вагонів від перевірених постачальників та залучення нових постачальників, щоб компенсувати витрати на резервні ресурси. Ці функціональні можливості демонструють здатність контролера підтримувати стабільний ланцюжок постачання вугілля, забезпечуючи при цьому якість палива, що обіцяє підвищити операційну ефективність ТЕС.

Заклучення і висновки.

1. Роботу КІСУ було підтверджено за допомогою моделювання в різних умовах. Було досліджено чотири сценарії: поступове збільшення Ad від «Ideal» до «Bad» класу, постійна Ad в межах норми, випадкова Ad в задовільному діапазоні та контрольний тест з абсолютно випадковими значеннями Ad . Ці симуляції показали здатність системи динамічно змінювати стратегію відбору проб і адаптувати відбір вугілля у відповідь на зміну рівня абразивності внаслідок спалювання. У сценаріях з високою абразивністю система регулювала частоту відбору проб для перевірки кожного вагона на наявність дефектів, тоді як у сценаріях з низькою абразивністю відбір проб відбувався рідше (кожний десятий залізничний вагон). Ці зміни відобразилися на споживанні вугілля на електростанції, зі збільшенням обсягу поставок для компенсації витрат на резерв на випадок відмови постачальника. Випробування продемонстрували адаптивність системи в управлінні різною якістю палива для забезпечення стабільної роботи та запобіганню дефіциту палива.

2. Розрахунковий експеримент відобразив ключову роль розробленої КІСУ зносостійкістю труб теплообмінника на ТЕС. З огляду на умови обчислювального експерименту, які враховували варіації якості вугілля від трьох



різних постачальників, було підкреслено помітні відмінності в результатах між сценаріями експлуатації з КІСУ і без неї. Відомості демонструють, що за наявності КІСУ ТЕС може своєчасно реагувати на зміни середнього індексу абразивності (Ad_{avg}), зменшуючи таким чином абразивне пошкодження труб, підтримуючи планову товщину труб для експлуатації ТЕС до проведення необхідних ремонтів.

Література:

1. Grishyn M. V., Matiko F.D., Tarakhtij O. S., Zhanko K. O., Vereskun S. O. Automated solid fuel quality control system for measuring the wear resistance of heat exchange tubes. // Herald of Advanced Information Technology. 2023; Vol. 3 No.2 : 11–25. DOI: <http://doi.org/10.15276/hait.07.2023.18>.
2. Бондзик Д. Л., Дунаєвська Н. І. Перспективні технології спалювання пиловугільногопалива. // Вугільна теплоенергетика: шляхи реновації та розвитку. XVIII Міжнародна науково-практична конференція. Збірка наукових праць. 2022. С. 195-203. DOI: <https://doi.org/10.48126/conf2022>.
3. Singh A., Sharma, V., Mittal, S. An overview of problems and solutions for components subjected to fireside of boilers. // Int J Ind Chem 9. 2018. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40090-017-0133-0>.
4. Moshfiqur Rahman, Deepak Pudasainee, Rajender Gupta. Review on chemical upgrading of coal: Production processes, potential applications and recent developments. // Fuel Processing Technology. 2017. Vol. 158. P. 35-56. ISSN 0378-3820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.12.010>.
5. Yadong Tao, Wenge Song, Ziqi Zhu, Bin Wang, Ming Shang, Sa Zhang, Chao Lu. Optimization Analysis of Power Coal-Blending Model and Its Control System Based on Intelligent Sensor Network and Genetic Algorithm. // Journal of Sensors. 2023. Vol. 2023. Article ID 3898063. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/3898063>.
6. Hongxu Zhou, Rabin Bhattarai, Yunkai Li, Buchun Si, Xinxin Dong, Tengfei Wang, Zhitong Yao. Towards sustainable coal industry: Turning coal bottom ash into wealth. // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 804 (149985). ISSN 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149985>.
7. Vilakazi A.Q., Ndlovu S., Chipise L., Shemi A. The Recycling of Coal Fly Ash: A Review on Sustainable Developments and Economic Considerations. // Sustainability. 2022. Vol. 14(4): 1958. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14041958>.
8. Грішин М.В., Беглов К.В.. Оцінка ефективності збагачення палива для зменшення ризику витрат ТЕС. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том. 32 (71). № 3. С. 82-89. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/14>.
9. Maksym Grishyn. Modelling of automated steam coal transportation and enrichment systems for efficient operation and cost reduction of thermal power plants. // Scientific Collection «InterConf+». 2023. Vol 34(159). P. 271–285. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2023.027>
10. Grishyn M. V., Matiko F.D., Tarakhtij O. S., Zhanko K. O., Vereskun S. O. Automated solid fuel quality control system for measuring the wear resistance of heat exchange tubes. // Herald of Advanced Information Technology. 2023; Vol. 3 No.2 :



11–25. DOI: <http://doi.org/10.15276/hait.07.2023.18>.

11. Grishyn M.V. Wear control of heat exchange surface tubes of a TPP steam generator by means of automatic regulation of coal fuel abrasiveness. // Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2023. P. 143–153. URL: <https://sci-conf.com.ua/ix-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-8-10-06-2023-osaka-yaponiya-arhiv/>

12. Grishyn M.V., Tarakhtij O.S. Simulation modelling of sampling and replacement of coal suppliers for thermal power plants. // Applied Aspects of Information Technology. 2023. Vol.6 No. 2. P. 175–189. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.13>.

13. Sheng J., Liu H., Wang B. Research on the Optimization of A/B Testing System Based on Dynamic Strategy Distribution. // Processes. 2023. Vol. 11(3):912. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11030912>.

14. Федорченко А.В., Пономаренко І.В. А/В-Тестування як ефективний інструмент цифрового маркетингу. // Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку. 2019. С. 36–42. DOI: <http://doi.org/10.33813/2224-1213.19.2019.4>.

15. Backstrom L., Kleinberg J. Network bucket testing. // In Proceedings of the 20th international conference on World wide web (WWW '11). Association for Computing Machinery. 2011. P. 615–624. DOI: <https://doi.org/10.1145/1963405.1963492>.

16. Tamburrelli G., Margara A. Towards Automated A/B Testing. // Search-Based Software Engineering. SSBSE. Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8636. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09940-8_13.

17. Kohavi R., Longbotham R. Online Controlled Experiments and A/B Testing. // In: Sammut, C., Webb, G.I. (eds) Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7687-1_891.

Abstract. Four wear scenarios were investigated: gradual increase, constant within normal limits, random within a satisfactory range, and a control test with completely random values. Dynamic simulations showed the ability of the system to change the sampling strategy and adapt the coal selection in response to the change in the abrasiveness level due to combustion. In highly abrasive scenarios, the system adjusted the sampling frequency to check each car for defects. Such changes were reflected in the consumption of coal at the power plant, with an increase in the volume of deliveries to compensate for reserve costs in case of failure of the supplier.

The conducted calculation experiment reflected the key role of the wear resistance of the heat exchanger pipes at the TPP developed by the KISU. Given the conditions of the computer experiment, there were noticeable differences in the results between the scenarios of operation with and without the CSI. The information shows that in the presence of CSI, the TPP can respond in a timely manner to changes in the average abrasiveness index, reducing the abrasive damage of the pipes, maintaining the planned thickness of the pipes for the operation of the TPP until the necessary repairs are carried out.

Key words: pipe wear resistance, heat exchanger, computational experiment, defect, coal, computer-integrated control system.



УДК 004.2

**A METHOD FOR FINDING A SOLUTION TO THE BEST STRUCTURE OF
A COMPLEX POWER PLANT****МЕТОД ПОШУКУ РІШЕННЯ НАЙКРАЩОЇ СТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ****Brunetkin O.I. / Брунеткін О.І.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-6701-8737

Sokoliuk S.O. / Соколюк С.О.*postgraduate student / аспірант*

ORCID: 0009-0003-0886-1462

Maksymov M. M. / Максимов М. М.*phd / доктор філософії*

ORCID: 0000-0002-5626-5265

*National University of Odesa Polytechnic, Odessa, Shevchenko Avenue, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, пр-т Шевченка, 1, 65044*

Анотація. Запропоновано метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки через визначення цільової функції оптимізації і знаходження структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми. Розроблено метод аналізу, який визначає придатність енергетичних установок різних видів для можливості компенсації збурень в енергетичній системі.

Запропоновано критерій ефективності експлуатації енергетичної установки в енергосистемі. В основу критерію покладені властивості граничності і можливості додавання різних видів енергії, а також враховано системність і збалансованість розглянутих варіантів.

Ключові слова: цільова функція оптимізації, критерій, метод аналізу, баланс енергосистеми, відновлювальні джерела енергії.

Вступ

У сучасній електроенергетиці спостерігається постійно зростаюча тенденція використання поновлюваних джерел енергії для забезпечення попиту на енергетичну продукцію енергосистем.

Повільно, але впевнено до класу електрогенеруючих установок потрапили енергетичні установки, які неможливо диспетчеризувати. Такі установки використовують поновлювані джерела енергії, до яких перш за все належать геліо- і вітрогенеруючі. Регулювати роботу таких енергоустановок у системі практично неможливо без додаткових акумулюючих установок будь-якого виду. Значний внесок у можливість експлуатації таких енергоустановок визначається державною політикою. У разі, якщо державне управління системно підходить до реалізації концепції поновлюваних джерел енергії на всіх рівнях (політичному, інфраструктурному, соціальному), то така енергосистема може стабільно функціонувати з істотною часткою поновлюваних джерел, що добре видно на прикладі Данії [1, 2]. У разі, якщо державне управління кон'юнктурно підходить до такої концепції і просувається державним менеджментом лише з політичних міркувань, то така енергосистема не в змозі впоратися з власним балансом із



усіма наслідками. Це видно на прикладах США, Німеччини і Австралії [1, 2].

Процеси автоматизації установок, які неможливо диспетчеризувати, не відповідають стандартним прийомам. У разі експлуатації спільно з акумулюючою установкою виникає нерозв'язна пріоритетність вирішення завдання про те, що потрібно регулювати: акумулятор, що заряджається, чи підтримувати баланс споживання енергосистеми. Завдання ускладнюється, бо керуюча система не отримує зворотного зв'язку про зміну поточної швидкості вітру і миттєвої інтенсивності сонячної інсоляції для формування керуючого впливу.

Аналіз літературних джерел

Далі потрібно розглянути деякі наукові роботи прикладного характеру з пошуку найкращих рішень для узагальнення можливих підходів. В [3] розглянуто задачу оптимізації пошуку параметрів системи динамічного захисту апарата в космічному просторі. У проведених дослідженнях важливо було знайти прийнятне рішення між показниками теплової ефективності і стартової вартості такої системи. В [4] розглянуті результати, які одержані під час вирішення задачі визначення оптимальних показників ефективності діючих теплових електростанцій. Одержані результати показали різні рішення, оскільки були засновані на використанні тільки енергетичних або ексергетичних, або ексергоекономічних, або економічних показників. Показано переваги та недоліки їхнього застосування для оптимізації параметрів на вугільних теплових електростанціях. Одержане рішення показало перевагу використання газоподібного палива в парогазових і когенераційних енергетичних установках порівняно з вугільними тепловими електростанціями. В [5] представлені результати вирішення завдання оптимального розподілу часток вироблення електричної енергії в енергосистемі між атомними електричними станціями, поновлюваними джерелами енергії і традиційними тепловими енергетичними установками. В [6] показана можливість проводити аналіз енерготехнологічних об'єктів у тісному зв'язку з енергетичною системою за критерієм оптимізації, що враховує властивості показників теплової ефективності та економічної доцільності. Контрольна поверхня аналізу при цьому містить систему, в якій експлуатується розглянута установка.

В [7] подано підхід до оптимізації теплообмінного обладнання на основі мінімізації вартості життєвого циклу в вартісному виразі. Цей метод дозволяє спільно оптимізувати як разові витрати в обладнанні, так і експлуатаційні витрати на очищення від сольових відкладень. Такий підхід пошуку ефективності через методи оптимізації характерний для установок великого розміру, або великої кількості малих одиниць.

У роботі [8] розглядається метод аналізу ефективності та оптимізація параметрів процесу горіння біомаси в енергетичній та когенераційній установках. Представлений підхід використовується для аналізу і оптимізації стратегій керування структурою енергетичного обладнання.

В роботі [9] показано, що застосування математичного моделювання і пінч-аналізу уможливорює використання інсоляції в поєднанні з сонячною тепловою системою і тепловим насосом у традиційній енергетичній структурі консервної



фабрики. Для визначення ефективності цієї технологічної схеми були проаналізовані різні технологічні збурення, засновані на реальних випадках виробничого процесу. Одержуваний енергетичний потенціал такої комбінації в промисловому процесі показав свою ефективність.

Виконані попередні дослідження довели можливість розробки методу визначення цільової функції, яка враховує ефективність експлуатації різних структурних комбінацій енергетичної установки, що працює в системі з метою створення структури технічних засобів, які мають властивість регулювання. Тому в заключній частині дисертаційного дослідження необхідно розробити метод аналізу, що визначає придатність енергетичних установок різних видів, залежно від їхніх динамічних характеристик, для можливості компенсації збурень в енергетичній системі. І, як наслідок, розробити метод визначення цільової функції оптимізації та знаходження найкращих структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

Тому, виходячи з викладених завдань, метою роботи є вдосконалення методів і моделей автоматизованого управління енергетичною установкою, що використовує відновлювальні джерела енергії для підтримки балансу енергетичної системи за рахунок пошуку найкращої структури її складових частин, і переміщення такої установки в клас регульованих із підвищенням її енергетичної ефективності.

Основний текст

Метою статті є розробкою моделі і методу визначення цільової функції оптимізації по знаходженню найкращих структурних комбінацій енергетичної установки для підтримки балансу енергетичної системи для підвищення її ефективності.

Досягнення мети здійснюється:

- розробкою моделі автоматизованої системи керування і методу проведення керованого піролізу для утилізації збродженого залишку змінного складу, який отримують у біогазовій технології, що дасть змогу виробляти додатково синтез-газ із максимальною теплотворною здатністю;

- розробкою методу визначення цільової функції оптимізації і знаходженням найкращих структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

Склад структури енергетичної установки.

Розглянемо об'єкт управління, яким є біотенкова енергетична установка, показана на рис 1. Рослинний субстрат зі сховища (1) надходить на вузол підготовки (2), далі насосом (3) підготовлену сировину завантажують у метантенк (4). Біогаз, що утворюється в процесі бродіння, надходить в газгольдер (5) і далі на дизель-генераторну установку (ДГУ) (6). Для нагріву сировини в метантенку до температури бродіння і підтримки теплового режиму використовують контур охолодження (ДГУ) (7), через який протікає гаряча вода.



підтримки необхідної маси речовини в реакторі генерація продукт-газу припиниться, тому піролізний реактор треба оснастити регулятором витрати продукт-газу, що змінює витрату вихідної сировини (збродженого залишку). Температура піролізу підтримується зміною витрати повітря. Для компенсації збурення складом сировини регулятор температури отримує коригувальний сигнал за складом продукт-газу [11].

Крім того, для створення запасу потужності, підвищення енергетичної ефективності і поліпшення маневрених властивостей установки пропонується додатково оснастити її двигунами установки. До складу паротурбінної установки входять паровий котел (11) і парова турбіна (13). Паровий котел (11) може працювати на вуглистих залишках і смольних рідких фракціях. Наявність запасів вуглистого залишку дозволяє використовувати його як основне паливо для роботи паросилової установки в режимі забезпечення зміни потужності. При цьому турбіна працює на частковій потужності. А смоли, як більш калорійне паливо, можна використовувати для покриття пікових навантажень енергоспоживання в разі нестачі потужності від ДГУ. Турбіна (13) при цьому виводиться на максимальну потужність. ДГУ (6) від метатенкового газу працює з великим запасом потужності, який зменшується під час вироблення продукт-газу на установці піролізу (9), тим самим даючи змогу ДГУ (6) частково брати участь в покритті потужності. Структурна схема установки показана на рис. 2. Позначення відповідають рис. 1.

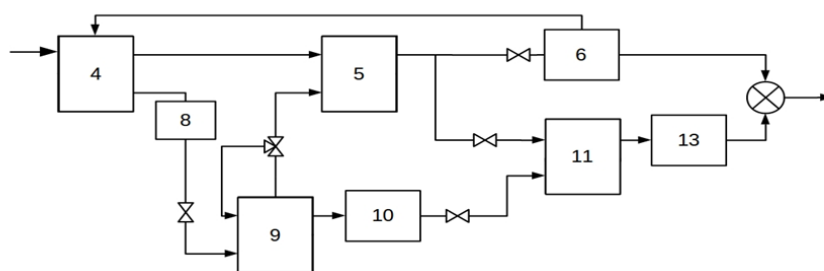


Рисунок 2 – Структурна схема енергетичної установки

Для дослідження роботи енергетичної установки була складена імітаційна модель. Загалом вона складається з моделей біореактора [10], дизель-генератора, піролізної установки, газового та вугільного котлів і турбогенератора. Математичні моделі більшості елементів відомі. Структурну схему моделі установки піролізу показано на рис. 2.

З погляду управління виробленням біогазу біореактор має доволі велику інерційність, і для оперативного управління потужністю енергетичної установки не використовується. Після розгляду зовнішніх збурювальних впливів регульованих і керуючих параметрів було синтезовано систему управління [11]. Схема автоматизованої системи регулювання приведена на рис. 3.

Для дослідження роботи АСР як зовнішніх впливів було вибрано зміну завдання потужності установки. У разі роботи котла на газі $ZN_{gen} = 50\%$; якщо котел працює на вуглистому залишку, $ZN_{gen1} = 30\%$. Кількість вуглистого залишку розраховується як різниця мольних витрат вихідної сировини та синтез газу ($coal = G1 - Q2$). Графіки перехідних процесів показані на рис. 4–7.

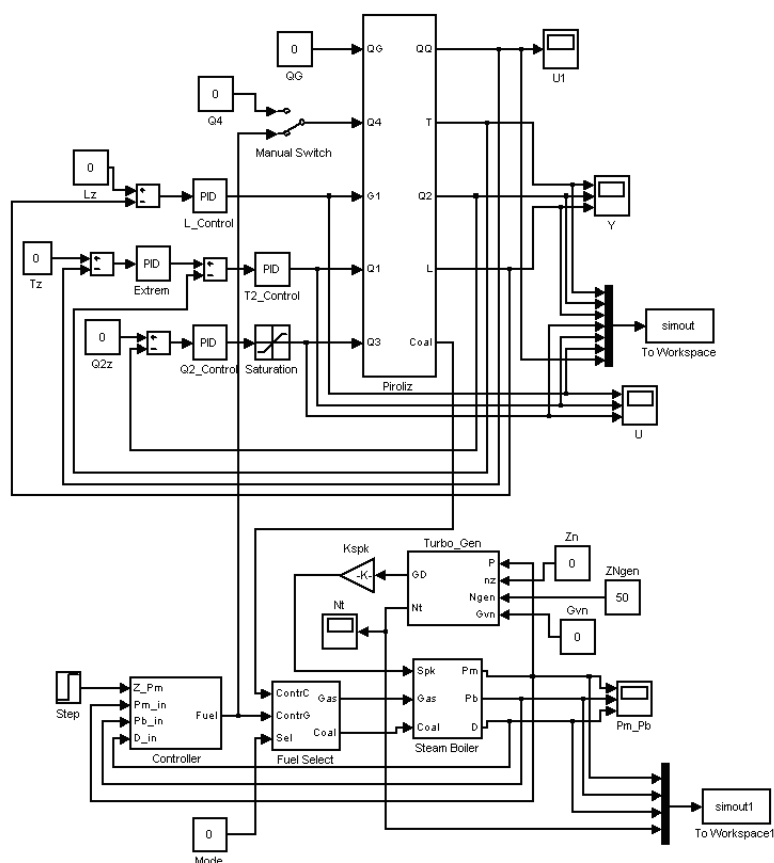


Рисунок 3 – Модель піролізної установки з котлом, навантаженим турбогенератором

Отже, попередньо проведене імітаційне моделювання кожної окремо взятої одиниці енергетичного обладнання дозволило отримати його перехідні характеристики. Це дасть змогу визначати часи перехідних процесів за формування різних структур енергетичних установок [11].

Метод пошуку найкращої структури.

Розглянемо метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки для уможливлення первинного регулювання енергосистеми. По-перше, повинна бути відома потреба в електричній енергії $N(\tau)$ у заданому часовому діапазоні $\tau \in [0; \tau_{розр}]$. По-друге, мають бути відомі типи енергетичних установок, які можна включити в розглянуту структуру. Мінімальна і максимальна їхня потужність – N_j^{min} і N_j^{max} , а режим роботи: стаціонарний $N_j(\tau) = const$, динамічний (з можливими зупинками і швидкими пусками) $N_j(\tau) = var$.

Для розглянутих умов біореактор працює в стаціонарному режимі $Q_{бм} = const$. Піролізна установка для генерації продукт-газу працює в динамічному режимі $G_{n2}(\tau) = var$, але без зупинок. ПТУ працює в динамічному режимі $N_{ПТУ}(\tau_i)$, але з можливістю створення резерву, що обертається на віртуальній установці $N_{ВирЕУ}(\tau_i)$. І так для кожного виду установки задається вектор вихідних даних, який містить: максимальну потужність (N_j^{max}) і відповідну до неї ККД $\eta_j(N_j(\tau_i))$, мінімальну потужність N_j^{min} , динамічну



характеристику перехідного процесу каналом паливо–електроенергія $N_j \in [N_j^{\min}; N_j^{\max}]$, що виробляється, вихідну характеристику системного ККД η_{efj} , який розраховується за виразом (1):

$$\bar{l} = (N_j^{\max}, \eta_j(N_j), N_j^{\min}, N_j; \eta_{efj}). \quad (1)$$

Для обчислення ефективності кожної структури η_{efj} необхідно окрім потреби в електричній енергії $N(\tau)$ знати замикаючі витрати енергії, які визначені в [11,12].

Розглянемо можливі структури біотенкової енергетичної установки для яких необхідно скласти вектор вихідних даних.

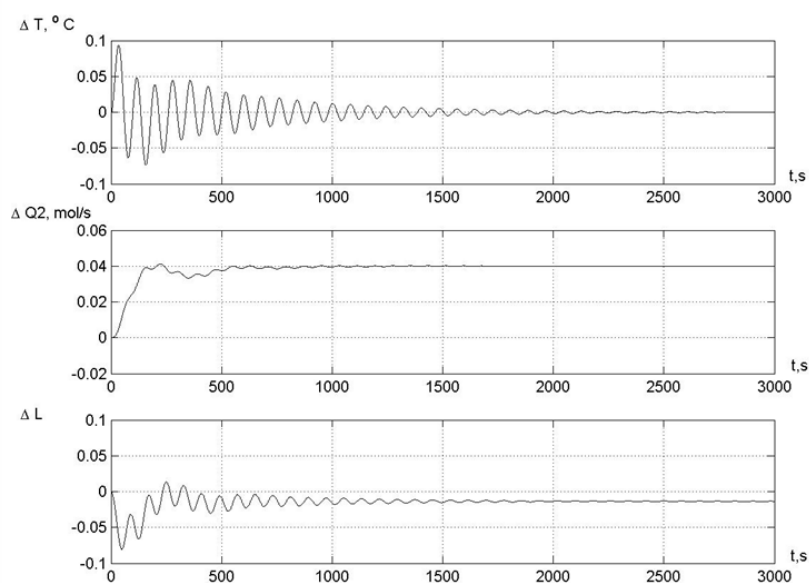


Рисунок 4 – Відхилення параметрів регулювання піролізної установки

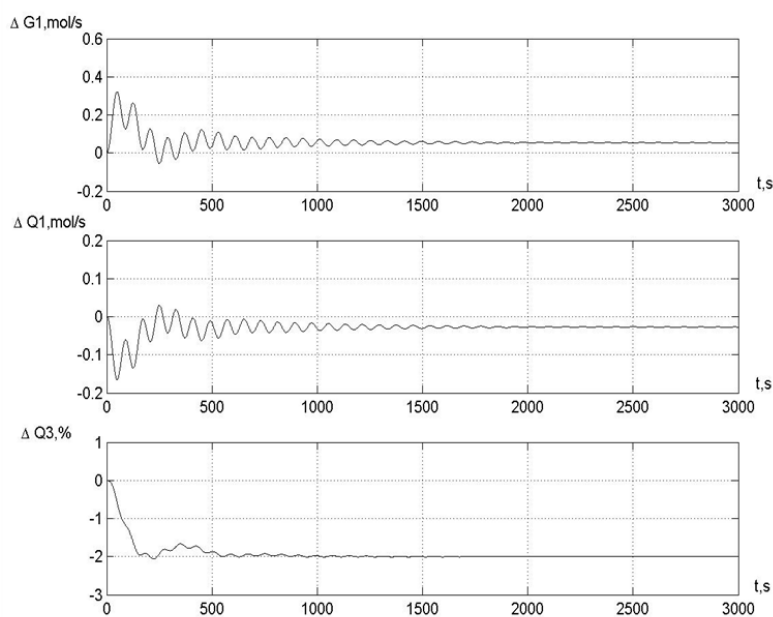


Рисунок 5 – Відхилення впливів регулювання піролізної установки

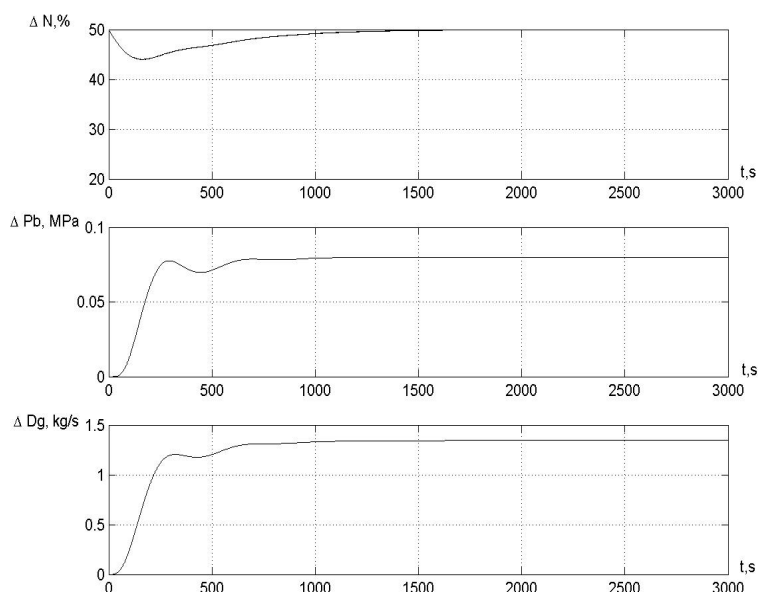


Рисунок 6 – Відхилення величин регулювання паросилової установки за умови роботи на газі: N – потужність, P – тиск пари, D – витрата пари

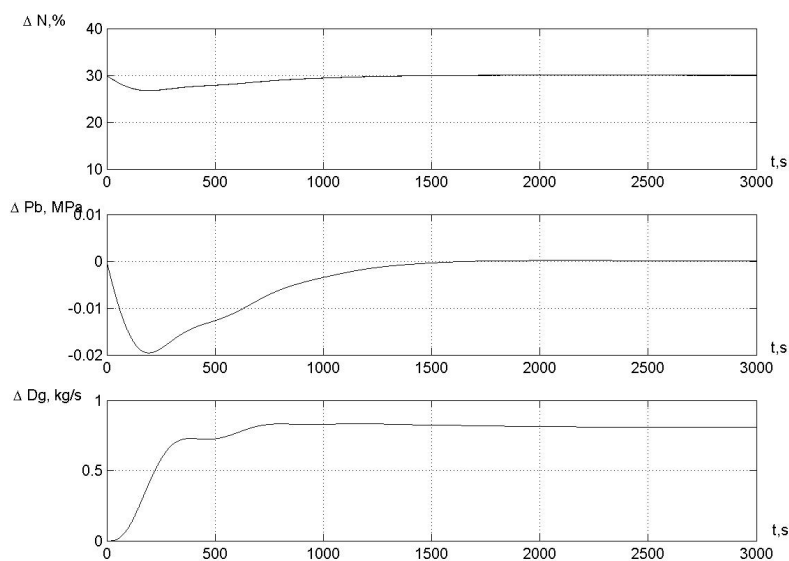


Рисунок 7 – Відхилення величин регулювання паросилової установки за умови роботи на вуглистому залишку: N – потужність, P – тиск пари, D – витрата пари

Структура I. В установці працює тільки біореактор у стаціонарному режимі, зброджений залишок надходить у сховище, а отриманий біометан направляється в газгольдер, газовий дизель постійно виробляє електричну енергію, охолодження дизеля витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату. Вектор вихідних даних для структури I має вигляд:

$$\bar{l}_I = (N_{дгв}^{\max}, \eta_{дгв}(N_{дгв}), N_{дгв}^{\min}, N_{дгв}; \eta_{efI}) \quad (2)$$



Структура II. В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі та установка піролізу в регульованому динамічному діапазоні, зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад. Регулюючи роботу установки піролізу, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії $N_{ДГУ}$ і $N_{ДГУ}^{n2}$, охолодження дизеля витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури II має вигляд:

$$\bar{l}_{II} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{n2}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{n2}), N_{ДГУ}^{n2}, \eta_{ef II}). \quad (3)$$

Структура III. В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі, установка піролізу і паротурбінна установка в регульованих динамічних діапазонах, зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад, а потім – на ПТУ. Регулюючи роботу установок піролізу і паротурбінних установок, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії $N_{ДГУ}$ та $N_{ДГУ}^{пг}$ і додатково змінюємо вироблення електричної енергії на ПТУ $N_{ПТУ}$. Охолодження дизель-генератора і ПТУ витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури III має вигляд:

$$\bar{l}_{III} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{n2}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{n2}), N_{ДГУ}^{n2}, N_{ПТУ}^{\max}, \eta_{ПТУ}(N_{ПТУ}), N_{ПТУ}^{\min}, N_{ПТУ}, \eta_{ef III}) \quad (4)$$

Структура IV. В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі, установка піролізу та паротурбінна установка в регульованих динамічних діапазонах. На ПТУ передбачається не максимальне навантаження а резервується частина потужності на обертовий резерв. З біореактора зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад, а потім – на ПТУ. Регулюючи роботу установок піролізу і паротурбінних установок, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії $N_{ДГУ}$ та $N_{ДГУ}^{пг}$ і додатково змінюємо вироблення електричної енергії на ПТУ $N_{ПТУ}$, при цьому ПТУ не навантажується до максимального значення, а має запас потужності під резерв, що обертається $N_{ВіпЕУ}$. Охолодження дизель-генератора і ПТУ витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури IV має вигляд:

$$\bar{l}_{IV} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{n2}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{n2}), N_{ДГУ}^{n2}, N_{ПТУ}^{\max}, \eta_{ПТУ}(N_{ПТУ}), N_{ПТУ}^{\min}, N_{ПТУ}, N_{ВіпЕУ}^{\max}, \eta_{ВіпЕУ}(N_{ВіпЕУ}), N_{ВіпЕУ}^{\min}, N_{ВіпЕУ}, \eta_{ef IV}).$$

Розрахунок кожної структури окремо здійснюється за алгоритмом розрахунку показника ефективності [12].



$$\eta_{\text{ef}} = \frac{\int_0^{\tau_{\text{розр}}} N(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau_{\text{розр}}} \left(\frac{N_{\text{пту}}(\tau)}{\eta_{\text{пту}}(N_{\text{пту}}(\tau))} + \frac{N_{\text{дгу}}(\tau)}{\eta_{\text{дгу}}(N_{\text{дгу}}(\tau))} + \frac{N_{\text{ВіпЕУ}}(\tau)}{\eta_{\text{ВіпЕУ}}(N_{\text{ВіпЕУ}}(\tau))} + \varepsilon N(\tau) \cdot \phi \right) d\tau}$$

де ϕ – замикаючі витрати енергії, що визначаються з [12].

Алгоритм пошуку знаходиться у часовому циклі за $\tau \in [0; \tau_{\text{розр}}]$ [12].

Крок 1. Визначаємо вихідні значення всіх технологічних параметрів енергетичних установок для забезпечення вихідних умов.

Крок 2. Поточне значення системної потреби без нанесення збурення розраховується згідно з пунктом А вихідних умов. Нанесення збурення на систему в момент часу τ_i враховується зміною правила обчислення системної потреби, а саме: на інтервалі часу дії збурення поточне значення системної потреби приймається за $\int_0^{\tau_i} N(\tau) d\tau + N(\tau_{\text{розр}} - \tau_i)_{\text{max}}$.

Крок 3. Порівнюємо мінімальне значення потужності установки $N_{\text{дгу}}^{\text{min}}$ з поточним значенням системної потреби $N(\tau_i)$. Якщо значення системної потреби більше або менше, то змінюємо структуру технічних засобів, вмикаючи або вимикаючи відповідну піролізну установку згідно з пунктом В вихідних умов.

Крок 4. Порівнюємо суму поточних значень потужностей двох установок $N_{\text{дгу}}(\tau_i) + N_{\text{пту}}(\tau_i)$ із поточним значенням системної потреби $N(\tau_i)$. Якщо значення рівні, то керуючі впливи не наносяться. У випадку, якщо значення суми більше або менше, керуючі впливи зменшуються або збільшуються відповідно згідно з пунктом В вихідних умов.

Крок 5. Порівнюємо суму максимальних значень потужностей двох установок $N_{\text{дгу}}^{\text{max}} + N_{\text{пту}}^{\text{max}}$ із поточним значенням системної потреби $N(\tau_i)$. Якщо значення суми менше або більше, то змінюємо структуру технічних засобів, вмикаючи або вимикаючи відповідну віртуальну установку згідно з пунктом В вихідних умов.

Крок 6. Визначаємо розбалансування $\varepsilon N(\tau_i)$ між генеруючими установками та системною потребою згідно з пунктом Е вихідних умов (п. 4).

Крок 7. Проводимо розрахунок ефективності згідно з пунктом К вихідних умов.

Вибір найкращої структури відповідає максимальному значенню коефіцієнта ефективності $\eta_{\text{max}}\{\eta_{\text{ef I}}; \eta_{\text{ef II}}; \eta_{\text{ef III}}; \eta_{\text{ef IV}}\}_{\text{ef max}}$.

Результати пошуку найкращої структури енергетичної установки.

На рис. 8 показано залежності зміни показника енергетичної ефективності η_{ef} для різних видів графіків системної потреби, залежно від часу. У наведених залежностях можна виділити дві групи змін η_{ef} : перші, стрибкоподібні, ілюструють зміну структури енергетичної установки в якийсь момент часу τ і призводять до локального підвищення η_{ef} ; другі, монотонні, пояснюються не зміною структурою, а зміною регульованого параметру. Основний висновок, який можна зробити: розглянутий метод дозволяє управляти не лише структурою енергетичних установок, які є складовими біотенкової, але й керувати технологічними параметрами. Крім того, аналіз змін η_{ef} від τ для



різних видів зміни системної потреби показав, що в кривих спостерігається трансформована подібність знайдених рішень з управління структурою. Зсув трансформованої подібності до початку або до кінця відліку пов'язаний із поточною максимальною потребою системи. Варто зазначити, що зменшення показників η_{ef} до початку або до кінця відліку τ пов'язане з малою або великою системною потребою цієї моделі. На початку відліку в біоенергетичній установці генерує електроенергію тільки одна з установок структури, але зі зменшеним власним ККД через те, що максимальна потужність цієї установки перевищує системну потребу, в кінці всі установки працюють на максимальній потужності. Проте, усе одно виявляється нестача потужності. Вона компенсується замикаючими енергетичними витратами. Ця сама нестача потужності характерна у разі нанесення збурення.

Для вивчення виявленої обставини зі структурою IV для лінійної системної потреби були проведені обчислювальні експерименти, пов'язані з нанесенням стрибкоподібних збурень потужністю. Збурення наносилися двома різними значеннями 10 МВт (з істотно великим значенням ніж системна потреб 7 МВт (зі значенням, рівним максимальному значенню системної потреби) на часовому інтервалі $[\tau_{зб}; 28800]$ (с) за значень $\tau_{зб} \in \{18; 5400; 12600; 19800; 27000\}$ [11].

Такі установки можуть забезпечувати баланс між виробництвом і споживанням електричної енергії. Цільова функція об'єднує в собі ефективність кожної установки або її складових і загальну системну потребу, або завдання на виробництво. Це уможливило приведення різних варіантів до рівного ефекту. Використання замикаючих витрат енергії дало змогу звести задачу до одного аргументу (часу) і знаходити значення функції за будь-яких зовнішніх збурень.

Отже, вирішені всі задачі наукового дослідження, запропоновано методи, які дають змогу вирішити виявлене науково-технічне протиріччя. Тому мети роботи досягнуто, а саме: вдосконалено методи і моделі комп'ютерно-інтегрованої системи керування біотенковою енергетичною установкою, яка використовує відновлювальні джерела енергії для підтримки балансу енергетичної системи за рахунок пошуку найкращої структури її складових частин. Це уможливило переміщення такої установки в клас регульованих із підвищенням її енергетичної ефективності.

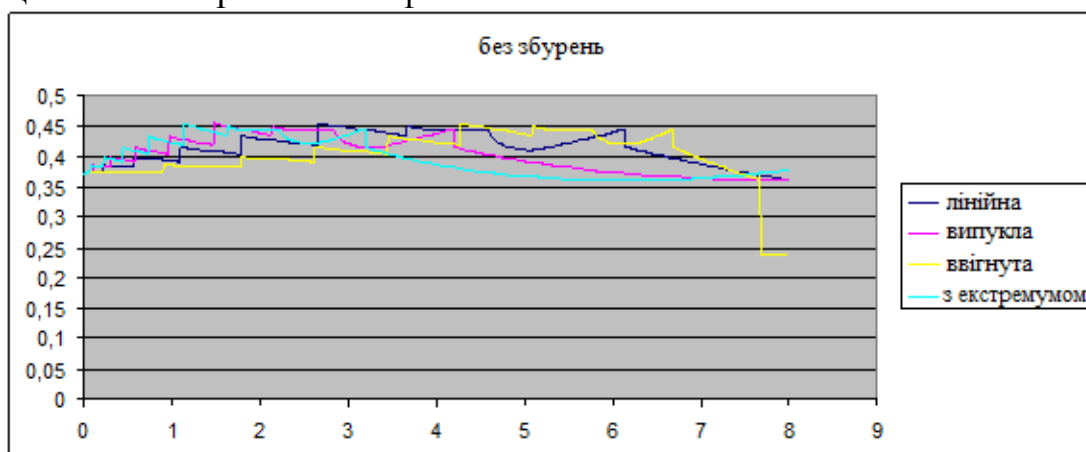


Рисунок 8 – Залежності зміни показника енергетичної ефективності η_{ef}



Заключення та висновки

1. Запропоновано критерій ефективності експлуатації енергетичної установки в енергосистемі. В основу критерію покладені властивості граничності і можливості додавання різних видів енергії, а також враховано системність і збалансованість розглянутих варіантів. Критерій був покладений в основу постановки задачі оптимізації вироблення продукції на енергетичній установці.

2. Розроблено метод аналізу, який визначає придатність енергетичних установок різних видів залежно від їхніх динамічних характеристик для можливості компенсації збурень в енергетичній системі. Розроблено метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки через визначення цільової функції оптимізації і знаходження структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

Література:

1. Unstable Green Power Grids. German ARD Television By P Gosselin: веб-сайт. URL: <https://notrickszone.com/2018/01/26/unstable-green-power-grids-german-ard-television-tells-citizens-to-start-getting-used-to-blackouts/#sthash.dpbs>

2. Biogas plants in Denmark. Gas Vitae: веб-сайт. URL: <https://gasvitae.com/wp-content/uploads/2017/11/Business-Prospect-Biogas-Plants-in-Denmark-by-Gas-Vitae-Nov-2017.pdf>

3. Hong-jie Song, Wei Zhang, Ya-qi Li, Zheng-wei Yang, An-bo Ming. Exergy analysis and parameter optimization of heat pipe receiver with integrated latent heat thermal energy storage for space station in charging process. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 119. p.304-311.

4. Ravinder Kumar. A critical review on energy, exergy, exergoeconomic and economic (4-E) analysis of thermal power plants. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2017. Vol. 20. p.283–292.

5. Melikoglua M. The role of renewables and nuclear energy in Turkey's Vision 2023 energy targets: Economic and technical scrutiny. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 62. p.1-12.

6. Верхивкер Г.П. О термодинамическом сопоставлении и анализе схем энерготехнологических установок. Известия вузов. Сер.: Энергетика. 1986. №11. С. 90-93.

7. Caputo A., Pelagagge P., SaliniJoint P. Economic optimization of heat exchanger design and maintenance policy. Applied Thermal Engineering. 2011.Vol.31. p.1381-1392.

8. Strzalka R, Erhart T., Eicker U., Strzalka R. Analysis and optimization of a cogeneration system based on biomass combustion. Applied Thermal Engineering. 2013.Vol.50. p.1418-1426.

9. Quijera J., Alriols M., Labidi J. Integration of a solar thermal system in canned fish factory. Applied Thermal Engineering. 2014. Vol.70. p.1062-1072

10. Maksimov M., Davydov V., Krusir G., Maksimova O. Increasing of process



efficiency of biogas plants production processing. Праці Одеського політехнічного університету. 2017. Iss. 3. P. 43–53.

11. Maksymov M.M., Beglov K.V., Maksymova O. B., Maksymov O. M. The method of finding the most natural structure of a biotank power plant. Праці Одеського політехнічного університету. 2020. Iss. 1(60). P. 82–95.

12. Maksymova O., Maksymov M., Silina V., Orischenko A. Development of the method of determining the target function of optimization of power plant. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2017. Volume 9, Issue 2. С. 28–35.

Abstract. *A method of finding the best structure of a biotank power plant through the determination of the objective function of optimization and finding structural combinations of a power plant using renewable energy sources that have the property of regulation, depending on external disturbances in order to maintain the balance of the power system, is proposed. An analysis method has been developed that determines the suitability of power plants of various types for the possibility of compensating disturbances in the power system.*

A criterion for the efficiency of operation of a power plant in the power system is proposed. The criterion is based on the properties of limitability and the possibility of adding different types of energy, as well as the systematicity and balance of the considered options.

Key words: *optimization objective function, criterion, analysis method, energy system balance, renewable energy sources.*



УДК 004.2

KEY CHALLENGES IN THE FIELD OF PROCESS CONTROL WHEN USING RENEWABLE ENERGY SOURCES**КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ В ГАЛУЗІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ****Davydov V.O. / Давидов В.О.***c.t.s., ass. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-3099-7596

Bielov V.O. / Бєлов В.О.*postgraduate student / аспірант*

ORCID: 0009-0001-5524-3830

*National University of Odesa Polytechnic, Odessa, Shevchenko Avenue, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, пр-т Шевченка, 1, 65044*

Анотація. У цій роботі досліджено та розглянуто ключові проблеми в галузі управління процесами під час використання поновлюваних джерел енергії. Досліджено проблеми, такі як невизначеність у виробництві енергії, інтеграція різних джерел, ефективне управління зберіганням енергії, а також створення адаптивних систем управління для енергомереж. У роботі підкреслено важливість багатодисциплінарного підходу до розв'язання цих проблем, а також необхідність врахування специфіки кожної з розглянутих галузей для створення ефективних і стійких систем управління. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень і розробок у галузі використання поновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: поновлювані джерела енергії, управління процесами, зберігання енергії, оптимізація ефективності.

Вступ. У сучасному світі питання стійкості та ефективного управління енергетичними процесами, особливо при використанні поновлюваних джерел енергії (ВДЕ), стають дедалі актуальнішими. Це дослідження фокусувалося на виявленні та аналізі ключових проблем у сфері управління процесами, пов'язаними з використанням енергії від сонячних батарей, вітряних турбін та інших поновлюваних ресурсів.

У галузі енергопостачання при наданні базових послуг існують втрати на кожному етапі циклу - від вивільнення енергії до її кінцевого використання. Кожна фаза, включно з етапами трансформації, транспортування та передачі енергії, надає можливості для підвищення ефективності всієї енергетичної системи. Незалежно від того, чи є первинним джерелом енергії поновлюване, чи ні, існує взаємозв'язок між використанням поновлюваних джерел енергії та поліпшенням ефективності енергоспоживання. Цей феномен являє собою позитивне явище, що підкреслює важливість взаємодії між різними етапами циклу енергопостачання для створення більш ефективної та стійкої енергетичної системи [1].

В умовах швидкого розвитку технологій і постійно зростаючої залежності від ВДЕ, стає зрозумілим, що розв'язання проблем у сфері управління процесами при використанні ВДЕ відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільності енергопостачання. Для глибшого розуміння та ефективних рішень необхідно виокремити та уважно проаналізувати наявні проблеми, провести детальний аналіз та визначити перспективні напрямки для подальших досліджень.



Одна з головних проблем полягає в невизначеності та мінливості ВДЕ. Уявімо, що ми стикаємося із завданням інтеграції різнорідних джерел енергії в одну загальну енергосистему. Це включає в себе завдання ефективної узгодженості роботи сонячних батарей, вітряних турбін, гідроелектростанцій та інших поновлюваних ресурсів для забезпечення стабільного енергопостачання [2].

Основний текст. Створення єдиних енергосистем вносить як значні технічні, так і економічні переваги, але супроводжується низкою технічних викликів. Один з основних негативних аспектів стосується аварійних ситуацій, де стрибки навантаження або коротке замикання можуть впливати на всю енергосистему. Для локалізації таких аварій застосовується аварійне частотне розвантаження (АЧР), що включає відключення частини споживачів.

Створення єдиних енергосистем призвело до нових аспектів у розвитку аварій в умовах дефіциту генерації. Аварійний дефіцит генерації викликає різкі зміни обмінних потужностей і порушення стійкості паралельної роботи, ведучи до каскадних аварій, які ще більше руйнують баланс активної потужності.

Навіть в окремих енергосистемах автоматика АЧР часто налаштовується неоптимально через відсутність досліджень динаміки зниження і відновлення частоти під час дії АЧР. Стабільний режим енергосистеми характеризується балансом потужностей за нормальної частоти 50 Гц. Різниця в генерації та навантаженні призводить до змін частоти - зменшення, якщо генерація менша, і збільшення, якщо більша. Важливо дотримуватися межі допустимого аварійного відхилення частоти в енергосистемі від 45 до 48,5 Гц.

У цьому контексті, одним з основних завдань є розробка механізмів, які дозволять системі управління ефективно координувати роботу різних джерел. Адже кожне з них має свої унікальні характеристики та залежить від різних чинників, таких як час доби, погодні умови та сезонні зміни.

Тут, вчені та інженери стикаються із завданням створення універсальних алгоритмів управління, які можуть адаптуватися до різних джерел енергії. Це включає в себе використання сучасних методів машинного навчання для розробки алгоритмів, здатних динамічно реагувати на зміни у виробництві енергії.

Крім того, істотним аспектом є створення систем управління, які здатні балансувати навантаження і розподіляти енергію між різними джерелами в режимі реального часу. Це вимагає використання сучасних технологій зв'язку та передачі даних для забезпечення швидкого та ефективного зв'язку між усіма компонентами системи.

І тут ми спостерігаємо парадокс. Ми розширюємо енергомережі за рахунок ВДЕ задля зменшення впливу різноманітних шкідливих і неекологічних факторів теплових електростанцій. Але при цьому здійснюємо балансування енергосистем в основному саме за рахунок теплових станцій.

Цей парадокс можна розглянути з точки зору поточних технологічних та інфраструктурних обмежень у сфері енергетики. Впровадження ВДЕ в енергосистеми є стратегічним кроком для зниження шкідливого екологічного впливу, пов'язаного з використанням традиційних теплових станцій, що



працюють на основі викопних палив.

Однак, енергосистеми вимагають стабільності та безперервності, що ВДЕ не здатні забезпечувати через змінну природу цих джерел. Для балансування виробництва і споживання енергії в умовах мінливості ВДЕ, теплові станції, що працюють на базі викопних палив, часто використовуються як резервні джерела.

Таким чином, виникає парадокс: хоча впровадження ВДЕ має на меті знизити екологічну шкоду, створювану традиційними тепловими станціями, для забезпечення безперервності енергосистеми вони все одно використовуються. Це пов'язано з необхідністю забезпечення стійкості та надійності енергопостачання, особливо в перехідний період, коли ВДЕ ще не можуть повністю замінити традиційні джерела енергії.

Однак, з розвитком технологій зберігання енергії та покращенням методів управління енергомережами, можливо в майбутньому мінімізувати залежність від традиційних теплових станцій і створити більш стійкі та екологічно чисті енергетичні системи. Цей парадокс підкреслює необхідність інтеграції інноваційних рішень для досягнення стійкого балансу між енергетичною продуктивністю та навколишнім середовищем.

Проектування гнучких систем, здатних легко інтегрувати нові джерела енергії, також стає важливим завданням. Це дасть змогу системі масштабуватися й адаптуватися до появи нових технологій, що є ключовим аспектом в умовах сектору ВДЕ, який постійно розвивається.

Наступна проблема управління процесами при використанні ВДЕ пов'язана з інтеграцією різнорідних джерел. Насамперед кожне джерело енергії має свій час виходу на номінальний режим. Дизель генераторам потрібно кілька секунд. Турбінам гідроелектростанцій - 15-30 с. Тепловим станціям може знадобитися кілька годин. Робота ВДЕ залежить від поточних природних умов. Додайте можливість роботи окремих теплових станцій у гарячому резерві. Акумуляторні станції. І ви отримаєте повний спектр потенційних джерел електроенергії, які можуть підхопити навантаження як миттєво, так і через 2,5-3 години [3].

Здавалося б, управління такою енергосистемою просте інженерне завдання, але на ділі воно порушує цілий комплекс проблем. Різна природа джерел енергії створює нестабільність у виробництві енергії і вимагає впровадження механізмів для балансування попиту і пропозиції. Для подолання змінності поновлюваних джерел потрібна ефективна система зберігання енергії. Однак, наразі технології зберігання ще перебувають у стадії розвитку, і їхні високі витрати можуть стати перешкодою для широкомасштабної інтеграції. Різні джерела ВДЕ ефективні в різних регіонах. Наприклад, сонячні панелі найефективніші в сонячних регіонах, тоді як вітряні турбіни працюють краще в місцях з постійним вітром. Це вимагає створення більш складних систем передачі енергії та інфраструктури. Різні типи джерел енергії вимагають різних технологій і обладнання для перетворення та інтеграції в енергомережу. Поєднання цих технологій передбачає наявність єдиних стандартів і узгоджених технічних рішень. Збільшення частки ВДЕ в енергосистемах призводить до необхідності більш складного управління мережею. Інтелектуальні системи управління і технології "розумних мереж" стають невід'ємними, щоб ефективно координувати і балансувати виробництво і



споживання енергії. Інвестиції в нові технології, інфраструктуру та зміну законодавства можуть бути дороговартісними і потребують узгодженої участі державних і приватних секторів. Наявні енергетичні системи, засновані на традиційних джерелах енергії, мають сформовані структури та інфраструктуру. Їх модернізація та адаптація до нових технологій потребує часу та ресурсів.

У цьому контексті, одним з основних завдань є розробка механізмів, які дозволять системі управління ефективно координувати роботу різних джерел. Адже кожне з них має свої унікальні характеристики та залежить від різних чинників, таких як час доби, погодні умови та сезонні зміни.

Для початку, необхідно вирішити завдання створення універсальних алгоритмів управління, які можуть адаптуватися до різних джерел енергії. Це включає в себе використання сучасних методів машинного навчання для розробки алгоритмів, здатних динамічно реагувати на зміни у виробництві енергії.

Проектування гнучких систем, здатних легко інтегрувати нові джерела енергії, також стає важливим завданням. Це дасть змогу системі масштабуватися й адаптуватися до появи нових технологій, що є ключовим аспектом в умовах сектору поновлюваних джерел енергії, який постійно розвивається.

Далі розглянемо завдання інтеграції різнорідних джерел енергії в контексті ще однієї проблеми. Припустимо, перед нами стоїть завдання ефективного управління комплексами сонячних панелей, вітряних установок та інших різнорідних джерел енергії всередині мікромережі.

В даному випадку, одним з ключових завдань стає узгодження роботи різних джерел енергії в рамках обмеженого простору мікромережі. Це включає в себе оптимізацію використання енергії в режимі реального часу, щоб мінімізувати втрати і забезпечити стабільне енергопостачання.

Тут ми стикаємося із завданням розроблення адаптивних алгоритмів управління, які можуть ефективно управляти мінливим спектром енергії від різних джерел. Використання методів штучного інтелекту та машинного навчання дає змогу створювати алгоритми, здатні адаптуватися до динаміки роботи мікромережі.

Особливо важливим є вирішення завдання балансування навантаження в умовах наявності різнорідних джерел. Це вимагає створення інтелектуальних систем управління, здатних розподіляти енергію так, щоб жодне з джерел не перевантажувалося, і загальна система працювала оптимально. Якщо ж енергії недостатньо, то такі системи управління повинні забезпечувати максимальну живучість енергосистеми в цілому [4].

Гнучкість і розширюваність системи управління також відіграють важливу роль. Необхідність інтеграції нових технологій і джерел енергії в мікромережу має на увазі створення систем, здатних легко адаптуватися до змін та інновацій у сфері поновлюваних ресурсів.

Наступна важлива проблема - управління зберіганням енергії.

З постійним збільшенням частки ВДЕ розвиток ефективних технологій зберігання стає все більш важливим. До основних можна віднести такі технології [5].



Хімічні акумулятори. Сьогодні електрохімічні акумулятори є найбільш широко використовуваною технологією зберігання енергії. Основні типи: свинцево-кислотні, залізо-нікелеві, нікель-кадмієві, літій-іонні.

Теплове акумулювання: Технології, засновані на тепловому акумулюванні, включають термальні акумулятори та теплові насоси. Вони дають змогу зберігати надлишкову енергію у вигляді тепла для подальшого використання в процесах опалення або генерації електроенергії.

Механічне акумулювання: Енергія може бути збережена в механічній формі, використовуючи технології, такі як маховики, гравітаційні системи зберігання енергії (наприклад, підйомні блоки) або системи стисненого повітря.

Хімічне зберігання: Електрохімічні технології, окрім акумуляторів, включають в себе технології, такі як паливні елементи і процеси хімічного зберігання, наприклад, конверсія електроенергії у водень.

Гідроакумулювання: Енергія може бути збережена у формі потенційної енергії води, використовуючи системи гідроакумулювання. Це включає в себе насосні та гідроелектростанції.

Суперконденсатори: Ці пристрої є альтернативою традиційним акумуляторам і здатні забезпечувати високу потужність і швидку зарядку.

Немає однозначно хороших або поганих акумуляторів. Всі вони розроблялися під вирішення конкретних завдань, і всі вони мають свої плюси і мінуси [5].

Тому для компенсації коливань у виробництві енергії насамперед необхідно розв'язати завдання ефективного управління системами зберігання.

У цьому контексті, звісно ж після розроблення відповідних технологій зберігання, одним із ключових завдань є створення алгоритмів управління, які здатні оптимально розподіляти та зберігати енергію в системах зберігання. Це включає в себе розробку алгоритмів зарядки і розрядки, що враховують поточний рівень виробництва енергії, споживання і стан акумуляторів.

Тут основне завдання полягає у створенні систем, які здатні адаптуватися до змін в умовах роботи, таких як збільшення або зменшення споживання енергії. Це може включати в себе використання алгоритмів машинного навчання для передбачення патернів споживання та оптимізації роботи систем зберігання.

Особливу увагу також приділяють оптимізації використання накопиченої енергії. Це охоплює розробку алгоритмів, які оптимально керують процесами заряджання і розряджання систем зберігання з урахуванням динаміки змін у виробництві енергії.

Також не варто забувати, що наявність технології зберігання ще не вирішує проблему. Необхідна відповідна інфраструктура. А специфіка різних технологій не дає змоги будувати акумулюючі станції в довільному місці. Це просто буде не рентабельно. Тому для максимальної ефективності такі станції виникатимуть у специфічних регіонах, тобто сама система зберігання буде розподіленою і різномірною. Тому виникає необхідність розв'язання задачі організації оптимального, з погляду безлічі критеріїв (швидкість, ціна, необхідна потужність, необхідний об'єм тощо), процесу зарядки/розрядки станцій зберігання енергії.



Ще одна важлива проблема в контексті використання поновлюваних джерел енергії - це стандартизація і розробка нормативів. Припустимо, перед нами стоїть завдання створення загальноприйнятих стандартів для систем управління процесами, що використовують поновлювані ресурси.

У цьому контексті ключовим завданням є розробка нормативів, які визначають стандарти і вимоги до систем управління. Це охоплює встановлення єдиних протоколів і технологічних стандартів для інтеграції різних джерел енергії, забезпечуючи їхню сумісність і ефективну взаємодію.

Тут ми також стикаємося із завданням створення стандартів безпеки для систем управління з використанням ВДЕ. Це охоплює визначення принципів, що забезпечують безпечну експлуатацію систем і мінімізацію ризиків, пов'язаних з їх використанням.

Крім того, стандартизація в цій галузі також має враховувати питання екологічної стійкості та енергетичної ефективності. Розроблення нормативів, які заохочують і підтримують реалізацію екологічно чистих технологій і методів, є важливим аспектом.

Заклучення та висновки.

Таким чином, розв'язання проблеми невизначеності та мінливості джерел енергії вимагає не тільки високотехнологічних методів математичного моделювання, прогнозування та оптимізації, а й розуміння конкретних характеристик системи управління і використовуваних поновлюваних ресурсів.

Вирішення завдання інтеграції різнорідних джерел енергії в адаптивні системи управління включає в себе створення розумних алгоритмів, здатних узгоджувати роботу різних ресурсів, забезпечення ефективного балансування навантаження і гнучкість для інтеграції нових технологій.

Розв'язання проблеми оптимізації ефективності вимагає розроблення гнучких, адаптивних алгоритмів управління, здатних узгоджувати й оптимізувати роботу різних ресурсів у режимі реального часу.

Вирішення проблеми управління зберіганням енергії включає в себе створення інтелектуальних алгоритмів управління, здатних ефективно використовувати і управляти енергією в системах зберігання, а також адаптуватися до змін в умовах роботи систем.

Розв'язання проблеми стандартизації та нормативів у сфері використання поновлюваних ресурсів включає в себе створення комплексних нормативів, які охоплюють аспекти безпеки, а також технологічні та екологічні аспекти, забезпечуючи уніфікацію і стійкість у використанні ВДЕ.

Литература:

1. WEC 2013. Energy Efficiency Policies – What works and What Doesn't. World Energy Council. 2013. URK:

<http://www.worldenergy.org/publications/2013/world-energy-perspective-energy-efficiency-policies-what-works-and-what-does-not/>

2. Максимов М. М. Моделирование балансировки энергосистемы при условии содержания в ней значительной доли недиспетчеризуемых источников энергии / М. М. Максимов, В. О. Давидов // Автоматизация технологических и



бизнес-процессов. 2019. Volume 11, Issue 4. P. 27–34. (Журнал включено до НМБД Index Copernicus, CrossRef (DOI), РИНЦ). Режим доступа: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1596>.

3. Ковецкий В.М., Ковецкая М.М. Оценка маневренных возможностей энергогенерирующих установок для обеспечения качества электроэнергии. Проблемы загальної енергетики. 2007. № 16 С/ 47-53. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3098/2007_16_St_8.pdf?sequence=1

4. Максимова О.Б. Управление системой теплоснабжения с изменяемой структурой технических средств / О.Б. Максимова, В.О. Давыдов, С.В. Бабич // Проблемы управления и информатики : междунар. науч.-техн. журн. – 2014. – № 3. – С. 50–60.

5. Современные проекты энергохранилищ. Alteco: веб-сайт. URL: <https://alteco.in.ua/technology/akkumulyatory-dlya-vozobnovlyaemyx-istochnikov-energii/sovremennye-proekty-energoxranilishh>

Abstract. *This article explores and discusses key issues in the field of process control in the use of renewable energy sources. Issues such as uncertainty in energy production, integration of different sources, effective management of energy storage, and the creation of adaptive control systems for power grids are investigated. The paper emphasises the importance of a multidisciplinary approach to solving these problems, as well as the need to take into account the specifics of each of the sectors under consideration to create efficient and sustainable control systems. The results obtained can serve as a basis for further research and development in the field of renewable energy sources.*

Key words: *renewable energy sources, process control, energy storage, efficiency optimisation.*



УДК 681.5

**ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CHANNELS OF THE
CONTROL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT
АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ КАНАЛІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНОГО
МОБІЛЬНОГО РОБОТА**

Ashhepkova N.S. / Ащепкова Н.С.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1870-1062

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, av. Gagarin 72, 49010**Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Дніпро, пр. Гагарина 72, 49010***Koshevoy N.D. / Кошовий М.Д.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-9465-4467

*National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, st. Chkalov 17, 61070**Національний аерокосмічний університет "ХАІ" ім. М. Жуковського,**Харків, вул. Чкалова 17, 61070*

Анотація. У статті розглянуто автономний мобільний робот з маніпулятором. Особливістю конструкції є недіагональний та нестационарний тензор інерції, що обумовлює перехресний зв'язок каналів за рахунок фізичних властивостей об'єкту керування. Об'єкт дослідження - багатозв'язна система керування автономного мобільного робота з маніпулятором. Мета дослідження – проаналізувати вплив перехресних зв'язків на точність багатозв'язної системи керування автономного мобільного робота з маніпулятором.

Ключові слова: автономний мобільний робот, маніпулятор, багатозв'язна система керування.

Вступ.

Розвиток елементної бази та програмного забезпечення є підґрунтям для ускладнення структур та алгоритмів систем керування. Впровадження систем адаптивного керування з елементами штучного інтелекту підвищує автономність мобільних робототехнічних комплексів (РТК). В роботах [1, 2] підкреслюється важливість застосування модульного принципу складання конструкцій автономних мобільних роботів (АМР). Впровадження модульного принципу обумовлює наявність різноманітних змінних елементів конструкції, рухомих відносно платформи робота [3]. Прикладом таких елементів конструкції може бути маніпулятор, щуп, бур, ківш і т.п. [4].

При переміщенні АМР змінюваної конфігурації по заданому маршруту система керування має забезпечити мінімальне відхилення центру мас платформи від заданої траєкторії. При цьому керуючі моменти направлені вздовж осей системи координат зв'язаній з платформою АМР [5]. При відносному русі елементів конструкції АМР змінюваної конфігурації його головні центральні осі інерції не спрямовані з осями системи координат зв'язаної з платформою АМР.

При дистанційній роботі в екстремальних апріорно невизначених умовах, при здійсненні технологічних операцій з крихкими або вибухонебезпечними об'єктами застосовують АМР з маніпулятором [1–3]. АМР з маніпулятором є складною механічною системою, яку можна вважати маніпулятором на рухливій



основі. Ланки маніпулятора – перенесені тіла, платформа – несуче тіло. Результати досліджень наведені в [6] доводять, що значення відцентрових моментів інерції системи при відносному русі маніпулятора сумірні значенням осевих моментів інерції системи, навіть якщо маса рухомих елементів конструкції менша, ніж 10% маси платформи. Результати математичного моделювання та аналізу динаміки АМР змінюваної конфігурації наведені в [7, 8] демонструють взаємозв'язок каналів керування обумовлений недіагональністю і нестационарністю тензору інерції.

Актуальність роботи полягає в необхідності забезпечення керованості АМР при роботі в екстремальних апріорно невизначених умовах, при здійсненні технологічних операцій з крихкими або вибухонебезпечними об'єктами.

1. Постановка задачі

Об'єктом дослідження є система керування автономного мобільного робота оснащеного антропоморфним маніпулятором з чотирма ступенями рухливості.

Схема конструкції АМР з маніпулятором наведена на рис. 1. Конструкція складається з повнопривідної 4 – колісної платформи АМР, та антропоморфного маніпулятора складеного з кільця, що обертається навколо вертикальної вісі, та стрижневих ланок – руки, з'єднаних ротаційними кінематичними парами п'ятого класу.

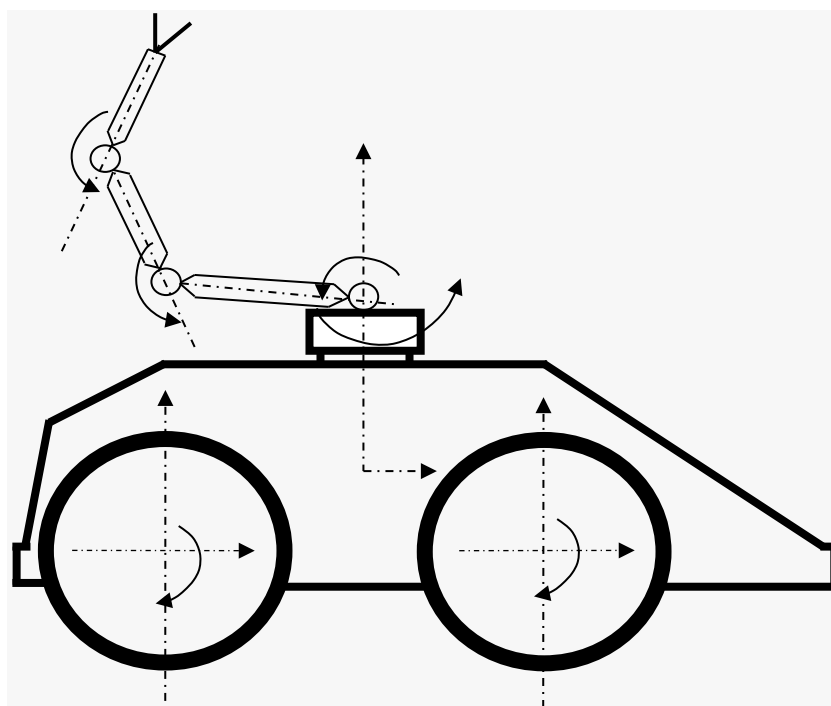


Рисунок 1 – Схема конструкції автономного мобільного робота з маніпулятором

Джерело: [7]

Цикл роботи АМР з маніпулятором можна розділити на декілька етапів:

- рух платформи АМР з точки старту S до точки фінішу F при нерухомому маніпуляторі з дотриманням вимог оптимальності (швидкодія, продуктивність або економічність, і т. п.);



- виконання технологічних операцій маніпулятором, навісним або інформаційним обладнанням при нерухомій платформі;
- повернення платформи АМР до точки старту S або рух до заздалегідь заданої кінцевої точки K при нерухомому маніпуляторі.

На першому і третьому етапі роботи АМР з маніпулятором являє собою візок з адаптивною системою керування, який рухається в наперед невизначених умовах зовнішнього середовища. Динаміку та керованість чотириколісного повнопривідного автономного мобільного робота детально досліджено у [9]. Керуючі впливи – моменти прикладені до кожного колеса обумовлюють відхилення маніпулятора від початкового положення в наслідок недіагональності тензору інерції. На другому етапі роботи АМР можна розглядати як антропоморфний маніпулятор на рухливій основі. Кількість керуючих впливів: під час переміщення траєкторією – чотири (на кожне колесо), під час роботи маніпулятора – чотири (на кожен узагальнену координату). Якщо маніпулятор виконує технологічні операції при переміщенні платформи, то система керування містить вісім каналів.

Система керування для АМР з маніпулятором на кожному етапі роботи містить щонайменше чотири канали керування з перехресним зв'язком, обумовленим фізичними властивостями об'єкту керування. Особливості динаміки та методи аналізу й синтезу таких систем керування наведено у [10].

Структурна схема багатозв'язної системи керування (БСК), показана на рис. 2. Перехресні зв'язки каналів керування зосереджені у багатовимірному об'єкті керування.

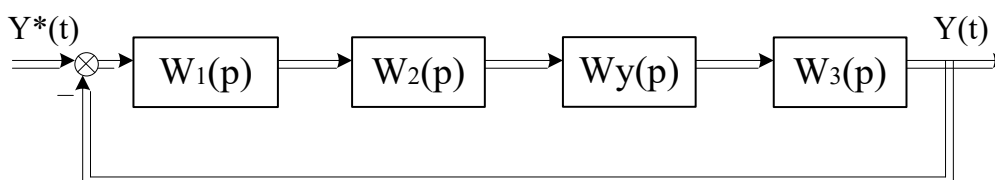


Рисунок 2 – Структурна схема багатозв'язної системи керування

Авторська розробка

Передаточні матриці (ПМ) лінійних ланок у складі чотирьохвимірної БСК мають вигляд:

$$\begin{aligned} W_1(p) &= \text{diag}\{W_{p1}(p); W_{p2}(p); W_{p3}(p); W_{p4}(p)\}; \\ W_2(p) &= \text{diag}\{W_{01}(p); W_{02}(p); W_{03}(p); W_{04}(p)\}; \\ W_3(p) &= \text{diag}\{1/p; 1/p; 1/p; 1/p\}, \end{aligned}$$

де $W_{pi}(p)$ – передаточні функції i -го сепаратного регулятора; $i = 1, \dots, 4$;

$W_{0i}(p) = \frac{K_i}{(1 + pT_{ai})(1 + pT_{bi})}$ – передаточні функції незмінної частини i -го сепаратного каналу; $W_k(p) = [E + W_x(p)]$ – ПМ компенсатора із прямими перехресними зв'язками. Тут



$$W_x(p) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & W_{x4}(p) \\ 0 & 0 & W_{x3}(p) & 0 \\ 0 & W_{x2}(p) & 0 & 0 \\ W_{x1}(p) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

а $W_{x1}(p)$, $W_{x2}(p)$, $W_{x3}(p)$ і $W_{x4}(p)$ – передаточні функції прямих (або зворотних) перехресних зв'язків у складі послідовного компенсатора, що забезпечує властивість автономності каналів регулювання;

$$W_y(p) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & W_{y4}(p) \\ 1 & 1 & W_{y3}(p) & 1 \\ 1 & W_{y2}(p) & 1 & 1 \\ W_{y1}(p) & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

де $W_{yi}(p) = \frac{K_{yi}}{1 + pT_{yi}}$ – передаточні функції перехресних зв'язків в об'єкті

керування.

Для визначеності, як приклад, розглянемо БСК з початковими даними наведеними у табл.1.

Таблиця 1 - Коефіцієнти передаточних функцій

Номер каналу	Коефіцієнти незмінної частини i -го сепаратного каналу			Коефіцієнти перехресних зв'язків i -го сепаратного каналу	
	K_i, c^{-1}	T_{ai}, c	T_{bi}, c	K_{yi}, c^{-1}	T_{yi}, c
1	125	0,07	0,01	-15	0,028
2	135	0,11	0,009	10	0,0135
3	110	0,06	0,035	-12	0,024
4	120	0,15	0,032	10	0,048

Авторська розробка

Усі розрахунки проведемо з застосуванням пакету прикладних програм Mathcad.

Мета дослідження – проаналізувати вплив перехресних зв'язків на БСК автономного мобільного робота з маніпулятором. Для досягнення цієї мети потрібно для кожної пари сигналів «вхід - вихід» розглянути наступні режими функціонування БСК:

- сталий режим,
- динамічний режим.

2. Результати досліджень та обговорення

2.1 Вплив перехресних зв'язків на точність багатозв'язної системи керування у сталому режимі.

Запишемо передавальну матрицю розімкнутої системи (рис. 2)

$$W(p) = W_3(p)W_y(p)W_2(p)W_1(p). \quad (1)$$

Вираз для одержання характеристичного рівняння

$$\det [E + W(p)] = 0, \quad (2)$$



де $[E+W(p)]$ – матриця обернених різниць. Її визначник являє собою дробово-раціональну функцію $H(p)$, у чисельнику якої – характеристичний поліном $\varphi_3(p)$ для замкнутої БСК, а в знаменнику – характеристичний поліном $\varphi_p(p)$ для розімкнутої БСК

$$H(p) = \varphi_3(p)/\varphi_p(p). \quad (3)$$

Запишемо передавальну матрицю замкнутої системи (рис. 2)

$$\Phi(p) = [E + W(p)]^{-1} \cdot W(p),$$

де $W(p)$ – передавальна матриця розімкнутої системи (1).

Розглянута система має чотири входи й чотири виходи, таким чином, передавальна матриця замкнутої системи матиме вигляд

$$\Phi(p) = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(p) & \Phi_{12}(p) & \Phi_{13}(p) & \Phi_{14}(p) \\ \Phi_{21}(p) & \Phi_{22}(p) & \Phi_{23}(p) & \Phi_{24}(p) \\ \Phi_{31}(p) & \Phi_{32}(p) & \Phi_{33}(p) & \Phi_{34}(p) \\ \Phi_{41}(p) & \Phi_{42}(p) & \Phi_{43}(p) & \Phi_{44}(p) \end{bmatrix}; \quad (4)$$

Передавальна матриця замкнутої системи, що відповідає парі «вх. 1 – вих. 1», – $\Phi_{11}(p)$, парі «вх. 1 – вих. 2» – $\Phi_{21}(p)$, парі «вх. 1 – вих. 3» – $\Phi_{31}(p)$, парі «вх. 1 – вих. 4» – $\Phi_{41}(p)$. За допомогою програмного пакета MathCAD побудуємо амплітудо-частотні характеристики (АЧХ) замкнутої БСК відносно пар «вх. 1 – вих. 1» і «вх. 1 – вих. 2»: $N_{11}(w) = |\Phi_{11}(jw)|$, $N_{21}(w) = |\Phi_{21}(jw)|$ (рис. 3).

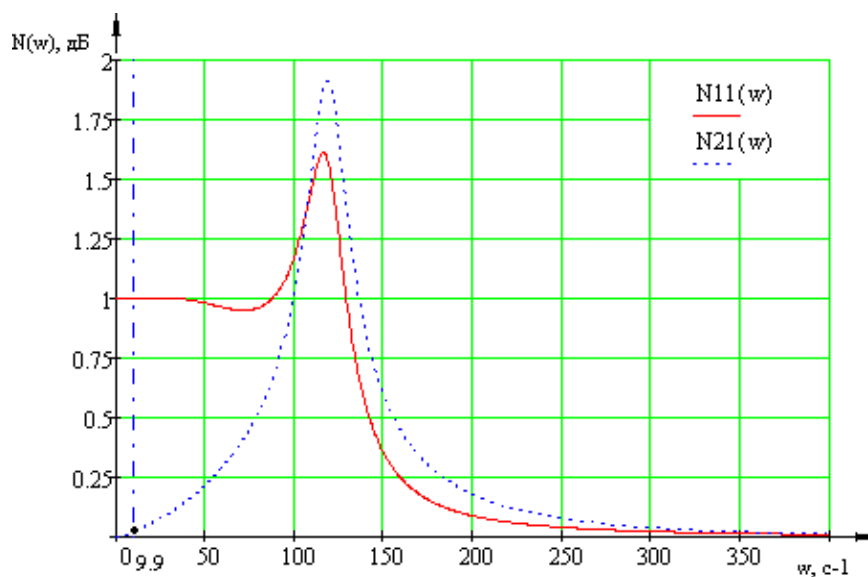


Рисунок 3 – Амплітудо-частотні характеристики замкнутої багатозв'язної системи керування

Авторська розробка

За точність БСК у сталому режимі відповідає низькочастотна ділянка АЧХ, за якою можна визначити амплітудно-фазові викривлення. Для прикладу визначимо ординати побудованих характеристик на частоті $\omega_1 = 9,9 \text{ c}^{-1}$; $N_{11}(9,9) = 1,001$; $N_{21}(9,9) = 0,023$ (рис. 3)

Порівняємо АЧХ першого сепаратного каналу $N_1(w)$ й АЧХ вихідної системи щодо пари «вх. 1- вих. 1» $N_{11}(w)$, для цього подамо їх на одному графіку (рис. 4).



Якщо припустити, що сталий режим існує, то, судячи з низькочастотного діапазону АЧХ, результатом впливу перехресних зв'язків є зменшення амплітудних викривлень на розглянутій частоті $\omega_1 = 9,9 \text{ c}^{-1}$. За графіком АЧХ можна визначити критичну частоту за якою перехресний зв'язок каналів збільшує амплітудні викривлення (для рис.4 $\omega_{кр} = 62,5 \text{ c}^{-1}$).

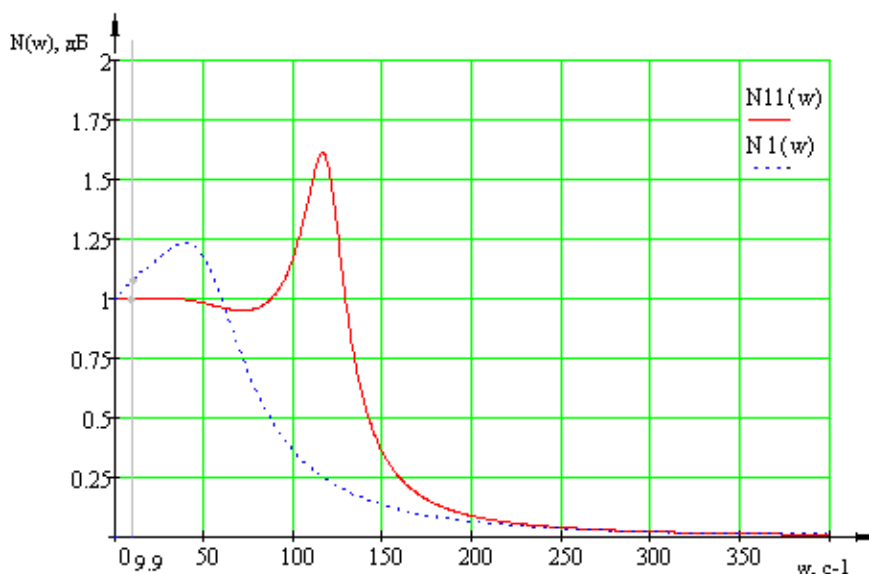


Рисунок 4 – Порівняння амплітудо-частотних характеристик

Авторська розробка

Наявність перехресного зв'язку обумовлена недіагональністю тензора інерції АМР з маніпулятором, тобто фізичними властивостями об'єкту керування. Це обумовлює марність сподівань на ефективність впровадження корегуючих пристроїв для лінеаризації системи керування. Оскільки тензор інерції об'єкту керування нестационарний, то для кожної пари сигналів «вхід - вихід» значення критичної частоти $\omega_{кр}$ є нелінійною функцією часу.

2.2. Вплив перехресних зв'язків на точність багатозв'язної системи керування у динамічному режимі.

Для дослідження динамічного режиму БСК проаналізуємо перехідні характеристики, тобто реакцію системи керування на вплив $1(t)$. Для прикладу, розглянемо графіки перехідних функцій відносно пар «вх. 1 – вих. 1», «вх. 1 – вих. 2» ($h_{11}(t)$ та $h_{21}(t)$ – відповідно) побудовані у програмному пакеті MathCAD (рис. 5).

На графіках перехідних функцій $h_{11}(t)$ та $h_{21}(t)$ (рис.5) можна бачити, що амплітуда нелінійно збільшується зі зростанням часу. Таким чином, вихідна двовимірна система «вх. 1 – вих. 1», «вх. 1 – вих. 2» – нестійка.

Для остаточного висновку стосовно стійкості БСК у динамічному режимі потрібно провести додаткове дослідження за кожним каналом керування. Однак, за результатами наведеного прикладу, можна зробити висновок, що перехресні зв'язки, введені в об'єкт керування, погіршують динамічні властивості багатозв'язної системи керування.

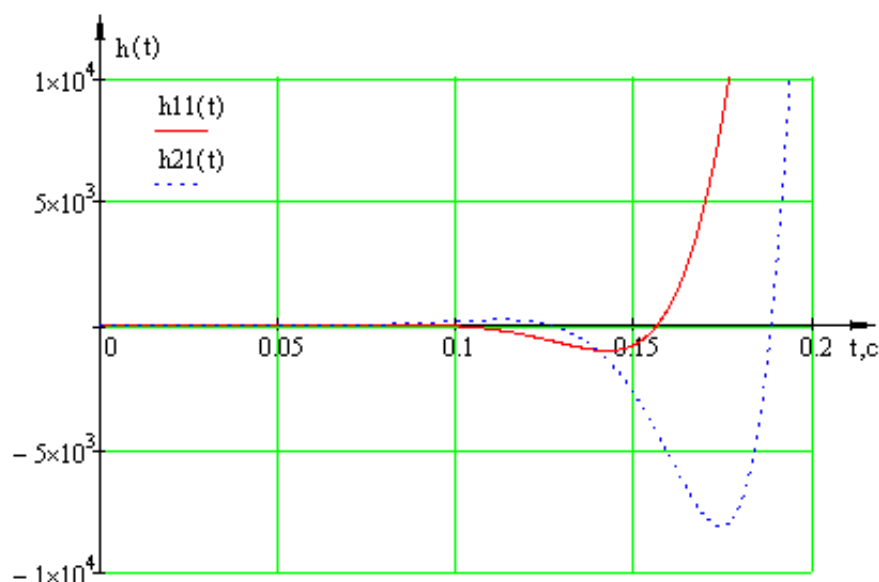


Рисунок 5 – Графіки перехідних функцій

Авторська розробка

Висновки Були розглянуті особливості системи керування автономного мобільного робота з маніпулятором. У роботі представлено результати дослідження взаємозв'язку каналів багатозв'язної системи керування. Наявність перехресного зв'язку обумовлена недіагональністю тензора інерції автономного мобільного робота з маніпулятором, тобто фізичними властивостями об'єкту керування. Запровадження корегуючих пристроїв для лінеаризації такої системи керування не ефективне.

Були отримані якісні та кількісні оцінки для розглянутого прикладу початкових умов. Аналіз проведено за амплітудно-частотними та перехідними характеристики. Математичне моделювання багатозв'язної системи керування здійснено з використанням пакету прикладних програм MathCad. Оскільки тензор інерції об'єкту керування нестационарний, то для кожної пари сигналів «вхід - вихід» значення критичної частоти $\omega_{кр}$ є нелінійною функцією часу.

Подальші дослідження і синтез багатозв'язної системи керування мобільного робота з маніпулятором дозволить підвищити його живучість і ефективність за умов автономної роботи.

Оскільки мобільний робот з маніпулятором є прикладом класу об'єктів «автономний мобільний робот змінюваної конфігурації», то отримані результати можна застосовувати до всіх об'єктів цього класу.

Література.

1. Лапота, А.В., Спасский, Б.А. (2020). Мобильные наземные робототехнические комплексы профессионального назначения. Робототехника и техническая кибернетика, № 8(1). – С. 5 – 17. doi: 10.31776/RTCJ.8101
2. Цариченко, С.Г., Антохин, Е.А., Чернова, П.Д. и Дементей, В.П. (2020). Состояние и проблемы стандартизации и унификации наземных робототехнических комплексов военного назначения. Робототехника и техническая кибернетика, № 8 (1) . – С. 18–23. doi: 10.31776/RTCJ.8102.



3. Ермолов, И.Л., Хрипунов, С.П., Благодарящев, И.В. и Хрипунов, С.С. (2017). Типовая структурно-функциональная схема робототехнических комплексов военного назначения. Информационно-измерительные и управляющие системы, № 15 (6). –С. 4-9. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29712433>
4. Kurfess, T.R. (2018). Robotics and Automation Handbook; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; ISBN 978-1-4200-3973-3.
5. Barrett, L. (2020). Handbook of Robotics; Willford Press: Forest Hills, NY, USA; ISBN 978-1-68285-776-2.
6. Ashhepkova, N.S. (2022). Analysis of inertia tensor of autonomous mobile robot. Technology Audit and Production Reserves. – Kharkiv. – February, 2022. – Vol.63. № 1-2. – P. 24 – 34. doi: 10.30890/2567-5273/2021-15-02-066
7. Ashhepkova, N.S. (2023). Construction of a mathematical model of the dynamics of an autonomous mobile robot of variable configuration. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, – Kharkiv. – December, 2022. –Vol. 6 №7 (120). – P. 30 – 44. doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269840
8. Zbrutsky, A., Koshevoy, N and Ashhepkova, N. Analysis of the Dynamics and Controllability of Autonomous Mobile Robot with a Manipulator/ In “Recent Developments in Automatic Control System”. – River Publishers, 2022 – P. 121 – 144. ISBN 9788770226745
9. Мартынов Ю. Г. Управление движением мобильных колесных роботов/ Ю. Г. Мартынов // Фундамент. и прикл. матем., – Москва „МГУ”. – Т.11., Вип.8. – 2005. – С.29–80.
10. Зырянов Г. В. Системы управления многосвязными объектами: учеб. пособие / Г. В. Зырянов // – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 112 с.

Abstract. The article deals with an autonomous mobile robot with a manipulator. A feature of the design is the non-diagonality and non-stationarity of the inertia tensor, which causes the cross-connection of the channels due to the physical properties of the control object. The introduction of corrective devices for the linearization of such a control system is not effective.

The object of research is a multi-link control system of an autonomous mobile robot with a manipulator. The purpose of the study is to analyze the influence of cross-connections on the accuracy of a multi-link control system of an autonomous mobile robot with a manipulator.

The analysis was carried out according to the amplitude-frequency and transient characteristics. Mathematical modeling of the multi-link control system was carried out using the MathCad application program package. Qualitative and quantitative assessments were obtained for the considered example of a multi-link control system. Since the inertia tensor of the control object is non-stationary, for each pair of "input - output" signals, the value of the critical frequency ω_{cr} is a nonlinear function of time.

Keywords: autonomous mobile robot, manipulator, multi-link control system.

Стаття підготовлена в рамках роботи за д/б темами:
№ 0122 U 001326 «Науково-методичне забезпечення прикладних досліджень в механіці механотронних систем», 2022-2024 р.р.
№ 0121 U 108950 «Розробка вимірювальних перетворювачів з цифровим виходом», 2021-2023 р.р.

Стаття відправлена: 20.11.2023 г.

© Ащепкова Н.С., Кошовий М.Д.



УДК 64:613.2-641

**FEATURES OF PRODUCT SUPPLIER SELECTION STAGES
FOR CATERING FOR SCHOOLCHILDREN
ОСОБЛИВОСТІ ЕТАПІВ ВИБОРУ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ПРОДУКТІВ ДЛЯ
ОРГАНІЗАЦІЇ ХАРЧУВАННЯ ШКОЛЯРІВ**

Tiurikova I.S. / Тюрікова І.С.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-7091-0884

Yaroshenko T.M. / Ярошенко Т.М.*magistr / магістр**Poltava University of Economics and Trade,**Ukraine, Poltava, 3 Kovalya St., 36001**Полтавський університет економіки і торгівлі**Україна, Полтава, вул. Ковалю, 3, 36001*

Анотація. В роботі розглянуто зовнішні фактори, що впливають на процес вибору постачальників продуктів для організації харчування школярів. Розроблено блок-схему процесу планування закупівель, вибору та затвердження постачальників за результатами досліджень на діючому підприємстві. Проведено порівняльний аналіз і обґрунтовано підхід та етапи вибору постачальників для підприємств, що здійснюють організацію харчування школярів та закладів ресторанного господарства.

Ключові слова: вибір постачальників, харчові продукти, організація харчування школярів, заклад ресторанного господарства, етапи вибору постачальників

Вступ.

Здоров'я нації визначається насамперед станом здоров'я її дітей та підлітків. Дані численних досліджень показують, що джерело виникнення відмінностей у здоров'ї дорослих треба шукати в їхньому дитинстві [1]. Від стану здоров'я підростаючого покоління залежить розвиток суспільства у майбутньому. Дані ВООЗ свідчать, що здоров'я людини на 70% залежить від харчування [2].

Протягом тривалого часу основним соціально детермінуючим фактором життєдіяльності дітей виступають заклади освіти. У вітчизняній та зарубіжній літературі зазначається, що незамінним та практично єдиним (після сім'ї) закладом, що спроможний впливати на стан здоров'я підлітків, є освітній заклад [3]. Організація дитячого харчування – це важливий та відповідальний напрямок діяльності сфери HoReCa, адже саме харчування відіграє важливу роль у повноцінному розвитку і зростанні малечі [4].

Виробники продуктів харчування постійно знаходяться в умовах конкурентної боротьби за отримання максимального прибутку. Нажаль, до можливих шляхів отримання прибутку належать: зниження собівартості товарів шляхом погіршення їх якості, введення в оману споживачів, продаж недоброякісних товарів чи виготовлення фальсифікатів. Потрапляння таких товарів до харчоблоків повністю унеможлиблює забезпечення права дітей на здорове та безпечне харчування [5].

Підприємці, що забезпечують харчування дітей в закладах освіти, несуть колосальну відповідальність – не допустити небезпечні продукти до споживання дітьми. Тож, якість та безпечність харчових продуктів, які надходять до



харчоблоків, мають бути на високому рівні, а підхід до вибору постачальників – критичним [6].

Основний текст.

Мета дослідження - проведення аналізу особливостей вибору постачальників продуктів для організації харчування дітей в закладах загальної середньої освіти порівняно із закладами ресторанного господарства.

Для виконання поставленої мети необхідно: вивчити зовнішні фактори, що впливають на процес вибору постачальників; розробити блок-схему процесу планування закупівель, вибору та затвердження постачальників за результатами досліджень на діючому підприємстві; провести аналіз підходу щодо вибору постачальників різними операторами ринку; порівняти етапи вибору постачальників для підприємств, що здійснюють організацію харчування школярів та закладів ресторанного господарства.

Підприємства з виробництва харчових продуктів, що співпрацюють із закладами освіти, повинні будувати свою діяльність у чітких законодавчих і нормативних рамках:

- *норми харчування* – встановлені Постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2021 р. № 305 «Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку» – регламентують перелік дозволених до використання продуктів харчування, нормують їх кількість та кратність споживання впродовж дня [7];
- *порядок надання послуг з організації харчування* – регламентується Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 25.09.2020 № 2205 «Про затвердження Санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти» – встановлює загальні вимоги до організації харчування дітей в закладах освіти, вимоги до харчових продуктів, призначених для продажу учням в буфетах та у торговельних апаратах, а також перелік харчових продуктів, які заборонено реалізовувати у шкільних буфетах та торговельних апаратах, розміщених в закладах освіти [8];
- *торгівельні надбавки* – встановлюються розпорядженнями голів обласних державних адміністрацій та, як правило, не перевищують 50% відпускної ціни постачальників;
- *ціна обіду* – встановлюється органами місцевого самоврядування, зокрема, рішенням виконавчих комітетів, та фігурує в тендерних процедурах закладів освіти, що унеможливорює її перевищення.

Зазначені зовнішні фактори значною мірою впливають на діяльність підприємства харчування в цілому та ускладнюють процес вибору постачальників зокрема.

На основі результатів досліджень, які проведено на Комунальному підприємстві шкільного харчування «Мрія» Охтирської міської ради Сумської області, розроблено блок-схему процесу планування закупівель, вибору та затвердження постачальників (рисунки 1).

Відповідно до розробленої блок-схеми за першим і другим етапом здійснюється стратегічний аналіз діяльності підприємства, прогнозується очікуваний фінансовий результат від господарської діяльності, створюються плани



досягнення цілей та формується фінансовий план на рік (рисунок 1).

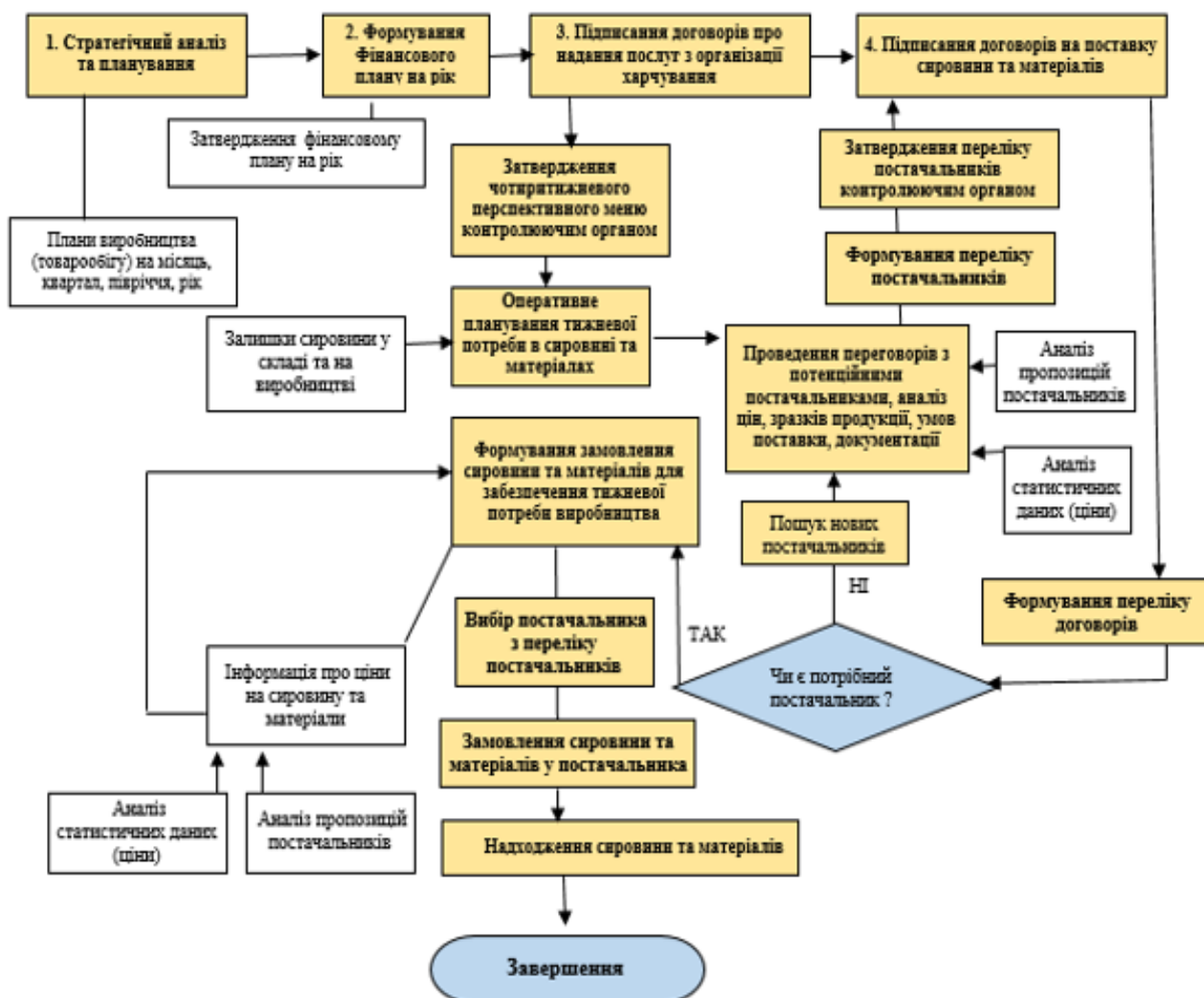


Рисунок 1 – Блок-схема процесу планування закупівель, вибору та затвердження постачальників

Авторська розробка

Третій етап передбачає укладання договорів про надання послуг з організації харчування, якому передують тривалий процес участі підприємства в тендерних процедурах. Серед переліку документів, що подаються в тендерній пропозиції є перспективне сезонне чотиритижневе меню, яке розроблене відповідно до вимог законодавства України та погоджене міським/районним Управлінням Головного Управління Держпродспоживслужби. Здійснюючи аналіз тендерних пропозицій замовників на підставі затвердженого меню розраховується орієнтовна потреба в продуктах харчування та інших товарах для якісного виконання зобов'язань, вразі перемоги в торгах.

Саме в цей період реалізується активний пошук постачальників сировини та укладаються угоди про співпрацю. Проте, процес підписання договорів (четвертий етап) має значно ускладнений характер.

Проведено аналіз щодо підходів до вибору постачальників операторами ринку, що забезпечують харчування школярів освітніх закладів у порівнянні із закладами ресторанного господарства (таблиця).



Таблиця – Аналіз підходів до вибору постачальників харчових продуктів для операторів ринку

Критерії вибору постачальників	Оператори ринку	
	Заклади ресторанного господарства	Підприємства, що забезпечують організацію харчування школярів
Діяльність постачальника	Обов'язкова реєстрація підприємства відповідно до вимог законодавства України	Обов'язкова реєстрація підприємства відповідно до вимог законодавства України. Додатковою вимогою є обов'язкова реєстрація постачальника в Державному реєстрі потужностей операторів ринку та підтвердження можливості виконання зобов'язань (копія подібного договору, відгук контрагента, тощо).
Асортимент товарів	Наявність необхідних товарів у прайс-листі. Можуть легко замінюватися на подібні. Незначна різниця складу продукту не є критичною.	Наявність необхідних товарів у прайс-листі. Незначна різниця складу продукту є критичною через законодавчі обмеження використання таких продуктів як сіль, цукор, спеції, тощо. Заміна аналогічними продуктами не завжди можлива.
Ціна товарів	Підприємство самостійно визначається з прийнятним рівнем цін.	Підприємство орієнтується на середньостатистичний рівень цін, що діє в області, відповідно до сайту Державної служби статистики України [9]
Фінансові умови	Цікавить форма розрахунків: – 100 % передоплата; – часткова передоплата; – відтермінування платежів; Перевага віддається постачальникам з максимально можливим відтермінуванням платежів.	Цікавить форма розрахунків: – 100 % передоплата; – часткова передоплата; – відтермінування платежів; Перевага віддається постачальникам з максимально можливим відтермінуванням платежів.
Графік поставки товарів	Підприємство має можливість формувати меню виходячи з наявних продуктів. Незначні збої в поставках продуктів не завжди носять критичний характер.	Підприємство керується меню, затвердженим міським/районним Управлінням Головного Управління Держпродспоживслужби, відхилення від якого спричиняють відхилення в нормах харчування. Збої в поставках продуктів харчування є недопустимими та критичними.
Якість обслуговування	Наявність швидкої комунікації; наявність додаткових послуг; відповідне оформлення документів; вчасна передача документів.	Наявність швидкої комунікації; наявність додаткових послуг; відповідне оформлення документів; вчасна передача документів.
Дотримання постачальниками вимог поводження з продуктами харчування згідно законодавства	Підприємство самостійно здійснює оцінку постачальника щодо відповідності вимогам законодавства шляхом запиту відповідних (що є доказом) документів, онлайн екскурсій/аудитів чи виїзних екскурсій/аудитів.	Підприємство самостійно здійснює оцінку постачальника щодо відповідності вимогам законодавства шляхом запиту відповідних (що є доказом) документів, онлайн екскурсій/аудитів чи виїзних екскурсій/аудитів. Обов'язковою вимогою є наявність відповідних (що є доказом) документів про впровадження системи НАССР та наявність



		Акта, складеного в поточному році за результатами проведення планового (позапланового) заходу державного контролю (інспектування) стосовно додержання операторами ринку вимог законодавства про харчові продукти та корми, здоров'я та благополуччя тварин. Додатково перевіряється контролюючим органом.
Екологічна безпека товарів	Відповідність товарів нормам екологічної безпеки.	Відповідність товарів нормам екологічної безпеки.
Перелік постачальників	Затверджується керівником підприємства	Затверджується керівником підприємства та погоджується з керівником міського/районного Управління Головного Управління Держпродспоживслужби.

Авторська розробка

Відповідно до наведених даних у таблиці можемо зробити висновок, що підприємці, які здійснюють діяльність, не пов'язану із забезпеченням харчування школярів, діють в межах законодавства, але мають широкий вибір товарів та постачальників і не потребують узгоджень з контролюючими органами. Тобто, заклади ресторанного господарства самостійно вибирають постачальників для співпраці та беруть на себе всі ризики пов'язані з цим. На відміну від них, оператори ринку, що забезпечують харчування школярів, з метою мінімізації своїх ризиків узгоджують постачальників з контролюючими органами і лише після цього приймають рішення про укладання договорів.

На рисунку 2 представлено етапи вибору постачальників операторами ринку, що забезпечують та організовують харчування дітей в закладах освіти та закладах ресторанного господарства, на якому можливо відслідкувати їх відмінності.

Як бачимо з рисунку 2, для операторів ринку, що забезпечують харчування школярів, шлях до підписання договорів з постачальниками більш складний і тривалий.

Формування переліку постачальників відбувається на основі аналізу їх діяльності за вимогами (див. таблиця) який включає додаткове дослідження продуктів харчування.

Для погодження постачальників контролюючим органам подається порівняно значний перелік документів, який включає: перелік постачальників, який містить повну інформацію про контрагентів; копію повідомлення про внесення підприємства до Єдиного державного реєстру операторів ринку; копію Акта складеного в поточному році за результатами проведення планового (позапланового) заходу державного контролю (інспектування) стосовно додержання операторами ринку вимог законодавства про харчові продукти та корми, здоров'я та благополуччя тварин; копії документів, що підтверджують впровадження системи НАССР на підприємстві; результати тестувань зразків продукції. Тільки після погодження переліку постачальників контролюючим органом, він затверджується керівником підприємства та здійснюється укладання договорів.

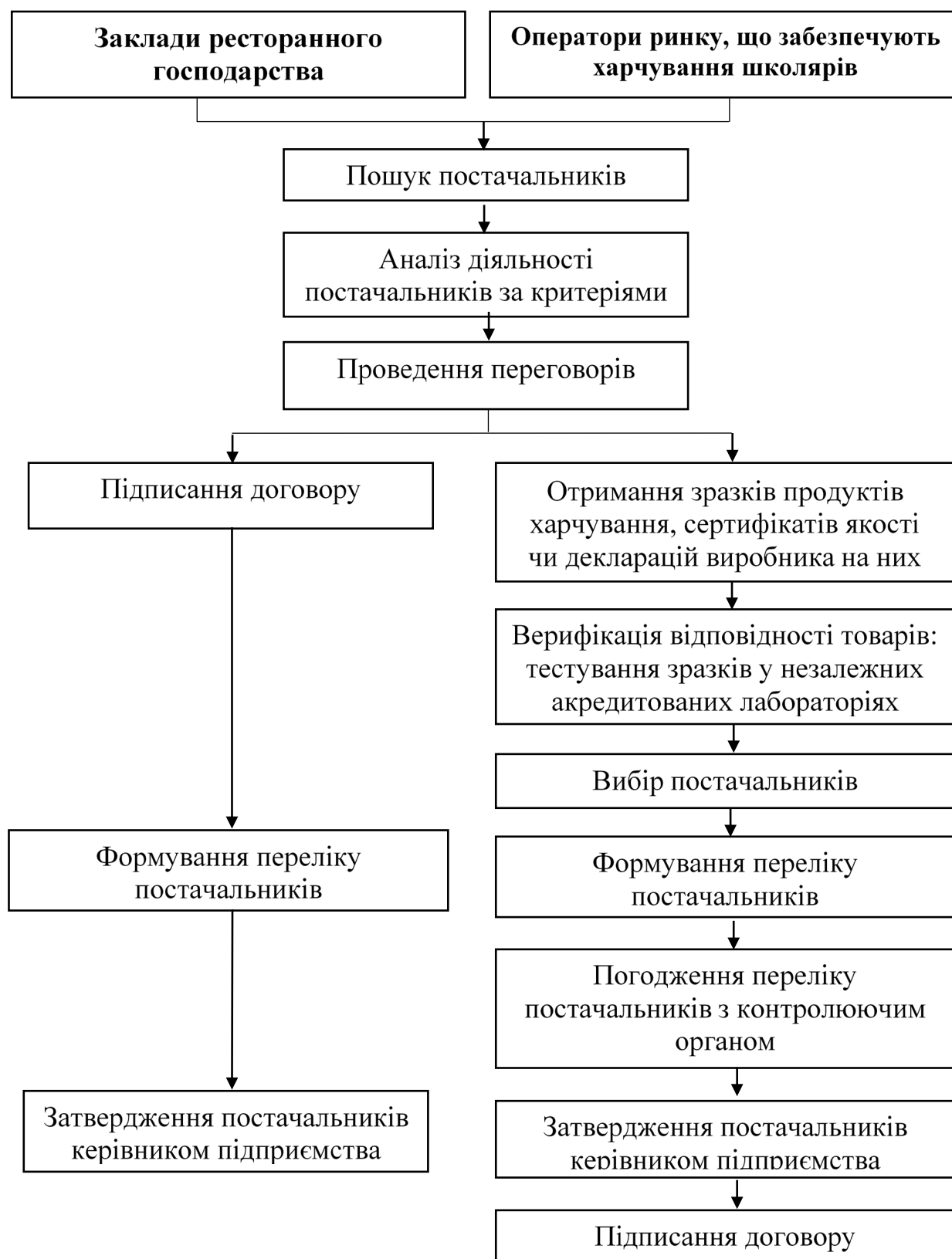


Рисунок 2 - Етапи вибору постачальників для різних операторів ринку
 Авторська розробка

Висновки. Таким чином, визначено, що зовнішні фактори суттєво обмежують асортимент продукції для харчування школярів та вибір постачальників. На основі досліджень Комунального підприємства шкільного харчування «Мрія» Охтирської міської ради розроблена блок-схема процесу



планування закупівель, вибору та затвердження постачальників. Встановлено, що підхід до вибору постачальників і етапів їх відбору суттєво відрізняється. Вимоги до підприємств, що забезпечують харчування школярів більш жорсткі.

Отже, додаткові етапи, що присутні в процесі вибору та затвердження постачальників, є запорукою співпраці з надійними партнерами, надають впевненості в закупівлі безпечних продуктів харчування та виробництві якісного і безпечного кінцевого продукту для споживання школярами.

Література:

1. Няньковський С. Л., Яцула М. С., Чикайло М. І., Пасечнюк І. В. Стан здоров'я школярів в Україні. *Здоров'я ребенка*. 2012. № 5. С. 40–56.
2. Горбань Ю. Скільки і чого їсти: МОЗ вперше за 18 років змінив норми харчування. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/2364660-skilki-i-cogo-isti-moz-vperse-za-18-rokiv-zminiv-normi-harcuvanna.html> (дата звернення : 24.11.2023).
3. Effect of changes to the school food environment on eating behaviours and/or body weight in children: A systematic review / Driessen C. E., et al. // *Obesity Reviews*. 2014. Vol.15. P. 968–982.
4. Peresichnyi M., Peresichna S., Sobko A., Tiurikova I. Scientific and methodological aspects of nutrition design for schoolchildren. // *Food Science and Technology*. Vol.15. Issue 1/ 2021. P. 15-27. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1966>.
5. Кучер Ю.Е., Логвиненко Н.І. Основні заходи поліпшення якості та безпеки харчової продукції. *Економіка і суспільство*. 2017. Вип.13. С. 558 – 561.
6. Пересічний М. І., Карпенко П. О., Хлібійчук В. О. Наукова концепція організації раціонального харчування учнів загальноосвітніх і професійно-технічних навчальних закладів. *Проблеми харчування*. 2012. № 1-2. С. 33–35.
7. Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку. Постанова Кабінету міністрів України від 24 березня 2021 р. № 305. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/305-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення : 24.11.2023).
8. Про затвердження Санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.09.2020 № 2205 25.09.2020 № 2205. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1111-20#Text> (дата звернення : 24.11.2023).
9. Державної служби статистики України URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення : 24.11.2023).

Abstract. The paper considers external factors influencing the process of choosing suppliers of products for catering schoolchildren. A flowchart of the process of planning purchases, selecting and approving suppliers based on the results of research at an existing enterprise has been developed. A comparative analysis is carried out and the approach and stages of choosing suppliers for enterprises that organize meals for schoolchildren and restaurant establishments are justified.

Keywords: selection of suppliers, food products, catering for schoolchildren, restaurant establishment, stages of supplier selection



GREEN BUILDING IN POST-WAR RECONSTRUCTION: ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS

ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО В ПІСЛЯВОЄННІЙ ВІДБУДОВІ: АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ

Zhuravska N / Журавська Н.Є.

Ph.D., Associate Professor / к.т.н., доцент,

ORCID: 0000-0002-4657-0493

Avdykovich Y / Авдиківич Я.Б.

student / студентка,

ORCID: 0009-0005-8134-2997

Kyiv National University of Construction and Architecture

Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація. «Зелене будівництво» – це підхід до проектування, будівництва та експлуатації будівель, спрямований на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із ключових аспектів зеленого будівництва є ефективне використання ресурсів: використання енергоефективних технологій, використання відновлюваних джерел енергії, скорочення викидів та оптимізація використання матеріалів. У післявоєнних умовах, коли ресурси можуть бути обмеженими, ефективне використання ресурсів стає особливо важливим для успішної реконструкції [1-17]. Після військових конфліктів часто спостерігається шкода екосистемам і природним ресурсам, а зелене будівництво спрямоване на збереження природи та використання природних матеріалів, що сприяє відновленню природних екосистем і забезпеченню сталого розвитку.

Тому зелене будівництво в контексті повоєнної відбудови є ключовим інструментом сталого розвитку та відновлення зруйнованого довкілля. Такий підхід спрямований на зменшення негативного впливу на довкілля, ефективне використання ресурсів, збереження природних екосистем та покращення якості життя мешканців. Застосування принципів зеленого будівництва в усіх проектах післявоєнної реконструкції має важливе значення для досягнення сталого та успішного розвитку [1-19].

Ключові слова: зелене будівництво, реконструкція.

Вступ.

Відомо, що зелене будівництво на зараз, стало провідною темою в сучасному світі, особливо коли ми використовуємо це визначення в контексті післявоєнної відбудови. Враховуючи наслідки повномасштабного вторгнення, можна сказати, що багато міст та населених пунктів будуть потребувати відновлення. Тому на сьогодні є необхідність впровадження екологічного будівництва в Україні, у зв'язку з великим забрудненням уламками будівельних об'єктів навколишнього середовища; але, оскільки «зелені» технології є досить новим явищем та не до кінця впровадженим, існують певні перешкоди для їх розвитку, в тому числі сертифікація, тому варто розглянути всі переваги вивчення та отримання основ та закономірностей в цьому напрямку [1-19].

Таким чином, можна виділити основну мету даного дослідження: аналіз наслідків воєнних дій та розробка рекомендацій, використовуючи знання «екологічного будівництва» в контексті післявоєнного управління та відбудови.

Матеріали і методи.

Серед добровільних систем сертифікації в світі виділяють більше десяти стандартів, більшість з яких мають національний характер: Японія — CASBEE,



Австралія – GREEN STAR, NABERS, Франція — HQE, Німеччина — DGNB тощо. На міжнародному ринку активно присутня система BREEAM (Великобританія)[2] і LEED (США)[3], а також GSBC від DGNB (Німеччина). Родоначальником всіх систем є англійська система BREEAM (British Building Research Establishment Environmental Assessment Method), яка була введена в 1990 році. З 1998 р. американська система The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) є однією з найбільш широко визнаною системою сертифікації зелених будівель, і адаптована у Бразилії, Канаді, Італії [5]. Взаємозв'язок між будівництвом та екологією є основним аспектом управління сучасного розвитку, з метою покращення екологічного стану розроблено кілька методів сертифікаційної оцінки екологічності будівництва: «Building Research Establishment Environmental Assessment Method» (BREEAM) [2], «Leadership in Energy and Environmental Design» (LEED) [3], Global Real Estate Sustainability Benchmark (GRESB) [4], Regenerative Ecological, Social, and Economic Targets (RESET) [5], WELL Building Standard [6].

Детальніше про це, у своїй книзі «Екологія: dtv-Atlas», Дітер Гайнріх та Манфред Гергт висловили поняття «екологічного будівництва», що охоплює альтернативне будівництво та будівництво відповідно до клімату, починаючи від вибору ділянки до проектування, будівництва, експлуатації, ремонту і знесення [7, с. 245]. Тому, правильне розуміння цього поняття і його дотримання може сприяти створенню стійких міст, забезпечуючи одночасно комфорт для життя та збереження навколишнього середовища для майбутніх поколінь.

Беручи до уваги поняття «екологічного будівництва», можна відокремити основні тези [9, с. 57], які повинні використовуватися, коли ми говоримо про екологічне забудовування:

- максимальне використання підземного простору;
- врахування всіх властивостей рельєфу певної ділянки;
- озеленення усіх поверхонь будівлі (стін, даху);
- благоустрій прилеглої території.

З метою підкріплення цих тез, узаконення норм та правил правильної забудови у 2022 році було випущено ДСТУ 9171:2021 «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проектування споруд», що є хорошим рішенням для екологічного середовища в Україні, оскільки правильно побудована будівля за цими стандартами є екологічно чистою та економною [17]. Згідно планам по відбудові України виділяють три основних етапи: 1) забезпечення житлом всіх постраждалих; 2) відновлення інфраструктури; 3) відбудова зруйнованих територій за кращими міжнародними стандартами. В зв'язку з цим знову актуалізується питання про реконструкцію або знесення «хрущовок». Показники витрат для усунення негативних наслідків проживання в «бідних будинках» (poor housing) займають четверте місце після таких небезпечних факторів ризику для здоров'я, як алкоголь, куріння та ожиріння. Індикатори забруднення всередині приміщень можуть в 2...5 разів перевищувати зовнішні параметри.

По оцінці ВОЗ 12,7 % смертей можна уникнути, якщо підвищити якість повітря в будівлях. Під час здійснення післявоєнної відбудови або реконструкції



об'єктів сектор будівництва повинен значно скоротити викиди парникових газів у будівлях. Енергетична безпека була і є провідним фактором національної безпеки України, враховуючи фактори енергонезалежності будівель та споруд а також їх майбутню експлуатацію під час відбудови України. Україна підтримує енергетичну безпеку Європи та перехід до низьковуглецевої економіки, тому орієнтується на дотримання вимог та норм енергоефективності під час відбудови об'єктів інфраструктури і населених пунктів на всіх етапах відновлення [13-19].

Зелена сертифікація широко використовується транснаціональними корпораціями. Незважаючи на гостру необхідність зеленої сертифікації в Україні, власних ERE-2023 24 державних зелених стандартів на будівельному ринку ще не існує. Але у 2023 році намітилися позитивні тенденції. Зокрема, Національний технічний комітет стандартизації ТК-82 «Екологічна безпека» розробляє проект СОУ OEM 08.002.41.032:20XX «Будинки і споруди. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу». Серед розділів: 5.5. Озеленення території; 5.6. Ландшафтне зрошення; 5.7. Близькість водного середовища та візуальний комфорт; 5.8. Інсоляція прилеглої території; 5.9. Захищеність прибудинкової території від шуму, вібрації та інфразвуку; 6.3. Озеленення будівлі [6].

Результати та їх обговорення.

Після воєнних конфліктів, велика кількість будівель та інфраструктури потребує відновлення, і це є надзвичайно важливо для забезпечення сталого та екологічно чистого майбутнього. В сертифікаційних схемах зеленого будівництва представлено чіткі послідовні алгоритми взаємодії з місцевими громадами ще на етапі формування концепції нової забудови та при реконструкції застарілих будівель. Застосування стандартів зеленого будівництва разом з ESG критеріями нефінансової звітності сприятиме вирішенню проблеми відновлення застарілого та зруйнованого міського житла та забезпечить перехід на якісно новий рівень. Розробляється концепція без бар'єрного смарт-міста для комфортної життєдіяльності людей з обмеженою мобільністю та повернення до повноцінного життя інвалідів війни. Необхідно забезпечити без бар'єрність пересування містом, доступ до публічних закладів та рекреаційних зон для людей з особливими потребами. Інклюзивність побудованого середовища дозволяє людям за обмеженою мобільністю інтегруватися в суспільство для реалізації своїх громадських, культурних, політичних, соціальних та економічних прав і обов'язків. ERE-2023 20 Без бар'єрність допоможе громадянам України, постраждалим внаслідок війни, адаптуватись до життя, знизити посттравматичний синдром, підвищити якість життя [17].

У цьому контексті, розробка рекомендацій для зеленого будівництва після воєнного конфлікту є критично важливою для сталого розвитку та збереження навколишнього середовища. Застосування енергоефективних матеріалів та технологій, використання вторинних матеріалів, стимулювання зелених інновацій та надання освіти для майстрів будівельних робіт — це лише деякі з ключових рекомендацій, яких слід дотримуватися при плануванні та реалізації післявоєнної відбудови.



Ключові рекомендації для впровадження зелених технологій та практик:

1. Використання енергоефективних матеріалів та технологій: важливо враховувати енергоефективність будівель та інфраструктури, щоб зменшити споживання енергії та викидів CO₂; використання ізольованих матеріалів, сонячних батареї, енергоефективних систем опалення та кондиціонування повітря може значно зменшити енергетичні витрати і негативний вплив на навколишнє середовище.

2. Використання вторинних матеріалів та переробка будівельних відходів: в процесі відновлення постраждалих об'єктів, слід використовувати перероблені матеріали та будувати з урахуванням можливостей подальшої переробки, що в результаті зменшить кількість відходів та сприятиме збереженню природних ресурсів.

3. Стимулювання зелених інновацій у будівництві: надання фінансових пільг, податкових кредитів та інших заохочень для компаній, які активно впроваджують зелені рішення у будівництво.

4. Надання освіти та підтримки для майстрів будівельних робіт щодо зелених практик: значно покращує якість будівельних робіт та сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля.

Висновки.

Перспективи розвитку екологічного будівництва в Україні є дуже багатообіцяючі. Важливим напрямком відбудови України також є будівництво з нульовим енергоспоживанням - створення будівель, які є енергоефективними, виробляють стільки енергії, скільки споживають протягом певного періоду часу (елементами концепції є енергоефективність, відновлювана енергія, ефективність використання ресурсів, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, мета є скорочення викидів парникових газів і зменшення нашої залежності від викопного палива) та, наприклад, пасивні будівлі, інфраструктура, інтеграція впровадження альтернативних джерел енергії, можуть бути запорукою еколого-енергетичної відбудови, їх впровадження у післявоєнну відбудову необхідно розробити конкретну стратегію та державну політику, спрямовану на популяризацію екологічно чистих технологій та матеріалів.

З посиленням уваги до проблем екології та збільшенням свідомості громадян про необхідність збереження природних ресурсів, попит на екологічно чисті будівельні матеріали та технології буде зростати. Крім того, урядова підтримка, впровадження нових стандартів та законодавчих актів щодо зеленого будівництва також сприятимуть розвитку цього напрямку. З урахуванням усіх цих факторів, можна зробити висновок, що екологічне будівництво має великий потенціал для подальшого розвитку в Україні [18-19].

Література

1. Ткаченко Т. Зелені конструкції. Історія створення. Позитивні ефекти. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.knuba.edu.ua/19-zhovtnya-ukrayivskomu-budynku-vchenyh-nan-ukrayiny-vidbulasya-lekcziya-zaviduvachky-kafedry-tehnologij-zahystu-navkolyshnogo-seredovyssha-ta-ohorony-praczi-tetyany->



tkachenko/.

2. ДСТУ 9171:2021 «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проектування споруд». - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uscc.ua/uploads/section/Files/dstu_9171-2021.pdf

3. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). Сертифікація. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2020/10/SD6063_BREEAM-In-Use-International_Commercial-Technical-Manual-V6.pdf (Дата звернення 20.11.2023).

4. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Сертифікація. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20BDC_07.25.19_current.pdf

5. Global Real Estate Sustainability Benchmark. Сертифікація. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://gresb-prd-public.s3.amazonaws.com/2023/Foundation/GRESB_Foundation_2024_Roadmap.pdf

6. Ткаченко Т., Мілейковський В., Кравченко М. Перспективи розроблення державних зелених стандартів / Робоча програма та тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. ЕРЕ. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях. Київ: КНУБА, 22-24 листопада 2023. - с.23-24.

7. Regenerative Ecological, Social, and Economic Targets (RESET). Сертифікація. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://reset.build/system/RESET_Air_Residential_v1_200803.pdf

8. WELL Building Standard. Сертифікація. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://standard.wellcertified.com/sites/default/files/The%20WELL%20Building%20Standard%20v1%20with%20May%202016%20addenda.pdf>

9. Гайнріх Д., Манфред Г. Екологія: dtv-Atlas / Ред. пер. В. Серебряков. Київ: Знання - Прес, 2001. 287 с.

10. Сухарев С. М., Чундак С. Ю., Сухарева О. Ю. Основи екології та охорони довкілля: навч. посіб. Київ: Центр навч. літ., 2006. 394 с.

11. Цигичко С. П. Екологія в архітектурі та містобудуванні: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2012. 146 с.

12. Післявоєнне відновлення України має бути «зеленим» та сталевим. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://gmk.center/ua/opinion/pislyavoienne-vidnovlennya-ukraini-maie-buti-zelenim-ta-stalevim/> (Дата звернення 20.11.2023).

13. Принципи зеленої післявоєнної відбудови України екодії. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/zelena-vidbudova-ua.html> (Дата звернення 20.11.2023).

14. Зелена відбудова України: Позиція громадськості. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/zelena-vidbudova-ukrainy-rozytsia-hromadskosti.html> (Дата звернення 20.11.2023).

15. Перспективи зеленого будівництва у майбутньому відновленні України. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://decentralization.gov.ua/news/15011> (Дата звернення 20.11.2023).



16. Зелене будівництво в Україні, перспективи. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://budynok.com.ua/ua/green-building-in-ukraine-prospects>

17. Кривомаз Т. І., Гамоцький Р., Ільченко І., Циба А., Старжинський П. Важливі напрямки відбудови України / Робоча програма та тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. ЕРЕ. Багатофункціональні еко - та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях. Київ: КНУБА, 22-24 листопада 2023. - С. 19-20.

18. Цвігун І., Журавська Н., Белова А. Складова сталого розвитку - управління та екологізація систем теплоенергетичних об'єктів для реконструкції та відбудови / Збірник міжнародній конференції "Екологічні проблеми сучасності". 10 травня 2023, с.37-39.

19. Кохановський І., Журавська Н. Реконструкція та відновлення будівель і споруд / І. Кохановський, Н. Журавська // Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, збірник наукових праць «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Євразії», Переяслав, 2022, с.65-67.

Режим доступу: [//conferences.neasmo.org.ua/uploads/conference/file/102/conference_31-31.12.2022.pdf](https://conferences.neasmo.org.ua/uploads/conference/file/102/conference_31-31.12.2022.pdf) (Дата звернення 3.11.2023).

Abstract. «Green construction» is an approach to the design, construction and operation of buildings that aims to reduce the negative impact on the environment. One of the key aspects of green construction is the efficient use of resources: the use of energy-efficient technologies, the use of renewable energy sources, the reduction of emissions and the optimization of the use of materials. In a post-war environment, where resources may be limited, efficient use of resources becomes especially important for successful reconstruction [1-17]. After military conflicts, damage to ecosystems and natural resources is often observed, and green construction aims to preserve nature and use natural materials, which helps to restore natural ecosystems and ensure sustainable development.

Therefore, green construction in the context of post-war reconstruction is a key tool for sustainable development and restoration of the damaged environment. This approach is aimed at reducing the negative impact on the environment, efficient use of resources, preservation of natural ecosystems and improvement of the quality of life of residents. The application of green construction principles in all post-war reconstruction projects is essential to achieving sustainable and successful development [1-19].

Keywords: green construction, reconstruction.



УДК 342.0

THE METHOD OF IMPLEMENTING NON-MODULAR OPERATIONS IN THE SURPLUS CLASS

СПОСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕМОДУЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ У КЛАСІ ЛИШКІВ

Demchenko K.V. / Демченко К.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3168-5351

Chub I. / Чуб І.М.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

Nechytailo J. / Нечитайло Ю.А.

ORCID: 0000-0003-0605-3990

c.t.s., sen.lec. / к.т.н., стр.вик.

State Biotechnological Universite, Kharkiv, Alchevsky, 44

Анотація. У літературі вже були розглянуті можливості реалізації немодульних операцій у класі лишків. Недоліком їх реалізації є година затратність та велика технічна складність реалізації цих операцій. У статті запропонований альтернативний спосіб реалізації немодульних операцій в класі лишків на основі формування однорядкового коду.

Ключові слова: клас лишків, міжразрядні зв'язки, немодульні операції, модульні операції, позиційна ознака, код, ранг числа, суматори, системи числення.

Вступ.

Усі операції, котрими ми будемо оперувати у класі лишків для обробки інформації (даних) поділяються на модульні і немодульні операції. До модульних операцій відносяться такі операції, як складання, віднімання, множення. Реалізація цих операцій має не дуже складний зміст, вони не мають міжразрядних зв'язків та виконуються по кожній основі. Але існують ще немодульні операції, такі операції потребують визначення позиційних ознак до таких операцій треба віднести, такі операції, як визначення рангу числа, перетворення чисел із однієї системи числення в іншу, округлення чисел, зведення до ступеню, порівняння та інші операції [1].

Тому ціль даної статі це реалізація пошуку позиційних ознак немодульних операцій у класі лишків.

Основний текст.

Щоб реалізувати ці операції необхідно звести їх до того щоб визначити номера числового діапазону, куди попало n число. Щоб це визначити, треба використати позиційну ознаку непозиційного коду У літературі були вже описані ці ознаки, такі як переклад непозиційної системи в позиційну, ознака нувелізації числа, але ці ознаки мають недоліки, такі як вони дуже година затратні, а також обкладають дуже великою технічною складністю реалізації [3]. Тому потрібна альтернативна ознака, котра мала би такі властивості, як по перше чіткий та зрозумілий характер, по друге легко би описувався математичними співвідношеннями та мала би простоту формування для заданих кодових структур [4]. Спробуємо сформулювати цю ознаку нехай це буде такий однорядковий код, котрий буде складатися тільки із одиниць і одного нуля

$$K_{N_{m_i}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{m_i-1}}^{(A)} Z_{N_{m_i-2}}^{(A)} \dots Z_2^{(A)} Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}, \quad (1)$$



Формується однорядковий код наступним чином із блока констант нулевизації по значенню залишка a_n числа $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ вибирається константа нулевизації

$A_{m_n} = A_{кл} - KH_{m_n}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n) - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a'_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n) =$
 $= a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_n^{(1)}$, котра кратному одному наступному модулю. Потім за сукупності констант $0, m_i, 2m_i, \dots, (N-2) \cdot m_i, (N-1) \cdot m_i$ із N констант кратних основі m_i , паралельно проводиться операції $A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)}$ ($K_A = \overline{0, N-1}$)

$$\text{тоді} \quad \begin{cases} A_{m_i} - 0 \cdot m_i = Z_0^{(A)}, \\ A_{m_i} - 1 \cdot m_i = Z_1^{(A)}, \\ A_{m_i} - 2 \cdot m_i = Z_2^{(A)}, \\ \dots \\ A_{m_i} - (N-2) \cdot m_i = Z_{N-2}^{(A)}, \\ A_{m_i} - (N-1) \cdot m_i = Z_{N-1}^{(A)} \end{cases} \quad (2)$$

де $N_{m_i} = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n m_k$, (N_{m_i} - кількість двійкових розрядів в записі однорядкового коду

$K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ або кількість суматорів, котрі будуть виконувати операцію виду $A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)}$.

Таким чином буде формуватися однорядковий код двійкової послідовності $K_{N_{m_i}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{m_i}-1}^{(A)} Z_{m_i-2}^{(A)} \dots Z_2^{(A)} Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ числа $A_{кл}$, при цьому тільки одне значення $Z_{K_A}^{(A)} = 0$, якщо $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$, наступні значення $Z_{K_A}^{(A)} = 1$, якщо при $A_{m_i} - l \cdot m_i \neq 0$

$l = \overline{0, N-1}$, $l \neq n_A$. У цьому випадку однорядковий код $K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ буде представляти послідовність, котра складається із N_{m_i} двійкових розрядів. У цій послідовності тільки один розряд буде 0, а усі інші 1. І місце знаходження 0 розряду однорядкового коду $K_{N_{m_i}}^{(n_A)}$ і буде визначити позиційний признак непозиційного коду.

Операція перетворення вихідного числа $A_{кл}$ за допомогою констант нулевизації $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a'_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n)$ до виду

$A_{m_n} = A_{кл} - KH_{m_n}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n) - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a'_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n) =$
 $= a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_n^{(1)}$, буде рівнозначне зміщенню числа на лівий край відповідних інтервалів $[j_1 m_i, (j_1 + 1) m_i)$ і їх першоначального знаходження, що співпадають приведенню їх до числа A_{m_i} котре кратно модулю m_i класу лишків. Після чого визначаються номери $j_1 = n_A$ цих інтервалів, що і являє собою позиційну ознаку непозиційного коду.

Для більш зрозумілості розглянемо приклад визначення позиційної ознаки непозиційного коду для конкретного класу лишків, котрі задані такими основами



$m_1 = 2, m_2 = 3; m_3 = 5$. При цьому

$$M = \prod_{i=1}^3 m_i = 30$$

Визначимо позиційну ознаку непозиційного коду числа $A_{KL} = 23$, котре представлено у вигляді $A_{23} = (1,10,011)$ по заданим основам.

Складемо блок констант нувелізації

Таблиця 1 – Блок констант нувелізації

А в ПСЧ	Залишок a_i	Константи для $m_i = 5$		
		$m_1 = 2$	$m_2 = 3$	$m_3 = 5$
0	000	0	00	000
1	001	1	01	001
2	010	0	10	010
3	011	1	00	011
4	100	0	01	100

Авторська розробка

Вибираємо із блока констант нувелізації по значення залишка $a_n = a_3 = 011$ числа A_{23} . У блоці константи нувелізації вибираємо констату $KH_{m_n}^{(A)} = (100\ 001)$ нувелізації.

Визначимо $A_{m_i} = A_{СОК} - KH_{m_n}^{(A)} = (1,10,011) - (1,00,011) = (0,10,000)$, що буде відповідати здвигу операнда на лівий край інтервалу $(20,25)$. Це буде позиційний признак числа.

Потім за допомогою суматорів, використавши сукупність констант по формулі (1), визначимо компоненти $Z_i^{(A)}$ однорядкового коду, котрий представлений у вигляді $K_N^{(n_A)} = \{Z_{N-1}^{(A)}, Z_{N-2}^{(A)}, \dots, Z_2^{(A)}, Z_1^{(A)}, Z_0^{(A)}\}$, при цьому $M = \prod_{i=1}^2 m_i = 2 \cdot 3 = 6$, $m_i = m_n = 5$,

$M_0 = 2 \cdot 3 \cdot 5 = 30$. Однорядковий код для операнда A_{23}

буде рівен $K_N^{(n_A)} = K_6^{(4)} = \{101111\}$ (6).

Висновок.

Проаналізувавши реалізацію модульних та немодульних операцій, з'ясувалось, що реалізація немодульних операцій неможлива без пошуку позиційних ознак непозиційного коду. Але існують певні недоліки визначення, цієї ознаки, такі як велика технічна складність реалізації та часова складність реалізації даної ознаки. Тому була запропонована та розглянута альтернативна ознака формування однорядкового коду. Використання даної ознаки дозволяє нам реалізувати такі немодульні операції, як порівняння, визначення рангу числа, зведення до ступеню, округлення числа.

Література:

1. Жихарев, В.Я. Методы и средства обработки информации в непозиционной системе счисления в остаточных классах [Текст] / В.Я Жихарев, Я.В. Илюшко, Л.Г. Кравец, В.А. Краснобаев. – Ж.: Волынь, 2005.-219 с.



2. Yaskova K. V. Method of bit-by-bit tabular realization of arithmetic operations in the system of residual classes / S. A. Koshman, V. I. Barsov, V. A. Krasnobayev, K. V. Yaskova, N. S. Derenko // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2009, № 5 (39). –44–48 с.

3. Загуменная Е. В. Концепция формирования позиционного признака непозиционного кода в системе остаточных классов для реализации немодульных операций / Е. В. Загуменная // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 2015, № 69. – 134-137 с.

4. Загуменная Е. В. Метод арифметического сравнения чисел в классе вычетов / Е. В. Загуменная, С. А. Кошман, М. А. Маврина, В. А. Краснобаев. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, Технічні науки, - Харків: ХНТУСГ, 2012, Вип. 130. - 72-75 с.

5. Загуменная Е. В. Методы и алгоритмы сравнения чисел в классе вычетов на основе использования позиционного признака непозиционного кода / Е. В. Загуменная, В. А. Краснобаев, М. А. Маврина. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2012, № 3(55). - 111-121с.

Abstract. The possibilities of implementing non-modular operations in the class of remainders have already been considered in the literature. The disadvantage of their implementation is the high cost and high technical complexity of implementing these operations. The article proposes an alternative method of implementing non-modular operations in the class of remainders based on the formation of a one-line code. The use of this feature allows us to implement such non-modular operations as comparison, determination of the rank of a number, reduction to a power, rounding of a number.

Key words: class of remainders, interbit relations, non-modular operations, modular operations, positional sign, code, number rank, adders, counting systems.

Статья отправлена: 16.11.2023 г.

© Демченко К.В.



УДК 004.92

ANALYSIS OF INTEGRATED BUILT-IN GRAPHICS PROCESSORS**АНАЛІЗ ІНТЕГРОВАНІХ ВБУДОВАНИХ ГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСОРІВ****Romanyuk O.N. / Романюк О.Н.***d.t.s., professor / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-2245-3364

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021***Troianovska-Korobeynikova T. / Трояновська-Коробейнікова Т.***Ph.D., as.prof. / к.т.н., доц*

ORCID: 0000-0003-2487-8742

*Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St. 12, Lviv, 79013, Ukraine**Національний університет «Львівська політехніка», Львів, С.Бендери, 12, 79013***Titova N.V. / Тітова Н.В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-7322-9952

*Odessa Polytechnic National University, Odessa, Shevchenko ave., 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, просп. Шевченка, 1, 65044***Mazyr V.V. / Мазур В.В.**

ORCID 0009-0002-6697-8127

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021,***Hloba A.R. / Глоба А.Р.**

ORCID 0009-0005-5348-8673

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021*

Abstract. The paper analyzes the existing built-in graphics processors in central processors. The work of various types of embedded graphics processors in technological processes is considered.

Keywords: control system, architecture, classification, memory, graphics core, shader.

Introduction.

Built-in graphics processors [1] (integrated graphics processing unit, iGPU) have become one of the key components of modern technological progress. Their importance is constantly growing due to constant changes in the IT environment and the need to effectively achieve the desired results in projects. The transition from conventional GPU [2] (graphics processing unit) to improved processors using new technologies should be especially noted. Various requirements may be placed on the parameters of the graphics processor. The first is the speed of the graphics processor (GPU Clock Speed). This is determined by the number of clock pulses that the processor can execute in one second. The speed of the graphics processor affects its overall performance, the ability to process graphics tasks and the speed of image output.

The second is the number of stream processors (CUDA Cores, Stream Processors, or other similar terms). This is the number of individual computing units that can work in parallel. More stream processors allow the GPU to efficiently handle multitasking and graphics computing. Depending on the requirements of applications and games, a GPU with more stream processors may be required.



Built-in graphics processors are important factors in the modern life of any technology. They are changing user needs, becoming increasingly integrated into systems that help effectively manage aspects of achieving goals.

Analysis of functionality, architecture and classification

The processor's integrated graphics are a key component of modern microprocessors, enabling graphics tasks to be performed without the need for an additional graphics processing unit (GPU). The main functions of embedded graphics are the display of graphics on the screen, shader processing, animation, and graphics-related calculations.

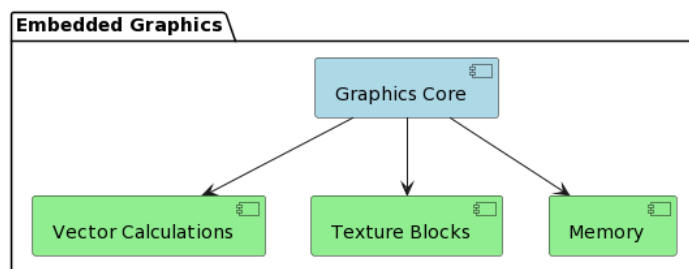


Figure 1 – Integrated graphics processor

The architecture of embedded graphics [3] includes a graphics core, vector calculations, texture blocks and memory necessary for processing graphic data. The graphics core is responsible for rendering and displaying graphics, capable of using a variety of shaders to create complex visual effects. Vector computing provides support for computing vector operations useful for graphics algorithms and image processing.

Embedded graphics processors use a special type of memory known as video memory or VRAM (Video RAM). VRAM is used to store graphics data such as textures, video frames, and other graphics resources. The type and amount of video memory may differ depending on the specific model and manufacturer of the integrated graphics processor. Some integrated GPUs may share memory with main system memory (known as shared memory), while others may have their own video memory. Using dedicated video memory can provide better performance in graphics tasks, as it is dedicated to graphics only and does not compete with main system memory for resources.

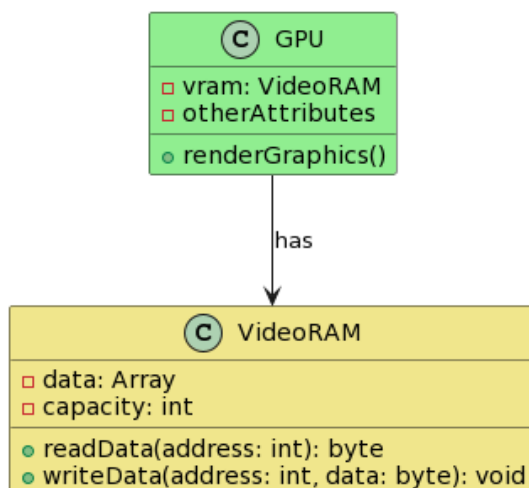


Figure 2 - The architecture of the processor's integrated graphics



The diagram illustrates the main components of an embedded graphics architecture, indicating the relationships between the graphics core, vector computation, texture blocks, and memory. Each component performs specific functions necessary for the efficient execution of graphics tasks.

Graphics processors embedded in central processing units (CPUs) can be classified [4] according to several parameters. First of all, they can be divided into integrated and on-chip (SoC) graphics solutions, and separated from the CPU. Integrated GPUs are often used in laptops and some desktop systems, providing a basic level of performance for a variety of tasks.

The second aspect of the classification consists in distinguishing by the level of performance and purpose. GPUs for embedded use can range from simple ones that meet the demands of everyday tasks, to high-performance ones aimed at gamers or professional users that require high-level graphics processing.

Also, GPUs can be classified by architecture, such as the use of integrated or discrete memories, or by the presence of certain technologies, such as support for ray tracing or artificial intelligence technology to optimize graphics calculations. The classification of integrated graphics processors in processors is important for choosing the optimal solution depending on the needs of the user and the specific use.

Let's consider examples of built-in graphics processors, their characteristics, frequency, which technology they support and what they provide when their work is reproduced.

The Intel UHD Graphics 630 [5] is an integrated graphics processor often used in the 8th and 9th generation Intel Core series processors. This GPU has a base clock frequency of 350 MHz to 1.1 GHz and supports DirectX 12 and OpenGL 4.5. It can display high-quality graphics on the screen, as well as perform basic graphics tasks.

The AMD Radeon Vega 8 [6] is a graphics processor built into some AMD Ryzen 2000 and 3000 series processors. It has an octa-core architecture with a frequency of 1100 MHz to 1300 MHz. Radeon Vega 8 supports technologies such as AMD FreeSync, DirectX 12 and Vulkan, which ensure high performance when playing video and graphics tasks.

The NVIDIA GeForce GT 1030 [7] is an integrated graphics processor from NVIDIA aimed at the budget computer market. It has 384 CUDA cores and a base clock frequency of around 1227 MHz. The GT 1030 is equipped with 2 GB of GDDR5 memory and supports technologies such as NVIDIA GPU Boost 3.0 and DirectX 12. This GPU is well suited for simple games and video processing on a limited budget.

 Intel UHD Graphics 630 Clock Frequency: 1200 MHz Cores/Shaders: 24 Memory Size: 64 MB Graphics Tech: DirectX 12, OpenGL 4.5	 AMD Radeon Vega 8 Clock Frequency: 1100 MHz Cores/Shaders: 512 Memory Size: Shared Graphics Tech: DirectX 12, OpenGL 4.5
 NVIDIA GeForce GT 1030 Clock Frequency: 1468 MHz Cores/Shaders: 384 Memory Size: 2 GB GDDR5 Graphics Tech: DirectX 12, OpenGL 4.6	

Figure 3 - Comparison of three integrated graphics processors



The chart provides a comparative overview of the characteristics of the three integrated graphics processors. Main parameters include clock frequency, number of cores/shaders, amount of memory and support for graphics technologies.

Integrated graphics in processors is usually represented by a graphics processing unit (GPU), which is on the same chip as the central processing unit (CPU). It is responsible for processing graphics and displaying visual information on the monitor. Some well-known components of integrated graphics chips include:

Graphics Core: This is the main part of the graphics processor, which is responsible for processing graphics operations. In the case of Intel Iris Xe Graphics, this core has integrated computing units, texture units and other components for processing graphics data.

Video RAM (Video RAM - VRAM): Integrated graphics can have its own video memory or use part of the system RAM to store graphics data.

Texture Unit: It is responsible for processing textures and applying them to 3D models to improve graphics.

Shaders: These are software components used to calculate lighting, shadows, color, and other graphical effects. Shaders play an important role in creating realistic graphics. **Output Module:** Responsible for outputting graphic information to a monitor or other visual device.

Regarding Intel Iris Xe Graphics, this is a family of integrated graphics solutions from Intel. They are used in many processors, including the 11th generation Intel Core. These graphics solutions provide support for modern graphics APIs such as DirectX 12 and Vulkan and provide improved performance compared to previous versions of integrated graphics chips from Intel.

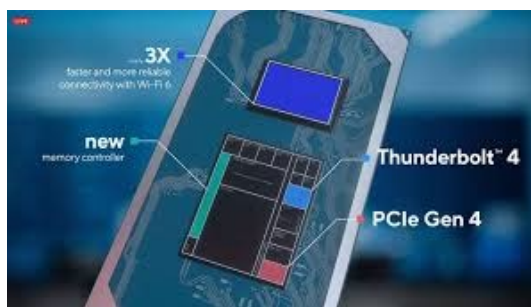


Figure 4 – Intel Iris Xe Graphics chip architecture

In addition to the technical specifications mentioned earlier, it's essential to highlight the role of integrated graphics in everyday computing tasks. Integrated graphics are particularly suitable for general use, including web browsing, office applications, and multimedia consumption. While they may not match the performance of dedicated graphics cards, they offer a cost-effective solution for users who don't require intensive graphical capabilities, such as gamers or professional graphic designers.

Moreover, advancements in integrated graphics technology have led to increased power efficiency and reduced heat generation. This is particularly advantageous for laptops and ultrabooks [9], where thermal management is crucial for maintaining performance and ensuring a longer lifespan of the device. The integration of graphics



processing directly into the CPU also contributes to a more compact and energy-efficient overall system design.

It's worth noting that the landscape of integrated graphics is dynamic, with regular updates and improvements. As technology evolves, manufacturers continually refine their integrated graphics solutions to keep pace with the demands of modern applications and ensure a smoother user experience. This ongoing development underscores the significance of integrated graphics in providing accessible and competent graphical performance for a broad range of computing needs.

Embedded graphics [10] processors are presented in the Intel Iris Xe Graphics family with the integration of video memory, texture blocks, shaders and many other components, embedded graphics processors become a powerful tool for creating impressive visual effects. The development of such technologies helps to improve the quality of graphics in various areas, and improvements in speed and performance allow users to enjoy more immersive visual experiences.

Conclusion.

Thus, built-in graphics processors have become one of the key components of effectively achieving the desired results in projects. The detailed functionality and architecture of integrated graphics processors led to a comparative analysis of three specific models: Intel UHD Graphics 630, AMD Radeon Vega 8 and NVIDIA GeForce GT 1030.

These graphics processors are from different manufacturers and are used in different classes of computers. Intel UHD Graphics 630 is used in Intel Core processors for basic graphics tasks. AMD Radeon Vega 8, built into some AMD Ryzen processors, offers decent performance for graphics and video tasks on an average budget. The NVIDIA GeForce GT 1030, although built-in, is in the higher price range and is aimed at budget gaming PCs.

The landscape of integrated graphics processors is diverse, catering to a wide range of users with varying needs and budget constraints. The comparative analysis of Intel UHD Graphics 630, AMD Radeon Vega 8, and NVIDIA GeForce GT 1030 reveals the nuanced differences among these components, from their targeted applications to their technical specifications.

As technology continues to advance, integrated graphics processors have evolved beyond basic display functions, becoming integral to the seamless execution of projects and everyday computing tasks. The tailored use of these GPUs in different classes of computers underscores their versatility, from basic graphics processing in Intel Core processors to the budget-friendly graphics and video capabilities offered by AMD's Radeon Vega 8, and the higher-tier performance suitable for budget gaming PCs with NVIDIA's GeForce GT 1030.

The importance of the comparative table lies in empowering users to make informed decisions based on their specific requirements and financial considerations. Clock frequency, core/shader count, memory capacity, and support for graphics technologies are pivotal factors that users should consider when selecting an integrated GPU. Ultimately, the diverse options available in the realm of integrated graphics processors play a pivotal role in meeting the ever-expanding demands of users, contributing significantly to the overall user experience in the realm of computing.



The comparison table highlights the main characteristics, such as clock frequency, number of cores/shaders, amount of memory and support for graphics technologies. These features are important when choosing a GPU based on user needs and budget.

In general, integrated graphics processors play an important role in providing graphics display on computers, and their choice depends on the specific needs of the user.

References:

1. What is an integrated graphics processor [Electronic resource]: <https://www.trustedreviews.com/explainer/what-is-an-igpu-4355252>
2. What is a graphics processor [Electronic resource] : <https://www.arm.com/glossary/gpus>
3. Architecture of integrated processor graphics [Electronic resource] : <https://ua5.org/technol/2796-arhitektury-suchasnyh-procesoriv.html>
4. O.N. Romanyuk, R.Yu. Dovgalyuk, S.V Oliynyk "Classification of graphic video adapters" [Electronic resource]: <https://core.ac.uk/reader/52157660>
5. Intel UHD Graphics 630 [Electronic resource]: <https://technical.city/ru/video/UHD-Graphics-630>
6. AMD Radeon Vega 8 [Electronic resource]: https://www.chaynikam.info/Radeon_Vega_8.html
7. NVIDIA GeForce GT 1030 [Electronic resource]: <https://www.overclockers.ua/video/gpu/nvidia/geforce-gt1030/>
8. Intel Iris Xe Graphics [Electronic resource]: https://www.chaynikam.info/Iris_Xe_Graphics_G7_96EU.html
9. Maxwell, W. (2021) Does Unreal engines 5 nanite make poly count irrelevant, CG Obsession. Available at: <https://cgobsession.com/does-unreal-engines-5-nanite-make-poly-count-irrelevant/> (Accessed: 20 September 2023).
10. Romaniuk, O., Romaniuk, O. and Chekhmestruk, R. (2023) Kompiuterna hrafika [Computer Graphics]. Vinnytsia, Ukraine: VNTU.

Анотація. У роботі проаналізовано існуючі вбудовані графічні процесори у центральні процесори. Розглянуто роботи різного типу вбудованих графічних процесорів..

Ключові слова: система керування, архітектура, класифікація, пам'ять, графічне ядро, шейдер.

Article sent:2023.

© Romanyuk O. ,Troianovska-Korobeynikova T.I.,
Titova N.V. Mazyr V.V., Hloba A.R.



УДК 355.77

THEORETICAL ASPECTS OF THE UNIVERSALIZATION OF OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УНІВЕРСАЛІЗАЦІЇ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНОГО РИСКУ

Zhuravska N. Y. / Журавська Н. Е.*PhD in Engineering / к.т.н., доцент,**ORCID ID: 0000 - 0002-4657 - 0493,***Stefanovych I.S. / Стефанович І.С.,***Senior Lecturer / старший викладач,**ORCID ID: 0000 - 0002- 0619 - 7719***Stefanovych P.I. / Стефанович П.І.,***Lecturer,**ORCID ID: 0000 – 0001 – 9733 – 3618**Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine,**Київський національний університет будівництва і архітектури,**03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31*

Анотація. В статті розглядається використання знань по теоретичним аспектам універсалізації оцінки професійного ризику. З цією метою зроблений аналіз останніх досліджень та публікацій і описано які якісні та комбіновані методи оцінки професійних ризиків бувають на підприємствах, показані основні методи оцінки цього ризику.

Ключові слова: методи аналізу, професійні ризик, статистичні методи, управління, підприємство, управління охороною праці.

Вступ.

На основі проведеного аналізу відомих методів оцінки професійного ризику встановлено, що жоден з них самотійно не в змозі забезпечити отримання комплексного та об'єктивного результату та практично не враховує впливу «людського» та зовнішніх факторів на стан функціонування ергатичних систем. Автором визначені проблеми та необхідні умови універсалізації оцінки професійних ризиків в системах управління охороною праці та запропонована власна алгоритмічна схема, що може надалі стати основою створення перспективного універсального методу оцінки професійного ризику з урахуванням впливу «людського» та зовнішніх факторів.

Мета дослідження.

Метою дослідження є вивчення методів професійного ризику та методів його оцінювання з метою прийняття ефективних управлінських рішень

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемам оцінки і менеджменту професійних ризиків, а також шляхам їх удосконалення були присвячені роботи таких вчених як Буняєв В.В., Мельцер А.В. , Муртонен М. , Пиктушанская Т.Е., Sadhra S.S., Shappell S.A., та інших. Але і досі залишається не вирішено проблему створення єдиного універсального, відносно простого методичного підходу та відповідно методу, який можна було б застосовувати на практиці для комплексної оцінки професійних ризиків в рамках системи управління охороною праці на будь-якому підприємстві, незалежно від виду його господарської діяльності.



Основний текст

Оцінка професійних ризиків на сучасних підприємствах проводиться за допомогою якісних, кількісних та комбінованих методів, яких налічується близько сотні. Найбільш відомими та затребуваними на практиці як у світі, так і в Україні є такі: мозковий штурм, аналіз дерева подій (ETA), аналіз дерева несправностей (FTA), аналіз причин та наслідків, контрольні листи, аналіз обліку ризику (risk score), аналіз методу Файн-Кінні, оцінка ризиків на основі матриці «ймовірність – збиток», аналіз причинно-наслідкових дій, аналіз рівнів захисту, метод побудови матриці наслідків і вірогідності, система Елмері, структуровані і частково структуровані інтерв'ю, метод Національного науково дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці (Україна), метод Дельфі, аналіз впливу людського фактору (HRA), аналіз прихованих дефектів (SA), аналіз паразитних ланцюгів (SCA), попередній аналіз небезпек (PHA), структурний аналіз сценаріїв (SWIFT), дослідження небезпеки та працездатності виробників (HAZOP), аналіз структурної схеми надійності, аналіз першопричин (RCA), аналіз мереж Петрі, Марковський аналіз, аналіз видів та наслідків відмов (FMEA) та інші.

Розглянемо основні методи оцінки професійного ризику.

Мозковий штурм є найбільш простим якісним методом оцінки професійного ризику, який полягає в створенні групою експертів в результаті процесу доброзичливої дискусії конкретних рішень та критеріїв щодо ідентифікації потенційних небезпек в рамках функціонування дослідної системи, можливих її відмови за операціями і способами керування виявленими професійними ризиками.

Позитивними сторонами методу можна вважати легкість його застосування, можливість залучення до процесу великої кількості експертів і фахівців, що безпосередньо беруть участь у функціонуванні дослідної системи, застосування під час дискусії спеціальних методів, які сприяють продукуванню нових нестандартних ідей та рішень відносно проблем, що розглядаються.

Недоліками методу є неможливість здійснення кількісної оцінки професійного ризику за допомогою математичних розрахунків, можлива некомпетентність експертів з певних питань та їх мала чисельність, що ставить під сумнів всеосяжність ідентифікації потенційних небезпек, а також відсутність об'єктивного підходу, щодо оцінки проявів впливу «людського» та зовнішніх факторів на стан функціонування ергатичної системи.

Застосування контрольних листів є ще одним якісним методом оцінки професійного ризику на підприємствах. Його суть полягає у розробці переліку потенційних небезпек (ризиків), або можливих відмов дослідної ергатичної системи, спираючись на досвід попередніх оцінок професійного ризику чи статистичні результати щодо відмов аналогічних систем, які відбулися раніше.

Позитивними рисами застосування контрольних листів, як методу оцінки професійного ризику, можна вважати його простоту, можливість застосування на будь-якому етапі функціонування ергатичної системи, залучення до процесу оцінки працівників, які не є експертами, але мають практичний досвід виконання дослідних операцій, що теоретично сприяє підвищенню об'єктивності методу.



Серед основних недоліків методу необхідно відмітити неможливість отримання кількісного результату оцінки, низьку мотивацію працівників, що долучаються до процесу оцінки, та, як наслідок, високий ступінь її формалізації, а також відсутність в рамках методу дієвих інструментів щодо оцінки впливу на дослідну систему (операцію) «людського» та зовнішніх факторів.

Метод Файн-Кінні є одним з найбільш розповсюджених для практичного застосування на підприємствах і базується на визначенні професійного ризику (Р) як певної комбінації трьох основних факторів: схильності працівника до впливу небезпечного чи шкідливого виробничого фактора (С), вірогідності виникнення небезпеки на робочому місці (В) та важкості можливих наслідків її реалізації (Т).

$$P = C \times B \times T$$

Схильність до ризику працівника в числових значеннях варіюється від 0 (не схильний до ризику) до 10 (постійна схильність), аналогічним чином визначається і вірогідність виникнення небезпеки – 0 (неможлива) до 10 (очікувано відбудеться). Тяжкість наслідків варіюється від 1 (мінімальні) до 100 (катастрофа з великою кількістю жертв) [12]. Комбінація зазначених факторів класифікує професійний ризик за ступенем прийнятності (серйозності) на п'ять основних груп:

1. Від 0 – 20, прийнятний ризик;
2. Від 20 – 70, можливий ризик, який необхідно контролювати;
3. Від 70 – 200, серйозний ризик, необхідні удосконалення заходів безпеки;
4. Від 200 – 400, високий рівень ризику, необхідні негайні та серйозні удосконалення заходів безпеки;
5. Більше 400, неприпустимий (дуже високий) ризик, необхідна негайна та повна зупинка діяльності.

Кінцевим результатом проведення оцінки ризиків є формування їх в упорядковану систему у вигляді матриці та складання відповідних виробничих карт професійних ризиків.

Перевагами методу Файн-Кінні можна вважати його простоту, зрозумілість, залучення до проведення оцінки безпосередніх виконавців процесу та менеджерів середньої ланки (начальників структурних підрозділів), отримання результату оцінки ризику у кількісному вигляді, існування чітких критеріїв оцінки серйозності (прийнятності) професійних ризиків, можливість складання карт ризику, а також узгодженість з рекомендаціями міжнародних стандартів серії OHSAS.

Недоліками цього методу є можливість внесення помилок виконавцями на певних стадіях оцінки (суб'єктивність методу), високий ступінь невизначеності факторів С, В, Т, що безумовно ставить під сумнів об'єктивність результату оцінки, відсутність чіткого механізму оцінки впливу на стан ергатичної системи проявів «людського» та зовнішніх факторів.

Достатньо близькими до методу Файн-Кінні за характером є також такі відомі методи оцінки (що до речі теж спираються на рекомендації стандартів серії OHSAS) як побудова графі оцінки ризику, облік ризику (risk score), оцінка ризиків на основі матриці «ймовірність-збиток» та risk Assessment code.

Зазначені методи, які ми ретельно проаналізували у попередніх



дослідженнях, мають схожі переваги і недоліки з методом Файн-Кінні тому в рамках цієї статті розглядатись не будуть.

Метод побудови матриці наслідків і вірогідності застосовують під час попередньої оцінки ризиків та їх подальшого ранжирування за пріоритетом (тяжкості наслідків впливу, у разі його реалізації у небезпеку, вірогідності такої реалізації тощо). Форма матриці на практиці, найбільш часто застосовується для аналізу критичності в рамках методу FMEA, встановлення пріоритетних заходів після проведення дослідження небезпеки і працездатності системи HAZOP, а також у разі відсутності достатньої інформації щодо проведення ретельного аналізу небезпек (в тому числі кількісного).

Переваги цього методу полягають у можливості ранжування професійних ризиків та відносної легкості застосування його на практиці.

Недоліками можна вважати високий ступінь суб'єктивності методу, залежність результатів від рівня ретельності проведення аналізу (кваліфікації виконавця), неможливість універсалізації матриці для застосування на різних підприємствах, відсутність об'єктивного підходу до всеосяжної оцінки впливу на стан системи «людського» та зовнішніх факторів стохастичної природи (за рахунок можливості складання матриці виключно для конкретних ситуацій).

Метод HAZOP (дослідження небезпеки та працездатності) є якісним методом оцінки, метою якого є ідентифікація небезпек. Процес оцінки проводиться шляхом умовного подрібнення дослідної системи на складові частини (підсистеми, елементи, компоненти) та їх подальшого аналізу з метою визначення можливого стану відхилення системи в умовах впливу тих чи інших небезпечних факторів, номенклатури таких факторів, а також ймовірності виникнення відповідних небажаних наслідків.

До кожної підсистеми та елемента (компонента) системи застосовують заздалегідь розроблені певні ключові та керуючі слова, які дають змогу дослідити та виявити можливі зміни (відхилення) елементів системи від нормального режиму роботи. У разі виявлення таких відхилень з'ясовуються причини, які їх викликали, визначаються можливі наслідки настання небезпечної події та розробляються заходи щодо усунення таких причин або (за неможливості їх усунення) мінімізації важкості наслідків.

Перевагами методу HAZOP є забезпечення детального та комплексного дослідження системи, що в свою чергу створює передумови для всебічної оцінки ризику, в тому числі дає змогу достатньо детально оцінити можливі причини та наслідки помилок операторів системи (вплив «людського фактора»). Залучення ж до виконання процесу оцінки фахівців з досвідом практичної роботи у суміжних галузях безумовно підвищує ступінь її об'єктивності. Також перевагою методу є можливість його поетапного застосування для досить широкого спектра процесів і систем, а реєстрація проміжних результатів, дає змогу більш детально проаналізувати певні етапи досліджень у разі виникнення спірних чи небажаних результатів.

До основних недоліків зазначеного методу можна віднести неможливість отримання кількісних результатів оцінки, значні витрати часу та ресурсів (матеріальних, людських) на його проведення, можливість внесення помилок у



вигляді впливу «людського фактора» під час складання експертних оцінок та ключових слів, а також недооцінку чи неврахування всіх можливих факторів (зовнішніх та «людського»), які можуть викликати відхилення в системі, але не визначені для аналізу в рамках відповідного дослідження.

Аналіз першопричини (RCA). Цей метод в галузі охорони праці та промислової безпеки в основному застосовується для дослідження причин виникнення нещасних випадків. Метод полягає у формуванні експертної групи, яка встановлює галузь застосування та мету методу, а також збирає статистичні дані і опитує працівників, що зайняті в виробничому процесі (з метою отримання інформації щодо відмов досвідченої системи). На основі отриманих даних група проводить структурований аналіз для встановлення першопричини виникнення нещасного випадку. Такий аналіз можна проводити різними методами.

Головне: «чому» сталася ця відмова, складання карти першопричин тощо), які за своєю суттю можуть сприяти досягненню мети досліджень (переважна більшість з них розглянуті в рамках цієї статті). Після проведення структурованого аналізу група розробляє відповідні рекомендації та висновки.

Перевагами методу RCA можна вважати детальний та досить глибинний розгляд всіх можливих гіпотез щодо встановлення першопричин відмов елементів системи. Це досягається завдяки застосуванню процесу структурованого аналізу, використанню статистичних даних і об'єктивних свідчень працівників які залучені до виробничого процесу, а також отриманню на виході рекомендацій та висновків експертів, що спрямовані на розробку відповідних заходів безпеки.

До недоліків методу відносяться відсутність можливості отримання результатів кількісної оцінки професійного ризику, неможливість (в деяких випадках) на практиці впровадження рекомендованих заходів безпеки, та можливість внесення помилок експертною групою під час аналізу системи (вплив «людського фактора»).

Висновки.

Отже, використання зазначених систем і методів аналізу результативності діяльності підприємства на основі визначення професійного ризику, на нашу думку, сприяють підвищенню ефективності управління підприємством в умовах ринку. Аналіз ефективності не обов'язково повинен містити в собі математичні розрахунки, він може бути і неформальним (експертні оцінки, змістовний аналіз якості роботи підприємств і управління ними).

Література:

1. Закон України «Про охорону праці». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
2. Запорожец О. І., Халмурадов Б. Д., Применко В. І. та ін. Безпека життєдіяльності. – К.: Центр учбової літератури, 2013. – 448 с.
3. Стефанович П. І., Гунченко О. М. Управління ризиками у системі управління охороною праці. Наукова стаття у Журналі “Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky”. – том 6, номер 2А. Видавець – Academic Society Of Michal Baludansky Kosice Slovakia – Volume 6, № 2А/2018/, ISSN 1338-



9432, P. 65-69.

4. Стефанович П. І., Стефанович І. С. Виробничий ризик в управлінні охорони праці. Environmental protection: колективна монографія. Київ: «Видавництва Людмила», 2020, ISBN 978-617-7828-54-8, ст. 103-109.

5. Журавська Н. Е., Стефанович П. І., Стефанович І. С., Пастушенко М. О. Виробничі ризики, їх причини та кваліфікація. UDC 001.1 Наукова стаття у Збірнику матеріалів The 1st International scientific and practical conference “Modern problems of science, education and society” (March 26-28, 2023) SPC “Sciconf.com.ua”, Kyiv, Ukraine. 2023. 1016 p. С. 263-270. ISBN 978-966-8219-87-0.

Abstract. The article considers the use of knowledge on theoretical aspects of the universalization of professional risk assessment. For this purpose, an analysis of the latest research and publications was made, and the qualities and combined methods of assessing occupational risks at enterprises were described, and the main methods of assessing this risk were shown.

Key words: Methods of analysis, professional risk, statistical methods, management, enterprise, labor protection management



УДК. 629

**THERMAL PROCESSES IN VENTILATED DISC BRAKES AND THEIR
SIMULATION IN TYPE II TESTS****ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ У ВЕНТИЛЬОВАНИХ ДИСКОВИХ ГАЛЬМАХ ЇХ
МОДЕЛЮВАННЯ НА ВИПРОБОВУВАННЯХ ТИПУ II****Zakhara I. Y./ Захара І. Я.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6214-6548

Kozak F. V./ Козак Ф. В.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-9147-883X

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**15 Karpatska St, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**вул. Карпатська 15, 76019*

Анотація. Сучасні автотransпортні засоби (АТЗ) характеризуються тим, що в них постійно покращуються експлуатаційні властивості, які забезпечують підвищення їх продуктивності та пропускної здатності автомобільних доріг внаслідок збільшення середньої швидкості руху. В наслідок чого виникає необхідність у вирішенні великої кількості задач математичної фізики, які мають практичне значення. Одним із найскладнішим для дослідження, вважаються динамічні процеси в системах з розподіленими параметрами.

Існує ціла низка проблем, що потребують розв'язку задач тепломасового переносу. Одна із них, це охолодження гальмових пристроїв, з метою підвищення ефективності роботи гальмівної системи АТЗ в цілому. Розв'язок даної задачі вимагає визначення температурних полів в конструкціях складного профілю з різними за координатами теплофізичними коефіцієнтами, які залежать від температури.

Актуальним постає питання дослідження впливу робочої температури на режим роботи вентильованих дискових гальмових механізмів АТЗ в умовах їх високої енергонавантаженості, які притаманні тривалими гальмуваннями (гірські умови).

Завдяки останнім дослідженням значно розширені можливості розв'язку задач теплопереносу на ПК, алгоритмів розв'язку і технічних засобів, які сприяють вирішенню вище означених задач.

Ключові слова: автотransпортний засіб, гальмівний механізм, вентильовані диски, випробування II, математичне моделювання, теплові моделі.

Вступ.

Серед експлуатаційних властивостей автотransпортних засобів (АТЗ), що забезпечують безпеку дорожнього руху велику роль відіграє гальмівна система. Найбільш нестабільну ланку гальмівної системи становить гальмовий механізм. У зв'язку з цим покращення гальмівних властивостей АТЗ та збереження їх експлуатаційних характеристик на протязі всього терміну служби є особливо актуальним. Наявність на автомобілях надійної та високоефективної гальмівної системи забезпечує підвищення безпеки руху та створює умови для більш ефективного використання тягово-швидкісних можливостей.

Тому вдосконалення теорії робочих процесів, конструкцій та дослідження режимів роботи гальмових механізмів з метою мінімізації їх температурного режиму і підвищення надійності є одним з актуальних завдань.



Матеріали досліджень.

У вивченні теплового стану складних підсистем, до яких відносять гальмові механізми, формулювання простих законів теплопереносу поки що неможливе, і замінюється побудовою ескізних моделей. Це не означає, що нехтується категорія закону, а додатково до відомих теоретичних і традиційних експериментальних досліджень на сучасному етапі залучається математичне моделювання. Відбувається заміна закону моделлю та з'являється новий вид експерименту (машинний експеримент), який дозволяє розглянути безліч варіантів різних моделей на ПК із подальшим порівнянням результатів досліджень з вибіркоким реальним експериментом.

В процесі розв'язку задач теплопереносу в складних геометричних деталях використовують відповідні програмні комплекси [1], з допомогою яких комп'ютерним моделюванням імітуються теплові процеси у фізичних об'єктах. До складу програмних комплексів здебільшого входять спеціальні інтегральні оболонки та комплекси розрахункових модулів. Зазначений програмний комплекс не складний і доступний у використанні як початківцям дослідникам, так і інженерно – експлуатаційному персоналу. Він розв'язує дво – чи тривимірні задачі теплопереносу у діалоговому режимі, що дає змогу отримувати одразу результат.

Комплекс передбачає, після входу у його оболонку, задавання відповідної кількості вузлів у досліджуваному об'єкті та встановлення розрахункового модуля, яким визначається клас розв'язуваної задачі. Викреслюється потрібна конфігурація досліджуваного фізичного тіла, задають відповідні умови однозначності у спеціальних таблицях скалярів та векторів, які будуть застосовуватись під час моделювання на дисплей комп'ютера. Ще одна із переваг – дослідник має можливість вибору із наборів багатьох кінцево-різницевого методів оптимальний, який, залежно від змісту задачі може бути або з мінімальною тривалістю розв'язку, або найточнішим чи найпростішим.

Комплекс дозволяє змінювати умови однозначності, вносити корективи у конфігурацію досліджуваної ділянки об'єкта, змінювати кроки фіксованих теплових станів за часом і простором, а також емпіричні коефіцієнти у визначених межах і методи розв'язування задач. Отримані результати можна контролювати на дисплеї після кожної ітерації або ж кроку встановленого інтервалу часу тривання теплового процесу. Результати подаються у вигляді як теплових полів об'єкта, так і відповідних числових значень температур у кожному його вузлі. Кожен етап моделювання вноситься у пам'ять і за потреби він може бути продовжений або закінчений, якщо отримано шуканий результат.

Розроблений розрахунковий модуль для дослідження температурних полів у дискових гальмових механізмах під час їхньої роботи на режимах притаманні тривалими гальмуваннями (гірські умови) [2]. В модулі процес теплообміну розроблений у двовимірній постановці, де обертання колеса імітується переміщенням гальмової накладки по диску (переміщенням джерела тепловиділення) і автоматично реалізується програмою математичного модуля.

У процесі розв'язку через проміжок часу, що визначає чверть обороту колеса, що, у свою чергу, залежить від швидкості руху, джерело тепловиділення



зміщається на один квадрант проти ходу обертання.

Основним завданням інтервалів часу визначається частотою обертів колеса у секунду. Крок за часом $\Delta \tau$ повинен відповідати часові, через який здійснюється чверть оберту колеса. Проміжок часу τ визначається кількістю обертів колеса, що потрібно здійснити для виміру температури.

Отже, під час моделювання значення температури можливо визначати через чверть оберту колеса або будь-який проміжок часу при гальмуванні та охолодженні.

Програмою передбачено:

- задавання з кута масиву коефіцієнтів теплопровідності λ по всьому масиву;
- задавання λ з першого стовпця масиву за рядками;
- задавання з кута масиву об'ємної теплоємності $c\rho$ по всьому масиву;
- задавання $c\rho$ з першого стовпця масиву за рядками.

Початкові умови заносяться в програму окремо в кожен вузол масиву. А також, для зручності, програмою передбачено, що початкові умови можна занести ще за двома варіантами. У випадку однорідного розподілу температур автоматично заносити їх по всьому масиві з верхнього кута масиву температур. У випадку неоднорідного початкового розподілу температур робити завдання температур за рядками масиву з першого стовпця масиву температур.

Для граничних умов першого роду потрібно задати розподіл температур на межі області F у будь-який момент часу τ :

$$T_{F,\tau} = T(x, y, z, \tau), \text{ або } T_{F,\tau} = \text{const.}$$

Програмою моделювання передбачено задання температури та її фіксування для будь-якого вузла області F . Температура задається за рядками з першого стовпця масиву температур і фіксується у потрібних вузлах. Якщо у вузлах моделі з граничними умовами першого роду, для яких фіксування температур не передбачено, вони (значення температур) вилучаються з пам'яті комп'ютера.

Для граничних умов другого роду потрібно задаватися густиною теплового потоку, яка є змінною за часом τ .

$$Q_{F\tau} = Q_{F,\tau}(x, y, z, \tau), \text{ або } Q_{F\tau} = \text{const.}$$

Завдання інтенсивності теплового потоку здійснюється за рядками, починаючи з першого стовпця масивів теплових потоків. Під час моделювання процесу теплопередачі густина теплового потоку задається автоматично по вузлах, які імітують робочу поверхню тертя дискового гальма. Якщо гальмо охолоджене, значення теплоти в усіх вузлах теплової моделі нульове.

Процес теплопередачі передбачає завдання (з усього масиву за рядками) температур середовища та коефіцієнта тепловіддачі. Процес же охолодження характеризується у моделі граничними умовами третього роду.

Нестаціонарний температурний режим гальм, який на сітковій моделі характеризується різними температурними полями, імітується таким чином. Спочатку у таблицю розподілу температур заносяться їх значення, відтак у цю ж таблицю вводяться температури заданих граничних умов 1-го роду. Ці граничні умови обов'язково фіксуються.



В окрему таблицю температур середовища заносяться їх значення, при цьому для заданих граничних умов 3-го роду. У ще одну таблицю вводяться значення коефіцієнта тепловіддачі для початкового моменту часу випробувань.

Для граничних умов 2-го роду, яким відповідає відповідна кількість теплоти Q із відповідними значеннями густини теплового потоку на початковий момент часу також формуються їх відповідні масиви і заносяться у таблицю джерел теплоти.

Після цього з використанням програмного комплексу розраховуються температури для кожного наступного моменту часу. Аналогічним чином розрахунковий цикл повторюється n -ну кількість разів з відповідними часовими кроками. Кожний наступний часовий крок починається з автоматичного занесення у таблицю початкового розподілу температур відповідних їх значень, які відповідають температурам у вузлах теплової моделі у $(n-1)$ -й момент часу. У цю ж таблицю можуть заноситися (з фіксацією) температури поверхонь у n -й момент часу, які відповідають граничним умовам 1-го роду.

Так само автоматично вводяться у відповідній таблиці температури середовища, коефіцієнт тепловіддачі у n -й момент часу для граничних умов 3-го роду. Для граничних умов 2-го роду у таблицю джерел теплоти заносяться значення густини теплового потоку для цього ж n -го моменту часу.

Отже, на підставі граничних умов, які визначаються коефіцієнтом тепловіддачі, температурою у вузлах моделі та інтенсивністю теплового потоку, для кожного n -го моменту часу і температурних полів в конструкції механізму в $(n-1)$ -й момент часу, визначають температуру тіла в n -й момент часу.

Встановлено, що на початку моделювання теплопереносу на температурне поле тіла впливає початковий його розподіл. Через відповідний інтервал часу постійного гальмування первинний розподіл температур змінюється і настає новий розподіл уже на початку процесу охолодження диска. Цей новий розподіл температур фіксується як розв'язок на відповідному етапі моделювання. Наприкінці процесу охолодження елементів дискового гальма здійснюється знову перерозподіл температур, які для повторного гальмування будуть фіксуватися як початкові умови.

Зважаючи на те, що розв'язування задачі стосується дискретних величин у просторі та часі, то на кожному кроці можна вносити відповідні корективи залежно від зміни координат, температури і часу щодо граничних умов, джерел теплоти та непостійності і нелінійності теплофізичних характеристик матеріалів пар тертя. Граничні умови визначають інтенсивність теплових потоків, коефіцієнт теплообміну та зміни допустимих меж температури у зоні тертя. У разі, якщо враховується тенденція нелінійності і залежності від координат та часу тих величин, що входять у математичну модель, то вони вводяться у ці залежності відповідними методами, виходячи із фізичного змісту задачі, яка розв'язується. Створена на підставі обґрунтованого методу теплова модель дискового гальма АТЗ перевірена на адекватність [3] за результатами аналітичного розв'язку рівняння теплопровідності [4, 5] при екстремому гальмуванні, коли тепловіддачею можна знехтувати із-за короткої тривалості процесу (3сек)



В описаному вище математичному модулі програмного комплексу застосована двовимірна сітка термічних опорів. Програма забезпечує автоматичний розрахунок опорів сітки з різними, але постійними кроками по координатах x , y і дає можливість враховувати розмір z тільки по всій сітці. Тому програма не дозволяє моделювати температурні поля одночасно в диску і накладці гальмового механізму.

З огляду на це у випадку дискових гальмових механізмів тривимірні процеси теплопровідності в них можна описати двовимірною системою диференціальних рівнянь з корекцією теплофізичних коефіцієнтів і граничних умов від координати z .

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_d(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_d(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q(x, y, z) = c_d \rho_d(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_n(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_n(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q(x, y, z) = c_n \rho_n(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial \tau}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_k(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_k(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] = c_k \rho_k(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial \tau}. \quad (3)$$

Якщо прийняти, що теплофізичні коефіцієнти деталей гальмових механізмів λ і $c\rho$ слабо залежать від температури і їх можна вважати постійними, то система рівнянь (2.31)–(2.33) перетворюється в систему лінійних рівнянь теплопровідності.

Двовимірна система лінійних диференціальних рівнянь з корекцією теплофізичних коефіцієнтів і граничних умов від координати z має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_d(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_d(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q(x, y, z) = c_d \rho_d(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial \tau}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_n(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_n(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + Q(x, y, z) = c_n \rho_n(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial \tau}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_k(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_k(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial y} \right] = c_k \rho_k(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial \tau}. \quad (6)$$

Для розв'язку зазначених задач на цій двовимірній сітці розроблена відповідна методика моделювання [4]. По координаті z буде моделюватися сектор гальмового диска, накладки і колодки (рисунк 1).

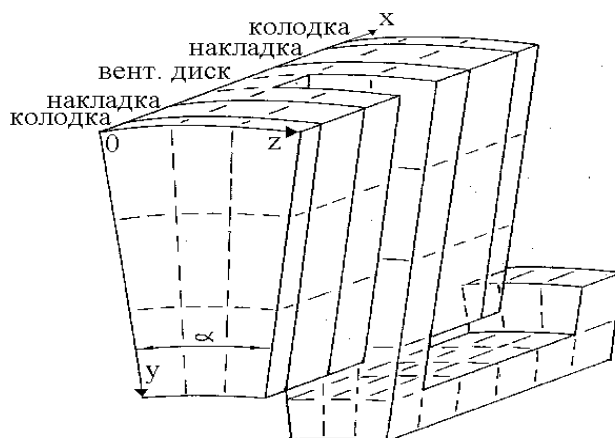


Рисунок 1- Сектор тривимірної моделі дискового гальма з вентильованим диском



Як показали дослідження [6], похибка при переході від тривимірної до двовимірної сітки не перевищує 2%.

Тому з цією метою на двовимірній сітці (рисунок 2) за координатою Z моделюється наведений вище сектор гальма. При цьому зміни середньої товщини сектора за координатою Y з кроком ΔY враховуються зміною теплофізичних коефіцієнтів для кожного горизонтального рядка сітки. Перший горизонтальний рядок буде відповідати встановленим крокам за простором X, Y, Z , і в нього задаються дійсні теплофізичні коефіцієнти. В наступних рядках їх значення визначають відповідно до зміни середньої товщини за координатою Z залежно від просторового кроку за координатою Y .

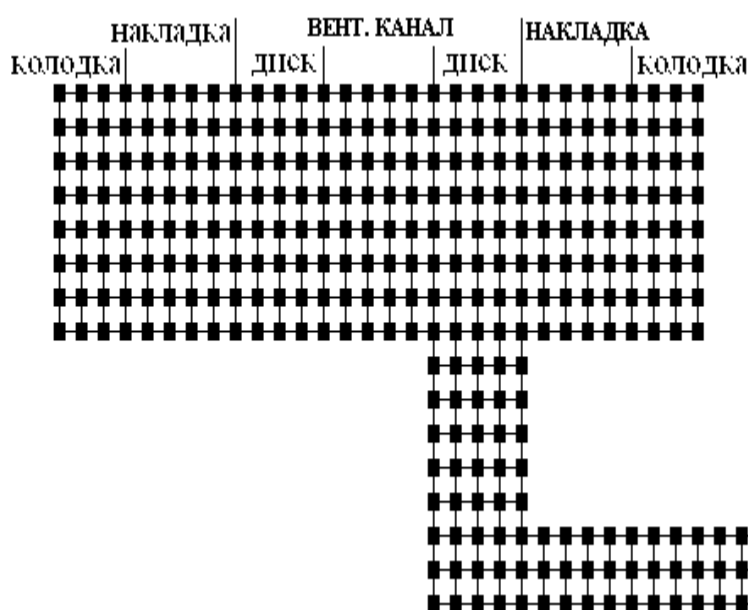


Рисунок 2 - Сіткова модель вентильованого дискового гальма

В математичному модулі використовується прямокутна система координат, в якій допускається різна дискретизація за координатами X, Y, Z . Крок за координатами рівний $\Delta X = 0,004 \text{ м}$; $\Delta Y = 0,01 \text{ м}$; $\Delta Z = 0,02 \text{ м}$. Задаємо однорідний початковий розподіл температур $T = 20^\circ\text{C}$. З першого стовпчика масивів теплофізичних коефіцієнтів на кожний рядок вузлів пропорційно дійсним площам задаються їх значення.

Після цього конфігуратором змінюється конфігурація моделі, прототипом якої служить передній гальмовий механізм автобуса А 172. [7]

На ділянці пояса тертя в моделі гальма змінюють пропорційно дійсним площам значення коефіцієнта теплопровідності, а на границях моделі таким самим чином задають значення граничних умов третього роду.

Особливістю моделювання вентиляційних каналів є зменшення значення об'ємної теплоємності та теплопровідності у 3,2 рази в об'ємі перегородок диска по товщині вентиляційного каналу. На стінки каналів задаються граничні умови третього роду, тобто значення коефіцієнтів тепловіддачі α (рисунок 3).

До недоліків методу математичного моделювання можна віднести наступне:

– достовірність розрахункових результатів залежить від повноти і точності початкових даних і достовірності прийнятих припущень;



- для прискорення розрахункових досліджень часто приймаються спрощені моделі, що знижує точність розрахунків;
- в багатьох випадках необхідні попередні експериментальні дані.

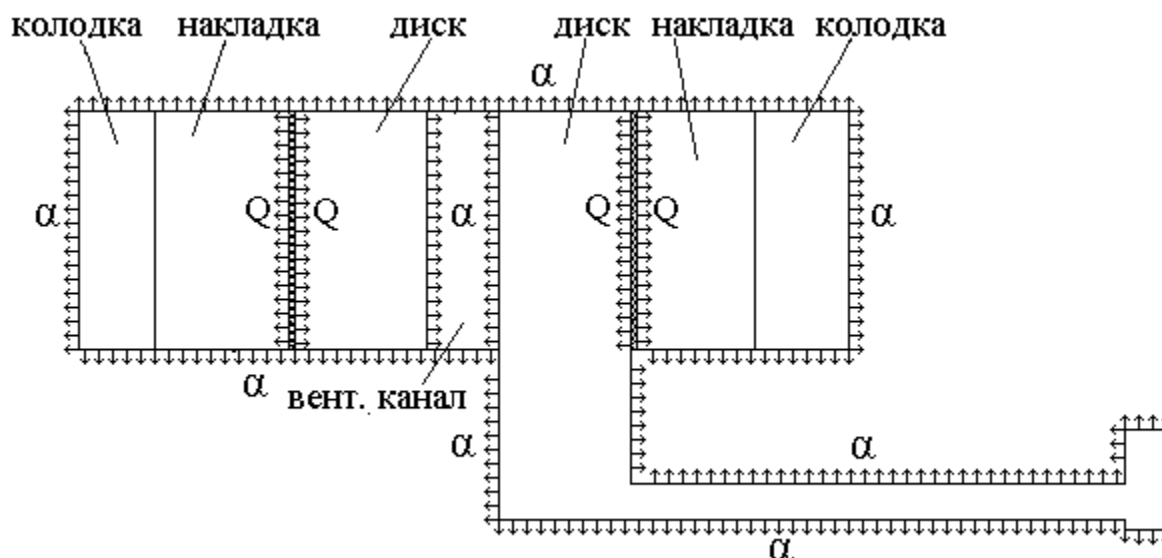


Рисунок 3 - Завдання граничних умов на моделі вентильованого дискового гальма

До такого випадку якраз відноситься отримання достовірних граничних умов третього роду, тобто умов тепловіддачі від дискових гальм, що можна одержати під час дорожніх випробувань АТЗ.

Висновки

1. Виявлено переваги та недоліки методів математичного моделювання. Обґрунтовано вибрано метод кінцевих різниць для дослідження температурних режимів гальм із-за можливості використання сучасного програмного забезпечення та швидкодіючих комп'ютерів.
2. Моделювання теплових процесів дозволить ще на етапі конструювання визначити параметри робочих елементів гальмового механізму АТЗ.
3. Створена методика моделювання теплових процесів у вентильованих гальмових механізмах з врахуванням тривимірності та завдання граничних умов у вентиляційних каналах диска.
4. Оскільки для завдання вірогідних значень коефіцієнтів тепловіддачі α від вентильованих дискових гальм, необхідно ідентифікувати α математичним моделюванням за результатами дорожніх випробувань автобуса. Для цього необхідно створити вимірювальний комплекс гальмівних властивостей АТЗ.

Література:

1. Тарапон А.Г. Программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса при аварийных ситуациях // Методы и средства компьютерного моделирования. Сб. / Тарапон А.Г., Сорокин Н.А., Тернавський В.О. – К.: Изд-во ИПМЭ НАНУ, 1997. – С. 58–60.
2. Гудз Г.С., Коляса О.Л., Тарапон А.Г. Расчетный модуль для исследования температурных полей в дисковых тормозах автотранспортных средств // Зб.



наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ „Моделювання та інформаційні технології». / Гудз Г.С., Коляса О.Л., Тарапон А.Г. – Київ, 2001, вип. 8. – С. 45–50.

3. Коляса О.Л. Обґрунтування теплової моделі дискових гальмових механізмів автомобільних коліс: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / О.Л. Коляса. – Львів, 2002. – 19 с.

4. Limpert R. An investigation on thermal conditions leading to surface rupture of cast iron rotors // SAE Paper 720447, 1972. – P. 1–14.

5. Morgan S., A theoretical prediction of disk brake temperatures and a comparison with experimental data. SAE Preprints, № 720090, / Morgan S., Dennis R. 1972. – P. 67–80.

6. Осташук М.М. Розроблення методу визначення розподілу теплових потоків в елементах автомобільних дискових гальм на тривимірних моделях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / М. М. Осташук – Львів, 2005. – 19 с.

7. Гудз Г.С. Перевірка енергоємності дискових гальм перспективних автобусів / Г.С. Гудз, О.Р. Клипко // Вісн. Донецького ін – ту автомоб. тр – ту. – Донецьк: ДІАТ, 2006. – № 2 – 3. – С. 61–68.

References

1. Тарапон А.Н. Программный комплекс для моделирования последствий столкновения при аварийных ситуациях // Методы и средства компьютерного моделирования. Сб. / Тарапон А.Н., Сорокын Н.А., Тернавский В.О. – К.: Изд-во УПМЭ НАНУ, 1997. – С. 58–60.

2. Hudz H.C., Koliaca O.L., Tarapon A.H. Расчетный модуль для исследования температурных полей в дисковых тормозах автотранспортных средств // Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ „Моделювання та інформаційні технології». / Hudz H.C., Koliaca O.L., Tarapon A.H. – Kyiv, 2001, vyp. 8. – С. 45–50.

3. Koliaca O.L. Обґрунтування теплової моделі дискових гальмових механізмів автомобільних коліс: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / О.Л. Кoliaца. – Lviv, 2002. – 19 с.

4. Limpert R. An investigation on thermal conditions leading to surface rupture of cast iron rotors // SAE Paper 720447, 1972. – P. 1–14.

5. Morgan S., A theoretical prediction of disk brake temperatures and a comparison with experimental data. SAE Preprints, № 720090, / Morgan S., Dennis R. 1972. – P. 67–80.

6. Ostashuk M.M. Розроблення методу визначення розподілу теплових потоків в елементах автомобільних дискових гальм на тривимірних моделях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / М. М. Осташук – Lviv, 2005. – 19 с.

7. Hudz H.C. Перевірка енергоємності дискових гальм перспективних автобусів / H.C. Hudz, O.P. Klypko // Вісн. Донецького ін – ту автомоб. тр – ту. – Donetsk: DIAT, 2006. – № 2 – 3. – С. 61–68.

Abstract. Braking is a form of motor vehicle (MV) driving that ensures speed reduction and its motionless positioning. The vehicle braking properties are specified by the Regulations No. 13 of the Committee on Internal Transport of the United Nations Economic Commission for Europe. Special interest is generated by the study of the brakes thermal behavior at cycling braking specified by the 2st type tests in accordance with the given regulations.



Until recently, the studies of the brake units thermal behavior were conducted with the help of the methods of single-factor or sequential experiments. The results of such studies are presented in the form of a great variety of diagrams, on the basis of which there are developed criteria dependencies, in accordance with which it is impossible to determine numeric temperature values when reuniting the factors that determine them. Therefore, the issue of development of efficient study methods on the basis of the similarity, modeling, and experiment planning theories becomes topical since these methods provide a possibility to solve a lot of the fundamentally new problems that cannot be resolved with the help of the common classical ones (methods of one of the theories).

Стаття відправлена: 13.11.2023 г.

© Захара І.І.



УДК 62-192:629.3.07

METHOD OF SELECTING THE PARAMETERS OF DIAGNOSTIC ELEMENTS OF VEHICLES OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Shavkun V.M. / Шавкун В.М.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3253-1282

Okrutny A.B. / Окрутний А.Б.

PhD student / аспірант

Mukhin M.V. / Мухін М.В.

master's student / магістрант

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Marshal Bazhanov, 17, 61002

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова,
Харків, Маршала Бажанова, 17, 61002

Анотація. В роботі розглядається методика розробки алгоритмів та програм розрахунку, оптимальної періодичності діагностування структурних одиниць об'єкта діагностування. Доведено, що рішення щодо ефективної експлуатації повинно завжди прийматися на основі вибору, який може бути критеріальним (як в розглянутому випадку), вольовим (усвідомленим) і випадковим (інтуїтивним). Створення бази даних показників надійності дозволить прогнозувати настання відмов, корегувати міжремонтні пробіги, планувати обсяги запасних частин.

Отримані результати можуть бути використані в якості вихідних даних для постановки і вирішення низки завдань управління експлуатаційною надійністю та діагностики транспортних засобів міського електричного транспорту.

Ключові слова: система діагностики, параметр діагностування, періодичність контролю, об'єкт діагностування, алгоритм контролю, інтенсивність відмов, транспортний засіб, ефективна експлуатація.

Постановка проблеми.

Експлуатація різних транспортних засобів в галузі міського електричного транспорту (МЕТ) супроводжується високими витратами на підтримку їх працездатного стану протягом усього терміну експлуатації. Збереження працездатності транспортних засобів забезпечується виконанням планово-запобіжних робіт з технічного обслуговування (ТО) і ремонту, а також позапланових ремонтів, що проводяться для усунення відмов, які виникають в між профілактичні періоди, і несправностей.

В даний час велика увага приділяється необхідності впровадження технічного діагностування в галузі міського електричного транспорту, що послужить основою для поступового переходу від планово-попереджувальної системи ремонту до системи ремонту рухомого складу по фактичному стану. Крім того, після виконання поточних ремонтів необхідно перевірити роботу вузлів рухомого складу міського електричного транспорту, що ставить перед технічною діагностикою задачу «вихідного контролю», перевірки правильності виконання електричного монтажу. Під час руху електричного транспорту виникають відмови схем управління і силових схем, пошук яких вимагає значних



витрат часу і досконального знання схем електричного транспорту. У зв'язку з цим перед системою діагностування електричного устаткування ставляться задачі виявлення несправностей і попередження виникнення раптових відмов.

Під час розробки діагностичного забезпечення технічних систем, у яких процес зміни контрольованих параметрів є безперервним, однією з розв'язуваних задач є задача вибору раціональної періодичності контролю працездатності об'єкта діагностування [1].

У якості вихідних даних для рішення задачі визначення періодичності контролю працездатності використовуються результати рішення задач вибору набору діагностичних параметрів і вибору раціонального алгоритму контролю працездатності об'єкта діагностування (ОД). Результати рішення цієї задачі визначають вимоги до комплексу технічних засобів діагностування, а також витрати на діагностування [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У роботах [3–5] пропонується розрахувати оптимальний період діагностування не резервованих об'єктів безперервного використання за допомогою виразу:

$$T_{opt} = \frac{1}{\nu_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot \tau_0}{\lambda}}, \quad (1)$$

де τ_0 – середній час діагностування ОД, у якому відсутній дефект;

λ – інтенсивність виникнення дефектів в ОД;

ν_0 – інтенсивність діагностування при T_{opt} .

Визначення T_{opt} з урахуванням витрат на діагностування може бути виконано виходячи з умови:

$$T_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\tau_0 + \beta)}{\lambda}}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{C_0}{(C_u + C_y)}, \quad (3)$$

де C_0 – середні витрати на одне діагностування, грн;

C_u – продуктивність ОД, грн/год.;

C_y – середній збиток в одиницю часу, обумовлений дефектами в ОД і режимами діагностування, грн./год.

Формулювання мети та постановка задач.

Метою роботи є розробка методики вибору параметрів діагностування елементів транспортних засобів міського електротранспорту, оптимальної періодичності діагностування структурних одиниць об'єкта діагностування.

Для досягнення мети поставлено задачі:

- вибрати раціональну періодичність контролю працездатності ОД;
- вибрати набір діагностичних параметрів і раціональний алгоритм контролю працездатності ОД.

Викладення основного матеріалу.

В останні роки процес діагностування піддався більш глибокому



дослідженню. При рішенні задач організації системи діагностування (СД) стали враховувати вплив на ефективність діагностування показників, що характеризують безвідмовність, контролепридатність і ремонтпридатність як об'єкта так, і технічних засобів діагностування (ТЗД), що у свою чергу, пов'язані з показниками, що характеризують організацію діагностування, використання й експлуатації ОД. Разом з тим аналіз процесу взаємодії ОД і ТЗД при діагностуванні дозволяє обґрунтовано, виходячи з обраного критерію організації системи діагностування, сформулювати вимоги до об'єкта і технічних засобів з урахуванням специфіки використання й експлуатації ОД [4–6].

У загальному випадку, у ході аналізу процесу взаємодії елементів СД можна визначити максимальне значення обраного критерію (прямі задачі організації СД чи значення показників, що характеризують ОД і ТЗД, що забезпечують досягнення заданого критерію (зворотні задачі організації СД).

Розгляд процесу взаємодії елементів СД показує, що в ході аналізу необхідно враховувати різноманітні фактори які істотно впливають на її організацію.

Рішення задачі організації починається з вибору критерію якості організації процесу взаємодії елементів СД. Оскільки СД призначена для підвищення ефективності ОД, то як критерій може бути обраний один з показників, що характеризують ефективність ОД, з іншої сторони діагностування зв'язане з додатковими витратами, що дозволяє як критерій організації СД використовувати вартісні оцінки.

Після вибору критерію здійснюється аналіз можливих режимів використання об'єкта. Потім визначають режими діагностування ОД, закон розподілу, якому підкоряються показники, що характеризують взаємодію елементів СД. Вид закону розподілу впливає на вибір математичного апарату і методів рішення задач організації.

При організації процесу взаємодії елементів СД необхідно враховувати і вид технічних засобів діагностування, що можуть бути вбудованими і зовнішніми.

При розробці бортової системи діагностування як критерії вибираються показники, що характеризують надійність і безвідмовність основних вузлів рухомого складу і електричного транспорту в цілому.

За режимом використання бортову СД рухомого складу електричного транспорту можна віднести до систем безупинного використання, тому що час безупинного використання електричного транспорту значно більше часу появи дефекту.

Режим діагностування – регулярний-періодичний. Рухомий склад міського електричного транспорту розбивається на N груп вузлів (структурні одиниці) періодичність діагностування кожної групи τ_i , $i \in \{1, N\}$, повинна вибиратися з урахуванням показників надійності цих вузлів. Так як, для розрахунку показників надійності вузлів і деталей електричного транспорту може бути використана методика, заснована на використанні залежності середньої кількості відмов від наробітку (Н-характеристика) [6–8], то немає необхідності визначати закон розподілу, якому підкоряються показники що характеризують



надійність вузлів електричного транспорту.

Як задача організації взаємодії елементів СД обрана задача визначення працездатності, пошуку дефектів і прогнозування зміни стану ОД.

У процесі розвитку діагностичних систем рухомого складу питанням вибору періодичності діагностичних перевірок приділялася значна увага. Серед робіт, присвячених питанням визначення періодичності постановки діагнозу тягового рухомого складу слід зазначити роботу [6–8].

При наявності математичного опису випадкового процесу зміни параметра $x(t)$, та якщо відомі значення його докритичного $x_{кр}$ і граничного x_c рівнів у міжремонтний період T_p , можна визначити момент діагностування T_0 при заданому рівні безвідмовності. Для цього необхідно знайти зв'язок попереджувального діагностування $\tau = T_p - T_0$ із допуском $\Delta x = x_c - x_{кр}$. Перевірка технічного стану структурної одиниці виконує роль своєрідного екрану: прозорого при $x(T) < x_{кр}$ і поглинаючого при $x(T) > x_{кр}$.

Корегування міжремонтного (діагностичного) терміну здійснюється за допомогою теореми екранів:

$$\int_{T_2}^{T_1} f(t, x_{ep}) dt = \int_{x_{кр}}^{x_c} \varphi(x, T_2) dx, \quad (4)$$

тобто визначається період T_2 , що у даному випадку дорівнює міжремонтному періоду T_p .

Розглянутий метод може бути використаний для визначення термінів діагностування всіх структурних одиниць і агрегатів електричного транспорту. Однак для його реалізації необхідно мати залежність зміни параметра $x(t)$, отриману при статистичному дослідженні.

У роботі розроблені наукові основи потокової технології діагностування і технічного огляду транспортних засобів електротранспорту, що базується на математичних моделях теорій розкладів і масового обслуговування з пріоритетами.

У роботах [3–5], розроблені теоретичні основи розрахунку раціональної організації роботи систем діагностування. Методика розрахунку організації системи діагностування з максимальною вірогідністю одержуваної інформації, що дозволяє визначити характеристики СД на початковому етапі їхньої розробки (задача А). Методика розрахунку організації СД при наявності пріоритетних елементів, що дозволяє визначити характеристики СД при виділенні елементів, відмовлення яких може вплинути на безпеку руху, або мати важкі наслідки (задача Р). Методика розрахунку організації СД із мінімізацією невизначеності технічного стану електричного транспорту, що дозволяє визначати характеристики СД при відсутності економічних, або інших критеріїв, а також при заданій ентропії, одержати характеристики надійності без обліку умов експлуатації і системи утримання (задача Н). Методика розрахунку СД із мінімізацією збитків від несвоєчасного одержання інформації, що дозволяє визначати характеристики СД з урахуванням економічних критеріїв (задача С).

Розглянуті методики розроблялися для стаціонарних діагностичних



комплексів електричного транспорту. Аналіз методик показує, що більшість з них можуть бути використані при розробці бортових систем діагностування електричного транспорту, однак необхідно переглядати критерії організації систем діагностування. У першу чергу, для бортових систем зменшуються витрати пов'язані з витратами часу на діагностування, тому що системи працюють у режимі функціонального діагностування.

До бортових систем пред'являються вимоги забезпечення максимальної інформативності про стан контрольованого об'єкта, тому для бортових систем можна виділити два типи періодів діагностування:

- «діагностичні» періоди – інтервали часу між опитуваннями датчиків інформаційно-діагностичним комплексом (ІДК);
- «прогнозуючі» періоди – інтервали часу через який повинний проводитися запис інформації про значення контрольованого параметра до постійного запам'ятовуючого пристрою з метою подальшого аналізу процесу зміни значень діагностичних параметрів та прогнозування настання відмови.

Для визначення періодів опитування датчиків бортових систем діагностування необхідно вирішити задачу вибору періодів діагностування які забезпечують максимальну вірогідність одержуваної інформації (задача А).

Формулювання задачі А.

Визначити періоди опитування елементів τ_i , так щоб вірогідність одержуваної інформації була б максимальною, а завантаження діагностичного комплексу не перевершували б наперед заданої величини ρ і при цьому виконувалася б умова запуску ІДК:

$$\begin{aligned} \sum \tau_i &\rightarrow \min, \\ D &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\sum \tau_i$ – сумарний час на опитування всіх датчиків;

D – вірогідність інформації про стан електричного транспорту.

Вірогідність одержуваної інформації будемо вимірювати імовірністю того, що між діагностичними перевірками зміни в технічному стані елементів не буде:

$$D = \prod_{i=1}^m e^{-\lambda_i \tau_i}, \quad (6)$$

де λ_i – інтенсивність виникнення дефектів в i -тій структурній одиниці.

Завантаження пункту діагностування:

$$\rho = \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{\tau_i}, \quad (7)$$

де t_i – час роботи ІДК із i -тим елементом.

Умову запуску системи діагностування сформулюємо у виді: мінімальний період між проведенням перевірок повинний бути не менш сумарного часу роботи ІДК з елементами:

$$\sum_{i=1}^m t_i < \min(\tau_i). \quad (8)$$

Для визначення періодів часу відновлення інформації про значення



контрольованого параметра необхідно вирішити задачу Р.

Формулювання задачі Р.

Визначити періоди опитування елементів $\{\tau_i > 0\}$, $i=1, m$ так, щоб вірогідність інформації про інші елементи $i=1, r$, ($r < m$) була б не нижче заданого рівня α , а вірогідність інформації про інші елементи була б максимальною і при цьому виконувалися умови по завантаженню СД.

Математична постановка задачі. Необхідно знайти такі τ_i , $i=1, m$ щоб

$$\begin{aligned} I &= \sum_{i=r+1}^m \lambda_i \tau_i \rightarrow \min \\ I &= \sum_{i=1}^K \lambda_i \tau_i < \alpha, \\ \alpha &= -\ln(P_0) \end{aligned} \quad (9)$$

і при цьому виконувалися умови (7) та (8), де P_0 – заданий рівень вірогідності інформації про пріоритетні елементи [9-11].

Для розв'язання цих задач необхідно провести збір статистичних даних по відмовам вузлів електричного транспорту та визначити інтенсивність відмов електричного транспорту, крім того необхідно знати затрати часу на проведення опитування датчиків для кожної структурної одиниці.

Висновки.

Таким чином, рішення щодо ефективної експлуатації повинно завжди прийматися на основі вибору, який може бути критеріальним (як в розглянутому випадку), вольовим (усвідомленим) і випадковим (інтуїтивним).

Використовуючи вище викладені методики (задачі А і Р) можна розробити алгоритми та програми розрахунку, оптимальної періодичності діагностування структурних одиниць ОД.

Дана робота дозволяє обґрунтувати такі пропозиції:

- ✓ зниження числа позапланових зупинок (раптових відмов) обладнання при досягненні максимально тривалого терміну експлуатації коштовного устаткування;
- ✓ постійна наявність (надання) інформації про стан обладнання, що дозволяє аналізувати стан загальної продуктивності, а також прогнозування та планування потреби у необхідному обслуговуванні;
- ✓ зниження експлуатаційних витрат підприємства, збільшення прибутку, підвищення безпеки праці, якості обслуговування пасажирів та скорочення відмов.

Додатково необхідно відзначити, що для підвищення ефективності використання системи діагностування інформація про значення контрольованих параметрів електричного транспорту отримана в процесі діагностування, повинна накопичуватися й аналізуватися в пунктах технічного обслуговування в загальній базі даних. Створення бази даних показників надійності дозволить прогнозувати настання відмов, корегувати міжремонтні пробіги, планувати обсяги запасних частин.

Література:

1. Шавкун В. М. Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної



діагностики електричного транспорту [Текст] / В. М. Шавкун // Комунальне господарство міст: Серія: Технічні науки та архітектура. Наук.-техн. сб. – Харків.: ХНУМГ, 2018. – Вип. 1(142). – С. 58-63.

2. Яцун, М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів [Текст] / М. А. Яцун, А. М. Яцун. – Львів.: «Львівська політехніка», 2010. – 228 с.

3. Шавкун В. М. Аналіз сучасних методів діагностики технічного стану асинхронних двигунів [Текст] / В. М. Шавкун, В. В. Лінков // Комунальне господарство міст: Серія: Технічні науки та архітектура. Наук.-техн. сб. – Харків.: ХНУМГ, 2019. – том. 5 (151). – С. 8-12.

4. Pavlenko T. P. Methodology of determining the parameters of traction electric motor failures when operating trolleybuses [Текст] / Т. Р. Pavlenko, V. M. Shavkun, V. I. Scurihin, N. P. Lukashova // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна: – ДНУЗТ, 2018. № 4(76) – С. 47-59.

5. Pavlenko, T. Ways to improve operation reliability of traction electric motors of the rolling stock of electric transport [Текст] / Т. Pavlenko, V. Shavkun, A. Petrenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 8(89). – P. 22–30. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112109.

6. Далека В. Х. Технічна експлуатація міського електричного транспорту : навч. посібник [Текст] / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, Е. І. Карпушин – Х. :, ХНУМГ, 2014. – 235 с

7. Бондаренко В. Г. Теорія імовірностей і математична статистика [Текст] / В. Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова // К.: НТТУ «КПІ», 2006. – 125 с.

9. Шавкун В. М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Вип. 1/7(67). – 2014, С. 48 – 52.

10. Kolcio, K., Fesq, L. Model-based off-nominal state isolation and detection system for autonomous fault management [Текст] / К. Kolcio, L. Fesq // IEEE Aerospace Conference Proceedings. 2016 – June.

DOI: 10.1109/AERO.2016.7500793.

11. Krobot, Z., Turo, T., Neumann, V. Using vehicle data in virtual model for maintenance system support [Текст] / Z. Krobot, T. Turo, V. Neumann // ICMT 2017–6th International Conference on Military Technologies, P. 171–174. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988750.

Abstract. The operation of various vehicles in the field of urban electric transport is accompanied by high costs to maintain their working condition throughout the service life. Preservation of serviceability of vehicles is provided by performance of planned and preventive works on maintenance (MOT) and repair, and also the unscheduled repairs which are carried out for elimination of failures which arise in the interprophylactic periods, and malfunctions.

As already noted, in the planned preventive maintenance and repair system, the vehicle after a certain mileage (time) is forcibly subjected to preventive actions in the prescribed amount. At the same time, despite the adjustment of maintenance and repair modes depending on a number of factors, there is no individual approach to each rolling stock.



However, there is a need for such an approach, because even when rolling stock under the same conditions, the technical condition of each of them at the same time due to a number of reasons (individual characteristics of rolling stock, driving quality, maintenance, etc.) can differ significantly. Not every rolling stock requires all the operations provided by the "hard" volume of a particular type of maintenance. Execution of these "unnecessary" operations leads, on the one hand, to incomplete realization of individual properties of a rolling stock, increase in expenses for MOT, on the other, at all does not promote improvement of its technical condition. On the contrary, more frequent interventions in the work of joints of units and mechanisms contribute to increased wear of bonded surfaces, the appearance of damage to joints, violation of the tightness of joints. Significant losses of labor and material resources are also associated with a large amount of repair work due to late detection of failures.

The fullest use of individual capabilities of rolling stock and ensuring on this basis the high efficiency of rolling stock during operation can be done through the widespread introduction into the technological process of maintenance and repair of diagnosing the technical condition of rolling stock.

To increase the efficiency of the vehicle, use, methods and diagnostic tools have been developed, which are used both during maintenance and repairs, and as an independent technological process. Diagnosis allows to increase the coefficient of readiness and probability of trouble-free operation of vehicles, to reduce the complexity and cost of operation, to increase the maintainability and controllability of vehicles.

Key words: diagnostic system, diagnostic parameter, frequency of control, object of diagnosis, control algorithm, failure rate, vehicle, efficient operation.



CONTENTS

Innovative engineering, technology and industry

- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-008> 3
 EFFICIENCY OF THE "MEGASVIT" BIO-STIMULATOR
 ON INCREASE OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL
 INDICATORS OF COW'S MILK
Ryzhkova T.M., Silchenko K.P., Heida I. M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-009> 8
 ADAPTIVE EDUCATIONAL MODELS OF ENERGY SYSTEMS
Kyryk V. V., Kravchenko M. S.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-026> 13
 CHANGE OF OIL PROPERTIES BY HYDRODYNAMIC
 CAVITATOR
Yakymchko Y. Y.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-036> 26
 USE OF TESLA TURBINES IN LIGHTING SYSTEMS OF
 MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS
Vashchyshak I. R.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-047> 33
 STUDY OF THE MAGNETIC FIELD OF AN SINGLE-PHASE
 INDUCTION MOTORS
Iegorov O., Iegorova O., Glebova M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-048> 39
 CONSTRUCTION OF THE VECTOR DIAGRAM OF THE
 OPERATION MODES OF A CENTRIFUGAL PUMP AND
 DETERMINATION OF THE SCALAR EQUATION FOR
 ITS PRESSURE CHARACTERISTICS
Nykolyn P.M., Nykolyn U.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-055> 44
 ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE TECHNOLOGY OF
 ARRANGEMENT OF THE EARTH SHEET WITH THE INVOLVEMENT
 OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC LEVELING BY THE WORKING
 UNIT OF EARTH-MOVING EQUIPMENT
Zakharova E.V., Sarkisian H.S., Onishchenko O.S.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-056> 55
 COMPARATIVE ANALYSIS OF GEOSPATIAL DATA
 COLLECTION METHODS FOR THE CONSTRUCTION
 OF DIGITAL MODELS OF THE LOCATION
Dorozhko Y.V., Onyshchenko O.S.



https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-058	61
MODEL-ORIENTED COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE WEAR RESISTANCE OF THE SURFACE OF HEAT EXCHANGE TUBES OF A DRUM STEAM GENERATOR AT A THERMAL POWER PLANT <i>Brunetkin O.I., Sklifasovskyi D.E.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-059	74
A METHOD FOR FINDING A SOLUTION TO THE BEST STRUCTURE OF A COMPLEX POWER PLANT <i>Brunetkin O.I., Sokoliuk S.O., Maksymov M. M.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-060	87
KEY CHALLENGES IN THE FIELD OF PROCESS CONTROL WHEN USING RENEWABLE ENERGY SOURCES <i>Davydov V.O., Bielov V.O.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-069	94
ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CHANNELS OF THE CONTROL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT <i>Ashhepkova N.S., Koshevoy N.D.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-070	102
FEATURES OF PRODUCT SUPPLIER SELECTION STAGES FOR CATERING FOR SCHOOLCHILDREN <i>Tiurikova I.S., Yaroshenko T.M.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-072	109
GREEN BUILDING IN POST-WAR RECONSTRUCTION: ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS <i>Zhuravska N., Avdykovich Y.</i>	
Computer science, cybernetics and automatics	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-024	115
THE METHOD OF IMPLEMENTING NON-MODULAR OPERATIONS IN THE SURPLUS CLASS <i>Demchenko K.V., Chub I., Nechytailo J.</i>	
https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-053	119
ANALYSIS OF INTEGRATED BUILT-IN GRAPHICS PROCESSORS <i>Romanyuk O.N., Troianovska-Korobeynikova T. Titova N.V., Mazyr V.V., Hloba A.R.</i>	

**Security systems in the modern world**<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-032>

125

**THEORETICAL ASPECTS OF THE UNIVERSALIZATION OF
OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT***Zhuravska N. Y., Stefanovych I.S., Stefanovych P.I.***Development of transport and transportation systems**<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-022>

131

**THERMAL PROCESSES IN VENTILATED DISC BRAKES
AND THEIR SIMULATION IN TYPE II TESTS***Zakhara I. Y., Kozak F. V.*<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj22-01-030>

140

**METHOD OF SELECTING THE PARAMETERS OF DIAGNOSTIC
ELEMENTS OF VEHICLES OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT***Shavkun V.M., Okrutny A.B., Mukhin M.V.*



Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №22
Part 1
November 2023

Indexed in
INDEX COPERNICUS
high impact factor (ICV: 87)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: November 30, 2023

e-mail: editor@sworldjournal.com

site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com





www.sworldjournal.com