

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Заснований у 1965 р.

104



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

**Склад редакційної колегії науково-технічного збірника «Електротехнічні та інформаційні системи»
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»**

Головний редактор – БЕШТА Олександр Степанович, д.т.н., член-кореспондент НАН України, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Заступник головного редактора – ЯВОРСЬКА Олена Олександрівна, к.т.н., доцент, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Відповідальний секретар – ЦИПЛЕНКОВ Дмитро Володимирович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Члени редакційної колегії:

АЗЮКОВСЬКИЙ О.О., к.т.н., доцент, професор кафедри електропривода, ректор Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

АЛЕКСЕЄВ М.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

БЕЛІКОВ А.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва й архітектури.

БУБЛИКОВ А.В., д.т.н., доцент, завідувач кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ГУСЄВ О.Ю., к.фіз.-мат.наук, доцент, професор кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КАЛДА Г.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету.

КАШТАН В.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КОРНІСНКО В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КУЗНЄЦОВ В.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехніки Українського університету науки та технологій.

КУПІН А.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету.

ЛИСЕНКО О.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

МУХА А.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехніки та електромеханіки Українського університету науки та технологій.

НАЛИСЬКО М.М., д.т.н., доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури».

НИКОЛЕНКО А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки Українського університету науки та технологій.

НОЙБЕРГЕР Ніколаус, професор, доктор інженерії Есслінгенського університету прикладних наук, Німеччина.

ОЛЕВСЬКИЙ В.І., д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ОСТАПЧУК О.В., д.т.н., доцент, професор кафедри відновлюваних джерел енергії Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

ПАПАЙКА Ю.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ПОЗДЄЄВ С.В., д.т.н., доцент, професор кафедри будівельних конструкцій Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури».

ПОПОВ С.О., д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету.

РАДЧУК Д.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

РОГОЗА М.В., к.т.н., доцент, професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

САДОВОЙ О.В., д.т.н., член-кореспондент НАН України, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

СЕЛІВЬОРСТОВА Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського університету науки та технологій.

СЕРГЄЄВА К.Л., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

СОКОЛОВА Н.О., к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ТКАЧОВ В.В., д.т.н., професор, професор кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ТРИПУТЕНЬ М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ХУДОЛІЙ С.С., к.т.н., доцент, завідувач кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ЧЕБЕРЯЧКО Ю.І., д.т.н., професор, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ШЕДЛОВСЬКА Я.І., к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка».

ЯВОРСЬКИЙ А.В., к.т.н., доцент, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Журнал схвалено до друку Вченою радою Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
19 жовтня 2023 р., протокол No 10

До 2021 р. збірник виходив під назвою «Гірнич електромеханіка та автоматика».

Науково-технічний збірник «Електротехнічні та інформаційні системи» перереєстрований Міністерством юстиції України
(свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія KB No 25286-15226ПР від 13.10.2022 р.)

Офіційний сайт видання: journals.politehnica.dp.ua/index.php/eis

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com
від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-9059 (Online)
ISSN 2786-9040 (Print)

© Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2023

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 159.95

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-1>

ВИБІР МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

Алексєєв Михайло Олександрович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-8726-7469

М'якенький Арсеній В'ячеславович,

аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-4141-001X

У статті обґрунтований метод добору навчальних методик, а також модель оцінки когнітивних навичок студента, на підставі аналізу якої робиться висновок щодо необхідності зміни навчальної методики, що дозволило адаптивно змінювати методику викладання матеріалу під час навчання студента. Метою роботи є підвищення ефективності навчання студента через покращення якості добору методики навчання на основі аналізу його когнітивної моделі. Для розв'язання поставлених завдань були проаналізовані методи класифікації когнітивних процесів, що використовуються різними навчальними методиками. Визначено механізм збору інформації щодо змін когнітивних навичок протягом процесу навчання. На підставі аналізу зібраних відомостей обґрунтовано метод добору навчальної методики на основі аналізу когнітивних навичок студента, обчислених за результатами виконання контрольних заходів з дисципліни в системі дистанційної освіти. Запропоновані в роботі моделі та методи надають представлення та дозволяють накопичувати когнітивні навички студентів з метою їх аналізу, розвитку та можливості корегування. Розроблений метод дозволяє змінювати методику навчання для окремого студента, покращувати його когнітивні навички для ефективного засвоєння та розуміння навчальних матеріалів, що підтверджується дослідженням, проведеним у роботі.

Ключові слова: пізнання, когнітивна архітектура, когнітивне моделювання, когнітивні навички, навчальна методика, розумова діяльність.

Aleksieiev Mykhailo, Miakenkii Arseniy. Choose of teaching methodology based on the cognitive models analysis in the distance learning system

The article substantiates the algorithm of selecting teaching methodology and the model of student's cognitive skills evaluation, analysis of which can indicate the need to change the educational method, which allowed to adaptively change the teaching methods during the student's education. The purpose of the work is to increase the effectiveness of the student's education through the improvement of the quality of the selection of teaching methodology based on the analysis of his cognitive model. Methods of classifying cognitive processes used by various teaching methods were analyzed to solve the problems. The mechanism for collecting information on changes in cognitive skills during the education process is defined. Algorithm of selecting the teaching methodology is substantiated based on the analysis of the student's cognitive skills, calculated over the results of the control measures for the discipline in the distance education system. The models and methods proposed in the work provide a representation and allow students' cognitive skills to be accumulated for the purpose of their analysis, development and possibility of correction. The developed method makes it possible to change the teaching methodology for an individual student and improve his cognitive skills for effective learning and understanding of educational materials, which is confirmed by the research conducted in this work.

Key words: cognition, cognitive architecture, cognitive modeling, cognitive skills, teaching methodology, mental activity.

Вступ. Процес пізнання належить до розумової діяльності людини, поєднує в собі процеси сприйняття, уваги, пам'яті, мислення, розуміння, розв'язання проблем і ухвалення рішень, відіграє

важливу роль у взаємодії людини та світу, що її оточує. Важливим питанням у дослідженні розумових процесів є питання побудови моделей когнітивного пізнання людини. Відповідь на це

питання надає когнітивна наука, яка описує підходи та методи побудови обчислювальних моделей когнітивної діяльності людини.

Когнітивні моделі використовують з метою опису когнітивних процесів у розумовій діяльності студентів під час розв'язання завдань і вивчення нового матеріалу. Вони допомагають охарактеризувати знання та навички, яких студенти набувають під час різних етапів навчання, і полегшити пояснення та прогнозування результатів студентів. Таким чином, завдання з контролю знань можна розбити на кінцевий набір атрибутів або когнітивних компонентів як когнітивну модель, щоб вона могла зробити результати тестів більш інтерпретованими та значущими. Моделювання повного циклу пізнання людини з урахуванням усіх когнітивних процесів є комплексним завданням, оскільки вимагає великої кількості експериментальних даних і моделювання не тільки кожного процесу, а й взаємозв'язків між ними.

Мета дослідження. У роботі було вирішено обрати конкретний когнітивний процес для побудови моделі для аналізу, наприклад процес ухвалення рішень, а саме ухвалення рішень студентом під час виконання тестів.

Основний зміст роботи. Ухвалення рішень – це високорівневий когнітивний процес, заснований на процесах сприйняття, пам'яті й уваги. Ситуації, які виникають у реальному житті, потребують ухвалення низки рішень, які залежать від попереднього досвіду людини. Когнітивна наука дозволяє розглядати процес ухвалення рішень як динамічний, описує механізми моделювання чинників, що впливають на рішення людини. На рисунку 1 представлено схематичне співвідношення між процесом ухвалення рішень і видами когнітивних моделей, які лежать у його основі.

Найбільш поширеною моделлю динамічного ухвалення рішень у когнітивній науці є теорія

навчання на основі прикладів, або instance based learning theory (далі – IBLT) [1]. Ухвалення рішень на основі прикладів означає, що рішення про те, яку дію обрати, ухвалюється з використанням накопиченого досвіду. Спостереження в реальних, складних ситуаціях (наприклад, бойові дії та гасіння пожеж) підтверджують ідею про те, що в умовах стресу, невизначеності або перевантаження завданнями люди ухвалюють рішення переважно на основі досвіду. IBLT описує, що під час ухвалення рішень у пам'яті людини накопичуються приклади поведінки. IBLT описує когнітивно вірогідний процес ухвалення рішень, за допомогою якого люди отримують і оновлюють приклади в пам'яті та навчаються.

Основними кроками у процесі ухвалення рішень, запропонованими IBLT, є розпізнавання, судження, вибір і зворотний зв'язок. Ухвалення рішень починається з пошуку альтернатив і класифікації цих альтернатив як типових чи нетипових. Ситуація є типовою, якщо є спогади про подібні ситуації, тоді як нетипові ситуації оцінюються за допомогою евристичного або сукупного значення корисності з минулого досвіду. Далі постає вибір: шукати більше альтернатив або обрати поточну найкращу альтернативу. Результат вибору визначається «рівнем прагнення» особи. Більше альтернатив оцінюється, поки особа, яка ухвалює рішення, «незадоволена» поточною найкращою альтернативою. Основним визначальним чинником «задоволеності» є час, що залишився, для ухвалення рішення, тому якщо часу не лишилося, людина обирає поточну найкращу альтернативу. Після обрання пам'ять про рішення змінюється. У визначену мить зворотний зв'язок із зазначенням результатів попередніх рішень.

Для моделювання процесу ухвалення рішень необхідно також зібрати досить інформації щодо тих когнітивних навичок, які людина



Рис. 1. Схема когнітивних моделей процесу ухвалення рішень

використовує під час цього процесу. Із цією метою була обрана ревізія таксономії Б. Блума [2]. Таксономія Б. Блума містить шість категорій розумових процесів, починаючи від процесів нижчого порядку, які потребують меншої когнітивної обробки, до процесів вищого порядку, які потребують глибшого навчання та більшого ступеня когнітивної обробки. З розвитком когнітивної науки та когнітивної психології таксономія Б. Блума була переглянута у праці Лоріна Андерсона та Девіда Кретвола [3]. Таксономія являє собою ієрархію, яка складається з таких процесів: запам'ятовування, розуміння, застосування, аналіз, оцінка та створення (рис. 2).

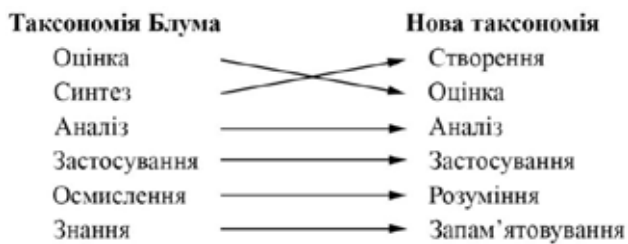


Рис. 2. Переглянута таксономія Б. Блума

Рівень запам'ятовування відповідає за розпізнавання або пригадування знань із пам'яті. У цьому процесі пам'ять використовується для створення чи пошуку визначень, фактів або для отримання раніше вивченої інформації.

Розумінням отриманої інформації та знань вважається здатність людини конструювати сенс із повідомлень, які надходять у вигляді усної, графічної, або письмової, інформації. Це здатність інтегрувати здобуті знання з наявними когнітивними структурами. Застосування передбачає використання процедур для виконання вправ або розв'язання завдань. Рівень аналізу відповідає за розбиття матеріалів або концепцій на частини, визначення того, як частини пов'язані одна з одною чи як частини пов'язані із загальною структурою чи метою. Визначення рівня оцінки не відрізняється від оригінального визначення в таксономії Б. Блума. Він відповідає за винесення суджень на основі критеріїв і стандартів шляхом перевірки та критики. Створення або об'єднання елементів у функціональне ціле перебуває на останньому рівні таксономії. Воно відповідає за реорганізацію елементів у новий шаблон або структуру шляхом створення, планування або виробництва. Створення вимагає по-новому об'єднати частини або синтезувати частини в щось нове та відмінне. Цей процес є найскладнішою розумовою функцією в новій таксономії. Також ревізія оригінальної роботи Б. Блума розширює класифікацію когнітивних процесів через опис когнітивних навичок для кожного рівня таксономії, які можна використовувати для побудови когнітивної моделі студента [3].



Рис. 3. Графік прогнозів успіхів студента після зміни навчальних методик

Як модель, на підставі якої робиться висновок щодо добору навчальних методик, була побудована модель класифікації з використанням алгоритму випадкового лісу.

Об'єктом класифікації є результат виконання студентом контрольних або проміжних завдань із дисципліни за окремою навчальною методикою. На виконання завдання студентів надається лімітована кількість спроб, а результат визначається станом «склав» або «не склав». Отже, вихідними є класи, отримані комбінацією станів завдання «склав» або «не склав», а також із якої спроби був отриманий стан завдання.

Ознаками класифікації є обчислені когнітивні навички студентів у результаті виконання завдання та теми, які охоплюються завданнями тестових матеріалів. Кожне завдання в розробленій моделі охоплює три теми з набору тем дисципліни. Даний набір ознак дозволяє класифікувати результати тестування окремих студентів і робити висновки щодо покращення навчальної методики.

Аналіз когнітивних навичок студентів системи з подальшим висновком щодо добору навчальних методик здійснюється за допомогою дослідження проходження студентами тестових матеріалів. Щоб тестові матеріали надавали уявлення про когнітивні навички, необхідні для вирішення завдання, був створений набір даних, у якому містяться оцінки

когнітивних навичок для кожного завдання, які надані експертами [4]. Окрім уявлення про когнітивні навички для вирішення завдання, нам необхідно мати уявлення про когнітивні навички студента, які необхідні для засвоєння окремих тем, які охоплює дисципліна та знання яких перевіряється тестовими матеріалами. Перелік когнітивних навичок був обраний згідно з таксономією Л. Андерсона та Д. Кретвола.

Отриманий набір даних використовується для навчання моделі. Після цього студенти починають вивчати матеріали дисципліни за стандартною навчальною методикою курсу, за якими надається наступний тестовий проміжний контроль. Результати тестування використовуються для прогнозування успіхів студенту за попередньою моделлю, а після цього порівнюються з реальними результатами. На основі порівняння робиться висновок щодо ефективності обраної методики для кожного студента. У результаті висновків навчальна методика знову змінюється, модель доповнюється отриманими даними, процедура повторюється до досягнення задовільних результатів.

Запропонована методика була застосована на наборі даних результатів тестувань студентів. На рисунку 3 представлений графік прогнозованих успіхів окремого студента у виконанні окремого завдання на заданий набір тем, а на рисунку 4 представлені реальні результати,



Рис. 4. Графік результатів тестування студента після зміни навчальних методик

отримані студентом під час виконання цього завдання.

Після кожного тестування результати моделі порівнювалися з реальними результатами та робився висновок щодо покращення навчальної методики. Тенденцію ефективності добору навчальних методик показує графік порівняння результатів моделі та реальних результатів, зображений на рисунку 5. Як можна бачити, після першого тестування прогнозований і реальні результати показують невдачу у виконанні студентом поставленого завдання. Із цього можна зробити висновок, що початкова методика навчання не є ефективною та потребує змін. Після корегування навчальних методик на наступному проміжному тестуванні за прогнозованими результатами студент усе ще не мав скласти завдання успішно, але реальні результати показують, що студент використав усі спроби, але виконав завдання успішно. На основі цього можна зробити висновок, що зміна навчальної методики для цього студента покращила його когнітивні навички та його результат із даних тем.

Після доповнення навчальної методики прогнозований і реальний результат показали успіх з невеликою різницею у спробах, що означає, що модифікована навчальна методика значно покращила опанування матеріалу студентом.

Подальші вдосконалення методики не надали результатів покращення. Причиною цього може бути досягнення межі можливостей когнітивної системи студента або відсутність мотивації для досягнення максимального результату, або комбінація цих чинників.

Висновки. У статті був представлений метод добору навчальної методики на основі аналізу когнітивних навичок студента, обчислених за результатами виконання контрольних заходів з дисципліни. За допомогою цього методу було проведено дослідження впливу адаптивної зміни навчальних методик на результати оцінювання окремих студентів. Для тестування запропонованого методу добору були отримані набори даних з експертними оцінками когнітивних навичок і тем, які необхідні для виконання контрольних завдань, а також результати виконання студентами тестових завдань з обрахованими оцінками когнітивних навичок на основі системи штрафів. Отримані результати показали ефективність запропонованого методу добору, що виражається в покращенні результатів контролю знань окремих студентів.

Метод може використовуватись у системах дистанційної освіти з метою підвищення когнітивних навичок студентів, що підвищить ефективність засвоєння матеріалів дисциплін.



Рис. 5. Графік порівняння результатів тестування та прогнозів успіхів студента після зміни навчальних методик

ЛІТЕРАТУРА:

1. Gonzalez C. Instance-based learning in dynamic decision making. *Cognitive Science*. 2003. № 27 (4). P. 591–635.
2. Bloom B.S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. New York : Longman, 1984. 403 p.
3. Anderson L.W., Krathwohl D.R. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives. New York : Longman, 2001.
4. Automatic Discovery of Cognitive Skills to Improve the Prediction of Student Learning / V.R. Lindsey et al. *Proceeding of 21'nd Conference on Neural Information Processing Systems, 8–10 December 2008, Vancouver*. 2022.

REFERENCES:

1. Gonzalez, C. (2003). Instance-based learning in dynamic decision making. *Cognitive Science*. № 27 (4). P. 591–635.
2. Bloom, B.S. (1984). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. New York : Longman. 403 p.
3. Anderson, L.W., Krathwohl, D.R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives. New York : Longman.
4. (2022). Automatic Discovery of Cognitive Skills to Improve the Prediction of Student Learning / V.R. Lindsey et al. *Proceeding of 21'nd Conference on Neural Information Processing Systems, 8–10 December 2008, Vancouver*.

УДК 004.89

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-2>

ВИКЛИКИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Соколова Наталя Олегівна,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-2493-3553
Scopus Author ID: 57216951893

Мошик Марія Сергіївна,

здобувачка
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0004-1909-047X

У статті розглянуті питання щодо викликів штучного інтелекту в сучасному світі, де різноманітні застосунки штучного інтелекту (системи автоматичного перекладу, розумні асистенти, пошукові машини, розумні чат-боти) супроводжують людину в різних справах щодня. Вартість бізнесу, пов'язаного зі штучним інтелектом, сягає трильйонів доларів. Більше третини сучасних компаній використовують розробки штучного інтелекту у своїй роботі, і кількість таких компаній постійно збільшується. Першість у розробці штучного інтелекту належить великим корпораціям на кшталт Microsoft, Google, Amazon тощо, які вкладають у дослідження мільярди доларів щорічно та для яких зайві 2% точності алгоритмів легко конвертуються на додаткові мільярди прибутку. Чи справді бурхливий розвиток технологій штучного інтелекту зробить непотрібними купу професій і призведе до масового безробіття та зростання соціальної напруги?

Технологія розпізнавання обличчя, за допомогою якої розблоковуємо свій смартфон, також використовується для нагляду правоохоронних органів, перевірки пасажирів в аеропорту, для ухвалення рішень щодо працевлаштування та житла. Показано роль, яку глибоке навчання в розпізнаванні осіб відіграло у втраті приватності інтернет-користувачами під час збирання даних для навчальних датасетів. Поточне впровадження цих технологій передбачає значне расове упередження, особливо проти людей із небілим кольором шкіри. Навіть якщо розпізнавання обличчя є точним, розширює можливості правоохоронної системи з довгою історією стеження за расистами й антиактивістами та може посилити наявну нерівність. Незважаючи на широке впровадження серед панівних методів використання біометричних даних (відбитки пальців, райдужної оболонки ока, долоні, голосу й обличчя), розпізнавання обличчя є найменш точним і пов'язане із проблемами конфіденційності та навіть заборонено для використання поліцією та місцевими службами в кількох містах Сполучених Штатів Америки.

Проведено дослідження того, чи справді сучасні застосунки штучного інтелекту здатні замінити людей, зокрема викладачів історії, мови та літератури, програмування в українській освіті.

Ключові слова: штучний інтелект, ChatGPT, розпізнавання.

Sokolova Natalya, Moshik Mariia. Challenges of artificial intelligence

The article deals with the challenges of artificial intelligence in the modern world, where various AI applications (automatic translation systems, smart assistants, search engines, smart chatbots) accompany a person in various tasks every day. The value of business related to artificial intelligence is estimated at trillions of dollars. More than a third of modern companies use artificial intelligence developments in their work, and the number of such companies is constantly increasing. The leadership in the development of artificial intelligence belongs to large corporations such as Microsoft, Google, Amazon, and others, which invest billions of dollars in research annually, and for which an extra 2% accuracy of algorithms is easily converted into additional billions of profit. Will the rapid development of AI technologies make a bunch of professions redundant and lead to mass unemployment and increased social tension?

The facial recognition technology we use to unlock our smartphones is also used for law enforcement surveillance, airport passenger screening, and employment and housing decisions. It is shown what role deep learning in face recognition played in the loss of privacy by Internet users when collecting data for training datasets. The current implementation of these technologies involves significant racial bias, particularly against non-whites. Even if accurate, facial recognition empowers a law enforcement system with a long history of targeting racists and anti-activists and could exacerbate existing inequalities. Despite widespread adoption among the dominant biometrics (fingerprints, iris, palm, voice, and face), facial recognition is the least accurate and has privacy concerns, and is even banned for use by police and local authorities in several US cities.

Research has been conducted on whether modern AI applications are able to replace people, in particular, teachers of history, language, literature, and programming in Ukrainian education.

Key words: Artificial Intelligence, ChatGPT, recognition.

Вступ. Нині важко уявити сучасний світ без штучного інтелекту (далі – ШІ): пошукові машини, системи розпізнавання зображень і мови, машинний переклад, розумні чат-боти, розумні асистенти, навіть у звичайному смартфоні. За даними IBM Global AI Adoption Index 2022 [1], 35% компаній використовують штучний інтелект у бізнесі, а ще 42% досліджують можливості його застосування. За даними американської консалтингової компанії “Gartner” [2], у 2018 р. глобальна вартість бізнесу, пов’язаного зі штучним інтелектом, оцінювалась в \$1,2 трлн. У 2022 р. ця цифра збільшилась до \$3,9 трлн. Очікується, що до 2030 р. внесок штучного інтелекту у світову економіку досягне \$15,7 трлн.

«Штучний інтелект» – це супершироке поняття. По суті, це будь-яка система, яка імітує людську здатність до судження, навчання, самокорекції. Зараз світ змінює навіть не штучний інтелект, а високоспеціалізовані інтелектуальні системи, що спеціалізуються на якійсь одній функції. Деякі із цих систем у своїх галузях уже помітно обігнали людей-спеціалістів. Інтелектуальні системи розпізнають багато видів зображень швидше та краще за людей, ставлять деякі діагнози точніше за лікарів і ось-ось почнуть водити автомобілі безпечніше за водіїв. У засобах масової інформації все частіше говорять про так зване «повстання машин». Чи варто цього побоюватись? Чи справді штучний інтелект може замінити людину? З якими викликами ШІ стикається людство під час його розроблення?

Матеріали та методи. Поштовхом до шаленого успіху після «другої зими ШІ» (1987–1993 рр.) стали технології глибокого навчання, реалізація яких стала можливою завдяки сучасному апаратному забезпеченню комп’ютерів. «Штучний інтелект» – назва всієї галузі, машинне навчання – це один із розділів штучного інтелекту. Нейромережі – один із видів машинного навчання. Глибоке навчання – архітектура нейромереж, один з підходів до їх побудови та навчання.

Нейронні мережі глибокого навчання вирішують різні завдання в найрізноманітніших сферах людської діяльності.

Так, учені відтворили частини картини «Нічна варта» Рембрандта, які були відрізані в 1715 р. [3]. Нейронні мережі використовують як для реставрації полотен, так і в питаннях визначення авторства. У 2021 р. за допомогою згорткової нейронної мережі юрист з інтелектуальної власності Стівен Франк і його дружина, історик мистецтва Андреа Франк, визначили, що портрет Ісуса 16 ст. (Спаситель

світу), імовірно, написаний Леонардо да Вінчі. Згідно із прогнозами нейромережі, Леонардо да Вінчі є автором тільки голови та плечей Ісуса, а права рука на портреті була написана його помічниками [4]. Окрім картини Леонардо да Вінчі, Франки використовували свою нейромережу для аналізу іншої картини зі спірним авторством «Старий у золотому шоломі», яка з 1985 р. вважається написаною одним з учнів Рембрандта. Нейромережа визначила, що її автором був Рембрандт.

Журналісти та критики все частіше говорять про революцію в мистецтві, унаслідок якої машина може замінити людину у творчості. Шаленій популярності набуває нейромережа DALL-E 2 від OpenAI (розробника ChatGPT), представлена у квітні 2022 р., яка буквально вміє «малювати» усе, що її попросить користувач. Своє ім’я вона отримала від злиття імен Сальвадора Далі та зворушливого робота ВАЛЛ-І з однойменного мультика Піка. Нейромережа «домалювала» класичні картини, перетворивши Мону Лізу на повноростовий портрет і додавши навколишній пейзаж на полотно Василя Верещагіна «Апофеоз війни», а команда журналу “Cosmopolitan” на чолі із цифровою художницею Карен Х. Ченг узагалі за її допомогою згенерувала зображення для обкладинки номера [5].

У перший тиждень повномасштабної війни в Україні з’явився проєкт “Sirens Gallery” [6], створений на основі open source моделі “Disco Diffusion” від OpenAI українськими IT-вцями. За текстовими описами найголовніших подій війни було згенеровано приблизно 2 000 картин. У 1991 р. картину виставили на продаж як NFT. Проєкт зібрав більше \$250 тис. на відбудову країни.

Але деякі використання ШІ, зокрема й нейронних мереж, спричиняють багато суперечок стосовно етичності та доцільності їх використання. Так, розробники DALL-E додали функцію “Outpointing” у свою модель. Тепер система може генерувати нові візуальні ефекти, що розширюють межі будь-якого зображення та дозволяють переробити світові шедеври [7].

У вересні 2022 р. художниця з ніком Images_ai за допомогою нейромережі “Stable Diffusion” «осучаснила» купу світових шедеврів живопису, зокрема й «Мону Лізу» Леонардо да Вінчі, «Дівчину з перловою сережкою» Йоганнеса Вермеєра, «Народження Венери» С. Боттічеллі й інші, вважаючи, що вони «зроблені недбало».

У розслідуванні газети “The New Yorker” [8] повідомляється, що у 2022 р. художниця Келлі Маккернан зі штату Теннессі, яка створює

картини зі схожими на німф жіночими фігурами у стилі кислотних кольорів, поєднує модерн і наукову фантастику, з подивом помітила, що її ім'я все частіше використовується у створенні зображень за допомогою штучного інтелекту. Вебсайт Metaverse Post навіть запропонував у серпні 2022 р. «Келлі Маккернан» як термін для живлення штучного інтелекту, генератор для створення мистецтва у стилі «Володар перснів». Твори сотень інших художників так само були використані без дозволу для генерації зображень відповідно до жанру їхньої творчості: аніме, модернізм, «Зоряні війни». Getty Images у лютому 2023 р. подала позов проти Stable Diffusion, стверджуючи, що використання генератором стокової фотографії Getty є *«нахабним порушенням <...> у приголом-шливому масштабі»*. Представник Stability AI, студії, яка розробила Stable Diffusion, заявив, що *«звинувачення в цьому позові свідчать про неправильне розуміння того, як працює технологія генеративного штучного інтелекту, і закону про авторське право»*.

15 квітня 2023 р. журнал “Die Aktuelle” вийшов із заголовком: «Міхаель Шумахер, перше інтерв'ю» та підзаголовком: «Це звучало оманливо правдоподібно», з фотографією усміхненого гонщика на обкладинці. Як з'ясувалося, інтерв'ю із заголовком «Мое життя цілком змінилось» було згенеровано ШІ і містить вигадані цитати буцімто М. Шумахера, у яких обговорюють його сімейне життя після аварії та стан здоров'я. Тільки наприкінці статті стає зрозуміло, що інтерв'ю підготував штучний інтелект. Після реакції сім'ї щодо позову проти журналу головну редакторку Анну Гоффман звільнили [9], а видавнича група “Funke” в особі керівної директорки Б'янки Польшман попросила вибачення.

Процес розроблення алгоритмів і методів ШІ також викликає купу етичних питань. Журнал “MIT Technology Review” назвав роботу Дебори Раджі з Mozilla та Женеви Фрід з AI Now 2021 р. [10] найбільшим дослідженням ролі глибокого навчання під час розпізнавання облич у втраті приватності інтернет-користувачами. У роботі наводяться декілька важливих фактів про розпізнавання осіб за більш ніж 40 років існування технології, а саме:

- ефективність розпізнавання осіб у «лабораторних» умовах і в реальному житті сильно різниться. Так, транспортне управління Нью-Йорка кілька років тому призупинило розгортання пілотного проекту з розпізнавання осіб, оскільки система помилялась у 100% випадків;

- головним спонсором буму розроблення розпізнавання осіб у 1996 р. стало Міністерство оборони та Національний інститут стандартів і технологій США, які виділили \$6,5 млн на збір найбільшого на той час датасету. Технологія цікавила уряд, оскільки, на відміну від дактилоскопії, не потребувала активної участі громадян і могла стати у пригоді для стеження за населенням;

- через однорідність складу учасників спеціальних фотозйомок і штучної ситуації, яка точно не відображала реальні умови зовнішнього світу, на ранніх етапах наповнення датасетів, деякі ключові сучасні технології мають великі недоліки розпізнавання облич;

- у 2007 р. з'явився датасет під назвою “Labeled Faces in the Wild” – до нього увійшли зображення з Google, Flickr, YouTube та інших сховищ зображень в інтернеті, зокрема фото дітей, без дозволу осіб, які були зображені на фото. Переломним моментом для технології став датасет “DeepFace”, який презентувала Facebook у 2014 р., без згоди користувачів, чим порушила їхню приватність. За це компанія була оштрафована Федеральною торговою комісією США та виплатила компенсацію за груповим позовом у штаті Іллінойс;

- технологія розпізнавання осіб навчалась на публічних датасетах 17,7 млн людей, водночас достеменно невідомо, скільки людей не підозрюють про те, що стали «донорами» фотографій для розробників технологій розпізнавання осіб;

- сфери застосування розпізнавання осіб варіюються від відеоспостереження до таргетингу реклами (на основі розпізнавання осіб розробляються системи для аналізу настрою покупців, а також відстеження та кращого розуміння потенційних клієнтів). Технологію підтримують уряди, оскільки вона служить для охорони правопорядку та розслідування злочинів. Amazon, наприклад, надає поліції свою платформу машинного зору “Rekognition”, причому компанія не розкриває кількості поліцейських управлінь, які користуються нею;

- автоматизація в розпізнаванні осіб призвела до неадекватного подання людей і появи образливих і некоректних тегів, які можуть вказувати на комплекцію людей («повні щоки», «подвійне підборіддя») або расові особливості («бліда шкіра», «гострий ніс», «вузькі очі», «великий ніс», «великі губи»). Трапляються також досить суб'єктивні лейбли на кшталт «привабливий»;

- основу навчальних датасетів становлять особи «західного» зразка, що часто

ідентифікувало представників неєвропеїдної раси помилково. Але недосконаліми виявились і набори, створені спеціально для різних рас, щоб зробити класифікацію людей різноманітнішою.

Дискримінація в системах ШІ призводить до дискримінації в реальному світі. Поліція використовує розпізнавання облич, щоб порівняти фотографії підозрюваних із фотографіями та зображеннями водійських прав. За оцінками дослідження ще 2016 р. [11], фотографії майже половини дорослих американців – понад 117 млн людей – є в мережі розпізнавання облич, яку використовують правоохоронні органи, без згоди чи навіть усвідомлення, і це підкріплюється відсутністю законодавчого контролю. У багатьох дослідників викликає тривогу те, що поточне впровадження цих технологій включає значне расове упередження, особливо проти чорношкірих американців [12]. Зростання кількості досліджень виявляє різні показники помилок у різних демографічних групах, причому найнижчу точність постійно виявляють у суб'єктів жіночої статі, темношкірих віком 18–30 років. У знаковому проєкті 2018 р. «Гендерні відтінки» [13] було застосовано міжсекторальний підхід для оцінки трьох алгоритмів гендерної класифікації, включно з тими, які розроблені IBM і Microsoft. Суб'єкти були згруповані в чотири категорії: жінки з темною шкірою, чоловіки з темною шкірою, жінки зі світлою шкірою та чоловіки зі світлою шкірою. Усі три алгоритми показали найгірші результати на темношкірих жінках, із частотою помилок на 34% вищою, ніж для світлошкірих чоловіків. Незалежна оцінка Національного інституту стандартів і технологій (NIST) підтвердила ці дослідження, виявивши, що технології розпізнавання обличчя за допомогою 189 алгоритмів є найменш точними для жінок з темним кольором шкіри. Ці переконливі результати викликали негайну реакцію, сформувавши постійний дискурс навколо справедливості в розпізнаванні обличчя. IBM і Microsoft оголосили про кроки для зменшення упередженості шляхом зміни когорт тестування та покращення збору даних щодо окремих демографічних показників. Повторний аудит Gender Shades підтвердив зниження рівня помилок для темношкірих жінок і дослідив більше алгоритмів, зокрема і Rekognition від Amazon, який також показав расове упередження щодо темношкірих жінок (31% помилок у класифікації). Цей результат попередньої оцінки можливостей Rekognition підтвердило зіставлення облич Американською спілкою громадянських свобод (ACLU), згідно

з якою 28 членів Конгресу (кольорових людей) були неправильно зіставлені з фотографіями. Оскільки Amazon продає свою технологію правоохоронним органам, ці розбіжності викликають занепокоєння. Компанії, які надають ці послуги, несуть відповідальність за те, щоб вони були справедливими – як у своїх технологіях, так і у своїх додатках. Численні правозахисні групи співпрацюють із законодавцями, навчають расової грамотності в розпізнаванні облич і вимагають підзвітності та прозорості від виробників. Наприклад, Safe Face Pledge закликає організації усунути упередженість у своїх технологіях і оцінити їх застосування. Закон про алгоритмічну підзвітність 2019 р. надав Федеральній торговій комісії повноваження регулювати компанії, установивши зобов'язання щодо оцінки навчання алгоритмів, точності та конфіденційності даних. Окрім того, кілька слухань у Конгресі спеціально розглядали дискримінацію проти темношкірих у розпізнаванні обличчя. Провідні компанії відреагували на такі виклики: IBM припинила випуск своєї системи, Amazon оголосив про однорічне заморожування використання поліцією Rekognition, а Microsoft припинив продаж своєї технології розпізнавання обличчя поліції, доки не будуть введені федеральні правила.

Восени 2022 р. компанія "OpenAI", яку підтримує Microsoft, запустила чат-бот зі штучним інтелектом ChatGPT і, як зазначала Financial Times, привернула до нього «увагу всього світу». На території України (за винятком тимчасово окупованої території) він доступний із лютого. За даними дослідження банку "Goldman Sachs" [14], результати якого опубліковані у квітні 2023 р., технології ШІ можуть стати причиною скорочення 300 мільйонів робочих місць у всьому світі, насамперед у галузі юридичних послуг, страхової індустрії, а також учителів, особливо мови, літератури й історії. Якщо програмне забезпечення, як-от GPT-4 від OpenAI, було здатне скоротити час, необхідний людині для виконання завдання, принаймні вдвічі, без зниження якості його виконання, то завдання вважалося готовим до заміни людського ресурсу ШІ. Дослідження з'ясувало потенціал автоматизації 1 016 професій і довело, що 80% американців могли б виконувати принаймні 10% своїх робочих завдань за допомогою передових інструментів штучного інтелекту. Ця цифра зростає до 50% завдань для приблизно 19% працівників.

Ми поставили питання: наскільки ChatGPT справді є універсальним, як йому пророкують? Які завдання він розв'язує краще за людину, чи

справді він залишить без роботи фахівців багатьох професій? Чи може його можливості дещо перебільшені?

Результати. Непогані результати роботи ChatGPT ми отримали у виправленні ділових листів англійською, французькою та китайською мовою, щодо генерації вітань із різноманітними святами цими мовами, підбору матеріалів для маркетингу, але на прохання туркменською мовою відредагувати діловий лист застосунок турецькою подякував нам за відповідь (рис. 1).

Також ми провели дослідження того, наскільки може замінити ChatGPT українських викладачів, передусім історії та літератури, отримали такі результати. На просте питання «У назві яких українських міст треба писати суфікс «-ськ/-цьк-», отримали відповідь (рис. 2, а). На уточнення щодо неправильності такого написання отримали вибачення (рис. 2, б).

Стосовно подій сучасної історії України отримали результати, подані на рис. 3 а, б. Зважаючи на те, що модель була навчена на даних, зібраних до 2021 р., відповідь стосовно Маріуполя була очікувана, і це свідчить саме про те, що ChatGPT не замінить учителя сучасної історії. Аналогічні відповіді були отримані про Бучу, Ірпінь, Ізюм, Херсон.

З'ясували також, що застосунок некомпетентний і в українській літературі. Щодо феномену українського книговидання 2023 р. (наклад у 30 000 примірників, із яких уже більше 20 000 продано) «Колонія» М. Кідрука застосунок почав вигадувати інформацію, яка взагалі жодним чином не стосується об'єкта питання (рис. 4).

Зі значними творами сучасної української літератури, виданими до 2021 р., ChatGPT також необізнаний (рис. 5, а), навіть після надання йому

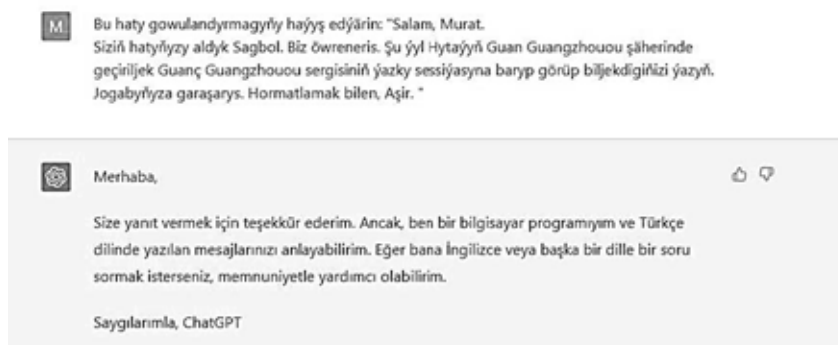
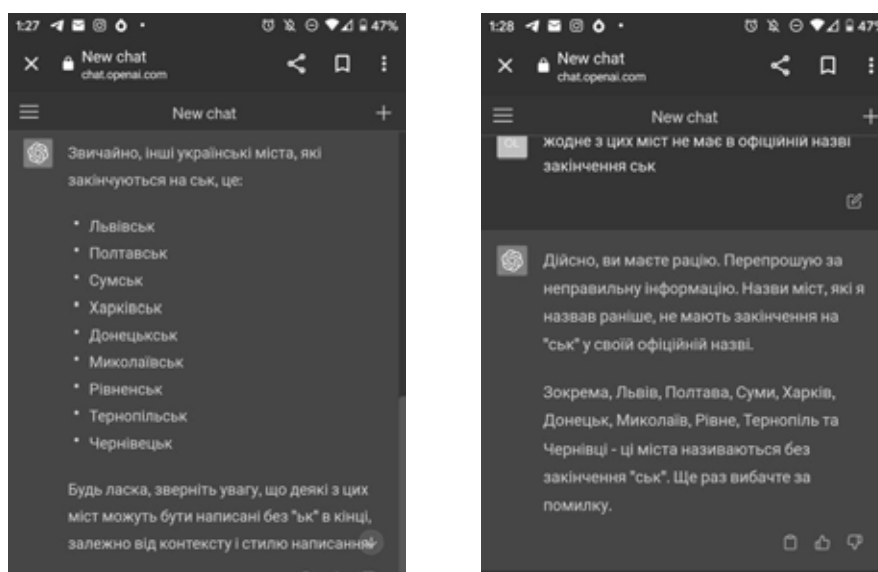


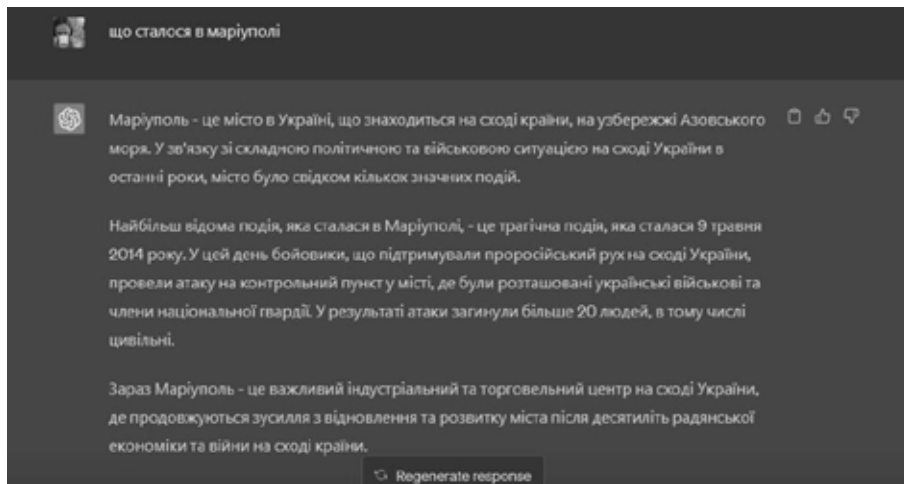
Рис. 1. Спілкування із ChatGPT туркменською мовою



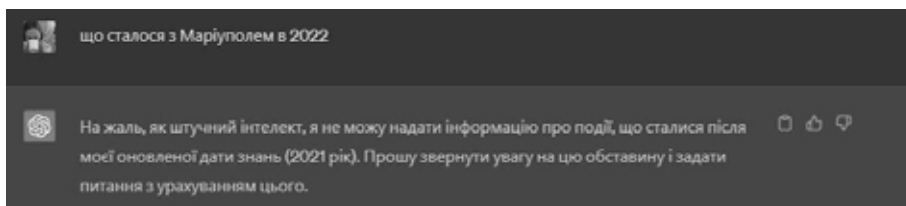
а)

б)

Рис. 2. Правопис назв українських міст за версією ChatGPT



а)



б)

Рис. 3. Оцінка подій у Мариуполі 2022 р. від ChatGPT

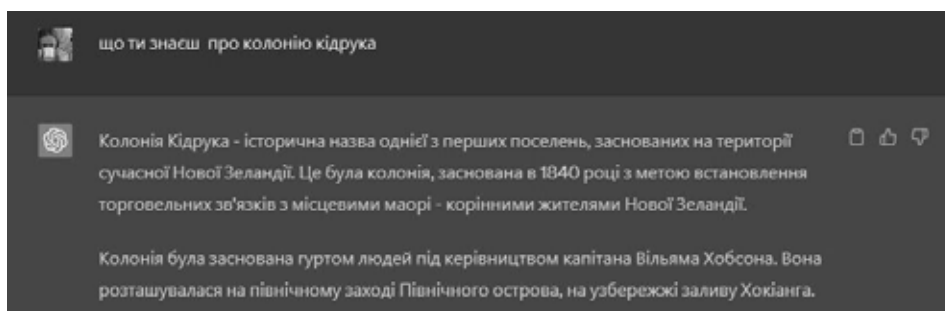


Рис. 4. Розмова із ChatGPT щодо «Колонії» М. Кідрука

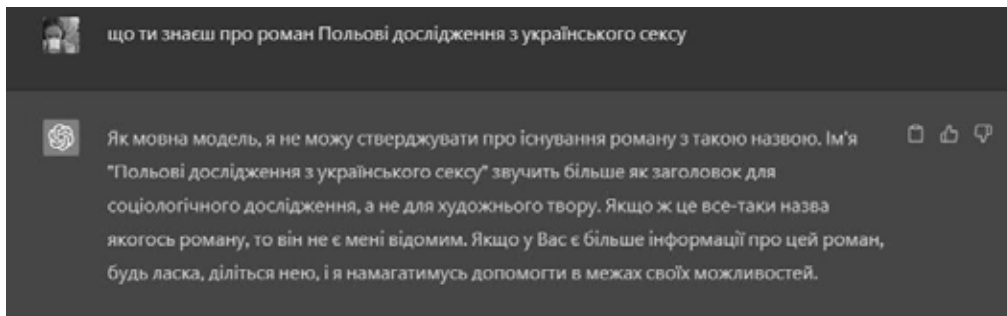
інформації про твір Оксани Забужко 1996 р., який вважається першим українським бестселером, отримали такий результат (рис. 5, б):

На питання НМТ з української мови та літератури отримали відповідь, яка містила купу помилок (рис. 6): не Василь, а Валер'ян Підмогильний, дата написання 1928 р., а не 1925 р., та й опис вмісту не відповідав дійсності.

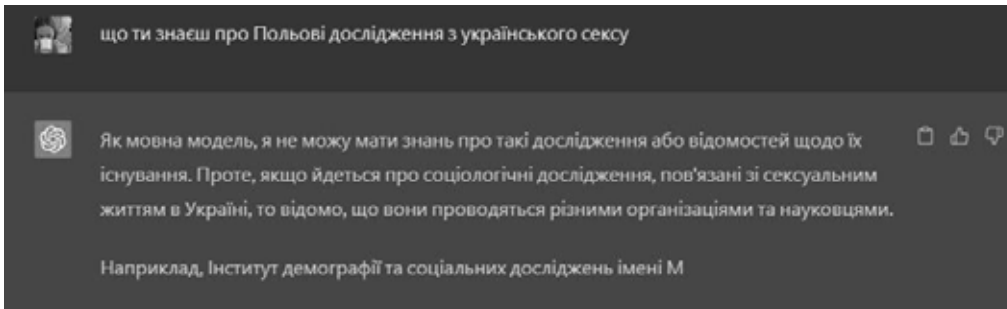
Також намагалися з'ясувати можливість навчання програмування, зокрема об'єктно орієнтованого програмування на C++ (що приписують можливостям ChatGPT). Якщо на питання «Що таке купа?» отримали цілком задовільну загальну відповідь, то на прохання згенерувати код для класу, який реалізує динамічну структуру «однозв'язний список», отримали загальний шаблон класу, який реалізує динамічний

масив, що є зовсім іншою динамічною структурою. А на прохання виправлення помилок у коді, що не працює, отримали вибачення та декілька загальних зауважень.

Фахівці Стенфордського університету та Google у публікації [15] описали дослідження, у якому 25 агентів (25 екземплярів ChatGPT) з однаково відформатованою інформацією грають роль людини у вигаданому місті, моделюють свої наступні дії з урахуванням часу й обставин. Графіка є лише візуальним представленням того, що, по суті, є купою розмов між кількома примірниками ChatGPT. Ідея полягала в тому, щоб побачити, чи можна застосувати останні досягнення в моделях машинного навчання для створення «генеративних агентів», які реагують на обставини та видають реалістичні дії



а)



б)

Рис. 5. Знання ChatGPT щодо першого українського бестселера

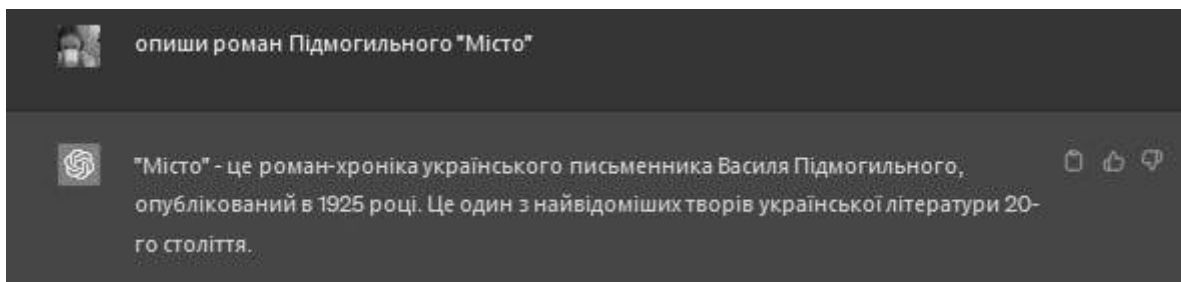


Рис. 6. Відповідь ChatGPT на питання НМТ з української мови та літератури

у відповідь. Основним результатом цього дослідження є створений «правдоподібний симулякр людської поведінки». Це потенційно має величезні наслідки для симуляції людських взаємодій в іграх або віртуальних середовищах, бо дослідження довело, що така система взагалі працює, нехай поки ще не зовсім реалістично. Протягом своєї історії ШІ доводив неодноразово: навіть якщо він може робити щось погано, той факт, що він узагалі може це робити, загалом означає, що це лише питання часу, коли він зробить це добре.

Висновки. 22 березня 2023 р. некомерційна організація "Future of Life Institute" для відкритого підписання оприлюднила звернення вчених і бізнесменів, які закликали зупинити дослідження ШІ щонайменше на півроку (на час написання статті його підписали 27,5 тис. осіб, але достеменно невідомо, скільки з них мають

стосунок до галузі ШІ). Наскільки це пов'язане з побоюванням того ж І. Маска, який підписав це звернення, стосовно неконтрольованого ШІ, важко оцінити. Можливо, це намагання зупинити конкурентів? Вихід ChatGPT спровокував поспіх в інших технологічних гігантів, зокрема, свій чат-бот запустили Google і лідер серед китайських пошукових систем Baidu. А за оцінками Forbes Ukraine [16] після надання у «вільний доступ» у 2022 р. двох продуктів компанії І. Маска "OpenAI" (ChatGPT та DALL-E) та їх приголомшливого успіху у 2023 р. Microsoft збирається вкласти в розробника двох хітових нейромереж \$10 млрд, придбавши 49% компанії. І вартість компанії, яка у 2015 р. задумувалась як неприбуткова організація, дослідницька лабораторія з безкоштовними патентами, з метою розроблення безпечного для людства ШІ та протистояння великим корпораціям, після

цього буде оцінюватись у \$29 млрд (порівняно із \$14 млрд. у 2021 р.).

На думку науковців Goldman Sachs, які проводили дослідження [14], автоматизації завдяки ШІ не варто боятися. Вона може звільнити працівників від рутинних завдань і підвищити продуктивність праці, що буде благом для ринків праці в розвинених країнах та може збільшити світовий ВВП на 7% у наступному десятилітті.

Співзасновник Microsoft Білл Гейтс вважає, що заклики зупинити розвиток штучного інтелекту «не вирішать усіх проблем», пов'язаних із цим, і ми згодні з ним, що не варто перебільшувати можливості ШІ та перекладати на нього всі вади, притаманні людському суспільству, а варто розглядати його як інтелектуальний інструмент, який допомагає людині ухвалювати правильні рішення, покращує якість життя всього людства.

ЛІТЕРАТУРА:

1. IBM Global AI Adoption Index 2022. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/GVAGA3JP>.
2. Bojan Jovanovic. 55 Fascinating AI Statistics and Trends for 2023. URL: <https://dataprot.net/statistics/ai-statistics/>.
3. Corder Mike. Rembrandt's huge "Night Watch" gets bigger thanks to AI. URL: <https://apnews.com/article/europe-lifestyle-travel-technology-arts-and-entertainment-d9312050e505c720b8870f0ad0608609>.
4. Frank Steven J., Frank Andrea M. A Neural Network Looks at Leonardo's Salvator Mundi. *Leonardo*. 2021. № 54 (6). P. 619–624. DOI: 10.1162/leon_a_02004.
5. Liu Gloria. The World's Smartest Artificial Intelligence Just Made Its First Magazine Cover. URL: <https://www.cosmopolitan.com/lifestyle/a40314356/dall-e-2-artificial-intelligence-cover/>.
6. Fundraising for humanitarian aid to Ukraine. URL: <https://sirens.gallery>.
7. DALL·E: Introducing outpainting. *Open AI*. URL: <https://openai.com/blog/dall-e-introducing-outpainting>.
8. Chayka K. Is A.I. Art stealing from artist? *The New Yorker*. February 10, 2023. URL: <https://www.newyorker.com/culture/infinite-scroll/is-ai-art-stealing-from-artists>.
9. Editor "relieved of duties" and publishing house apologizes after German magazine's fake AI interview with Michael Schumacher / N. Schmidt et al. *CNN*. April 22, 2023. URL: <https://edition.cnn.com/2023/04/22/motorsport/michael-schumacher-fake-ai-interview-apology-spt-intl/index.html>.
10. Raji I.D., Fried G. About Face: A Survey of Facial Recognition Evaluation. URL: <https://arxiv.org/pdf/2102.00813.pdf>.
11. The perpetual line-up. Unregulated police face recognition in America / C. Garvie et al. Georgetown law. Center on Privacy & Technology. URL: <https://www.perpetuallineup.org/>.
12. Najibi A. Racial Discrimination in Face Recognition Technology. Harvard university. URL: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2020/racial-discrimination-in-face-recognition-technology/>.
13. Buolamwini J., Gebru T. Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification. *Proceedings of Machine Learning Research* 81:1. 15, 2018. Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. URL: <http://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a/buolamwini18a.pdf>.
14. ChatGPT could replace telemarketers, teachers and traders. *The Economist*. Apr, 14, 2023. URL: <https://www.economist.com/graphic-detail/2023/04/14/chatgpt-could-replace-telemarketers-teachers-and-traders>.
15. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior / J.S. Park et al. DOI: 10.48550/arXiv.2304.03442.
16. Мельнік Т. Починали з Маска, пограли в альтруїзм і дійшли до \$10 млрд від Microsoft. Історія OpenAI – розробника ШІ «вбивці професій». *Forbes Ukraine*. 11.01.2023. URL: <https://forbes.ua/innovations/pochinali-z-maski-pograli-v-altuizmi-i-diyshli-do-10-mlrd-vid-microsoft-istoriya-openai-rozrobnika-shi-vbivtsi-profesiy-11012023-11004>.

REFERENCES:

1. IBM Global AI Adoption Index 2022 (2023). URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/GVAGA3JP>.
2. Bojan Jovanovic. 55 Fascinating AI Statistics and Trends for 2023 (2023). URL: <https://dataprot.net/statistics/ai-statistics/>.
3. Corder, Mike. Rembrandt's huge "Night Watch" gets bigger thanks to AI (2021). URL: <https://apnews.com/article/europe-lifestyle-travel-technology-arts-and-entertainment-d9312050e505c720b8870f0ad0608609>.
4. Frank, Steven J., Frank, Andrea M. (2021). A Neural Network Looks at Leonardo's Salvator Mundi. *Leonardo*. 54 (6): 619–624. DOI: 10.1162/leon_a_02004.
5. Liu, Gloria (2023). The World's Smartest Artificial Intelligence Just Made Its First Magazine Cover. URL: <https://www.cosmopolitan.com/lifestyle/a40314356/dall-e-2-artificial-intelligence-cover/>.

6. Fundraising for humanitarian aid to Ukraine (2022). URL: <https://sirens.gallery>.
7. DALL·E: Introducing outpainting (2022). *Open AI*. URL: <https://openai.com/blog/dall-e-introducing-outpainting>.
8. Chayka, K. (2023). Is A.I. Art stealing from artist? *The New Yorker*. URL: <https://www.newyorker.com/culture/infinite-scroll/is-ai-art-stealing-from-artists>.
9. Schmidt, N., Ronald, I., Mncwabe, S. (2023). Editor “relieved of duties” and publishing house apologizes after German magazine’s fake AI interview with Michael Schumacher. *CNN*. URL: <https://edition.cnn.com/2023/04/22/motorsport/michael-schumacher-fake-ai-interview-apology-spt-intl/index.html>.
10. Raji, I.D., Fried, G. (2021). About Face: A Survey of Facial Recognition Evaluation. URL: <https://arxiv.org/pdf/2102.00813.pdf>.
11. Garvie, C., Bedoya, A., Frankie, J. (2016). The perpetual line-up. Unregulated police face recognition in America. Georgetown law. Center on Privacy & Technology. URL: <https://www.perpetuallineup.org/>.
12. Najibi A. (2020). Racial Discrimination in Face Recognition Technology. Harvard university. URL: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2020/racial-discrimination-in-face-recognition-technology/>.
13. Buolamwini, J., Gebru, T. (2018). Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification. Proceedings of Machine Learning Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. URL: <http://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a/buolamwini18a.pdf>.
14. ChatGPT could replace telemarketers, teachers and traders (2023). *The Economist*. URL: <https://www.economist.com/graphic-detail/2023/04/14/chatgpt-could-replace-telemarketers-teachers-and-traders>.
15. Park, J.S., O’Brien, J.C., Cai, C.J., Morris, M.R., Liang, P., Bernstein, M.S. (2023). Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. DOI: 10.48550/arXiv.2304.03442.
16. Melnik, T. (2023). Pochynaly z Maska, pohraly v altruizm i diishly do \$10 mlrd vid Microsoft. Istoriia OpenAI – rozrobnika Shi “vbyvti profesii”. *Forbes Ukraine*. URL: <https://forbes.ua/innovations/pochinali-z-maski-pograli-v-altruizm-i-diyshli-do-10-mlrd-vid-microsoft-istoriya-openai-rozrobnika-shi-vbyvti-profesiy-11012023-11004> [in Ukrainian].

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621-926

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-3>

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ DC-AC ІНВЕРТОРА ІЗ СИНУСОЇДНОЮ ФОРМОЮ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Бородай Валерій Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-6788-0562

Нестерова Ольга Юріївна,

кандидат педагогічних наук,

завідувач кафедри філософії і педагогіки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5952-4664

Боровик Роман Олексійович,

старший викладач кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5230-7747

Розглянуто особливості побудови розподільника імпульсів керування DC-AC інвертора із синусоїдною формою вихідною напруги, питання модуляції сигналів керування силових ключів із несучою синусоїдною напругою, принципи та реалізацію синхронізації вихідної напруги інвертора з напругою модуляції для забезпечення максимуму схожості середніх значень синтезованої широтно-імпульсним способом вихідної напруги, випробувано та досліджено модель інвертора. А також надано рекомендації щодо реалізації схемного рішення та способів налагодження з використанням можливостей САПР MULTISIM компанії "NATIONAL INSTRUMENTS".

Ключові слова: автономне джерело, електронна лабораторія САПР MULTISIM, інвертор DC-AC синусоїдної форми вихідної напруги, розподільник імпульсів, синхронізація складників системи.

Borodai Valerii, Nesterova Olha, Borovyk Roman. Features of modeling a DC-AC inverter with a sinusoidal output voltage waveform

The paper considers the peculiarities of constructing a DC-AC inverter control pulse divider with a sinusoidal output voltage waveform, the issues of modulating the control signals of power switches with a sinusoidal voltage, the principles and implementation of synchronizing the inverter output voltage with the modulation voltage to ensure maximum similarity of the average values of the output voltage synthesized by the pulse width modulation method, and tests and investigates the inverter model. Recommendations on the implementation of the circuit solution and debugging methods using the capabilities of the MULTISIM CAD system by NATIONAL INSTRUMENTS are also given.

Key words: autonomous source, electronic laboratory of CAD MULTISIM, DC-AC inverter of sinusoidal output voltage, pulse distributor, synchronization of system components.

Вступ. Гостра потреба в живленні побутових споживачів в умовах військового стану зумовлює необхідність для промислових виробників повернутись до проблеми розроблення та побудови простих і ефективних незалежних аварійних систем електропостачання. За розгляду такої проблематики також постало питання щодо споживачів першої необхідності, які є засобами забезпечення життєдіяльності людини. До

першої категорії таких побутових споживачів варто віднести помпи котлів опалення, приводи холодильних і морозильних камер, освітлення помешкань, живлення засобів зв'язку. Водночас до початку розроблення варто зорієнтуватися щодо бажаної потужності джерела автономного живлення. За даними [1; 2], належна потужність переліченого комплексу споживачів коливається в межах 0,8–1,6 кВт.

До аналізу відомих засобів аварійних джерел були включені:

- економічні інверторні генератори малої потужності та більш потужні з гіршими показниками ефективності;
- автономні джерела електропостачання, які базуються на хімічних накопичувачах енергії (далі – АКБ);
- джерела, які використовують альтернативні засоби видобутку енергії.

За досить високої надійності механічні генератори мають декілька недоліків: висока вартість кВт/год виробленої енергії; викиди забруднюючих газів; високий рівень шуму, що не завжди може задовольняти потенційного споживача.

Автономні джерела на АКБ мають більшу можливість щодо автоматизації процесу електропостачання і водночас меншу собівартість одиниці згенерованої енергії порівняно з попереднім способом.

Альтернативні джерела характеризуються головною перевагою, яка полягає у відсутності первинного носія енергії, але за вимоги високої початкової капітальної ціни обладнання.

За очевидних переваг систем електропостачання на АКБ і можливості регулярної підзарядки батарей від промислової мережі аварійна система такого типу може стати пріоритетною.

Невід'ємною складовою частиною системи електропостачання, яка базується на хімічних накопичувачах енергії, є DC-AC перетворювачі напруги, особливість традиційної конструкції яких забезпечує утворення змінної напруги прямокутної форми, що для деяких споживачів є неприпустимим. Тому для надання їм необхідної якості живлення варто експлуатувати системи із синусоїдальною формою вихідної напруги.

Мета роботи – здійснити розробку та дослідження системи аварійного електропостачання на базі АКБ джерела з більш ефективним способом інвертування для формування синусоїдальної форми вихідної напруги, що гарантовано забезпечить бажану якість електроенергії для всіх побутових приладів без винятку.

Основний зміст роботи. Первинна акумуляторна батарея зазвичай має початковий заряд рівня 13,7 вольт. Живлення ж побутових споживачів вимагає рівень діючої напруги в 220 В. Щоби забезпечити дотримання зазначених умов, інвертор, що проектується, має живитись постійною напругою у 300 В. У розробці, що пропонується, питання збільшення напруги від 13,7 до 300 В не розглядається, тому перейдемо одразу до розроблення моделі інвертора напруги.

Як згадувалось, перетворення виконується завдяки інвертору, де з постійної напруги 300

В формується зміна напруга 220 В частоти 50 Гц. Запропонована схемна реалізація інвертора (рис. 1) містить: 1 – розподільник імпульсів керування; 2 – силовий модуль (транзисторний міст із складаних схем); 3 – підсилювачі потужності доведення рівня сигналу виходу розподільника до потрібного рівня напруги на базах транзисторів; 4 – систему синхронізації; 5 – генератор регульованої шпаруватості.

Генератор тактових імпульсів у 500 Гц готує вхідні сигнали розподільника шляхом заповнення лічильника. Комбінаційна схема під час заповнення лічильника виконує відпрацювання таблиці перемикань силових ключів блока 2 (рис. 1), які далі синтезують із підвищеної напруги 300 В змінну напругу.

Властивістю роботи інвертора є необхідність відпрацювання синхронізації сигналу опорної напруги (блок 4) з роботою розподільника імпульсів 1. Із цією метою у блоці 4 використано однопороговий компаратор з опорною напругою у 3,6 В. Завдяки йому кожне зниження синусоїдної опорної напруги на вході генератора регульованої шпаруватості забезпечує наявність управління ключами силового блока через підсилювачі потужності 3, які призначені для підвищення вихідної напруги розподільників до рівня, необхідного для гарантованого управління силовими ключами. На керівні сигнали розподільника також впливає сигнал модуляції з генератора регульованої шпаруватості 5. Його особливістю є функціональна залежність шпаруватості від напруги на вході. Для формування синусоїдальної середньої напруги на виході інвертора на кожному кроці модуляції за входом генератора 5 потрібно подавати синусоїдальну опорну напругу частотою 100 Гц, щоби забезпечити модуляцію кожної напівхвилі як у позитивний, так і в негативний бік. Водночас опорну напругу треба пропустити через міст вирівнювання, щоби мати пульсуючу напругу керування та додатково зсунути її на +4 В. Це забезпечить правильне керування генератором шпаруватості.

Результуючий сигнал синхронізації стає дійсним за умови наявності додаткового сигналу на виході другого плеча перетворювача. Скид лічильника може виконуватись або сигналом синхронізації, або сигналом примусового скиду з дешифратора контролю непарного модуля рахунку. Результати побудови та дослідження демонструються на рисунку 2. Аналіз отриманих діаграм дає підстави стверджувати, що модульований сигнал відповідає вимогам, які було закладено на початку розробки аварійної системи електропостачання.

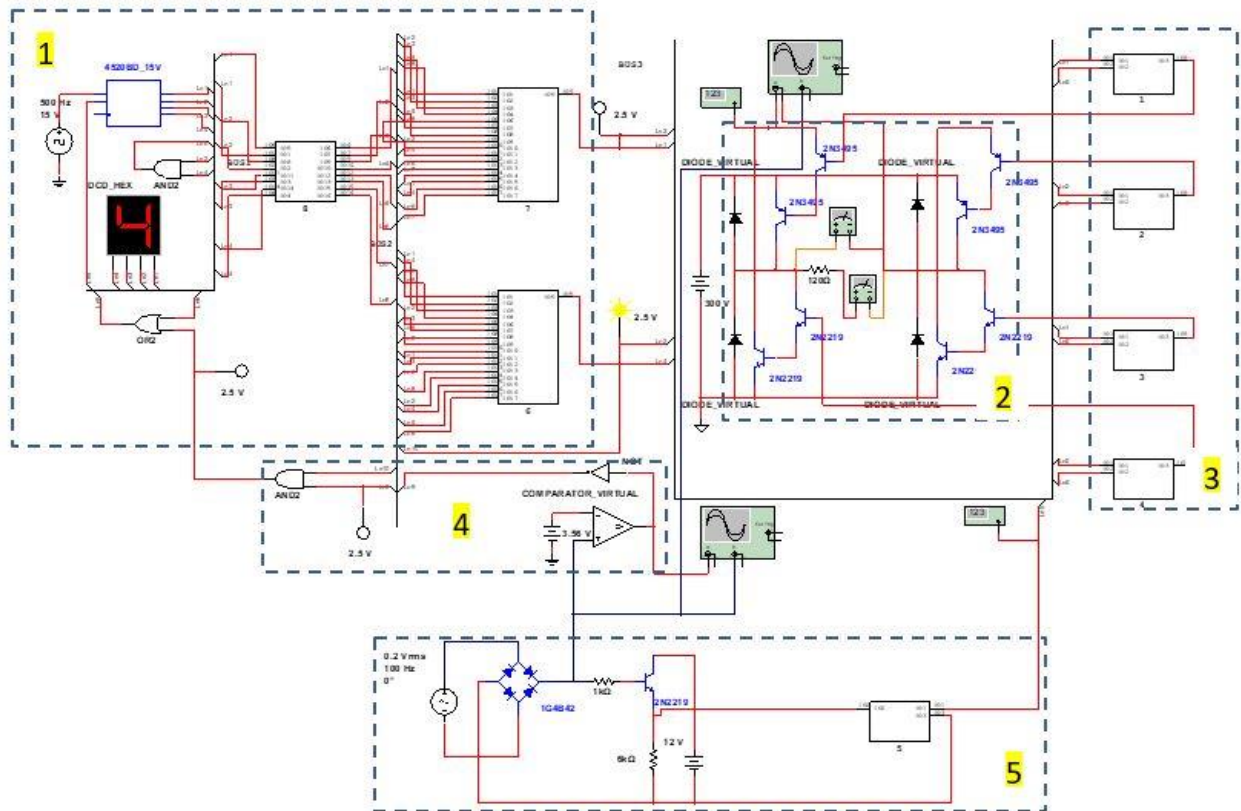
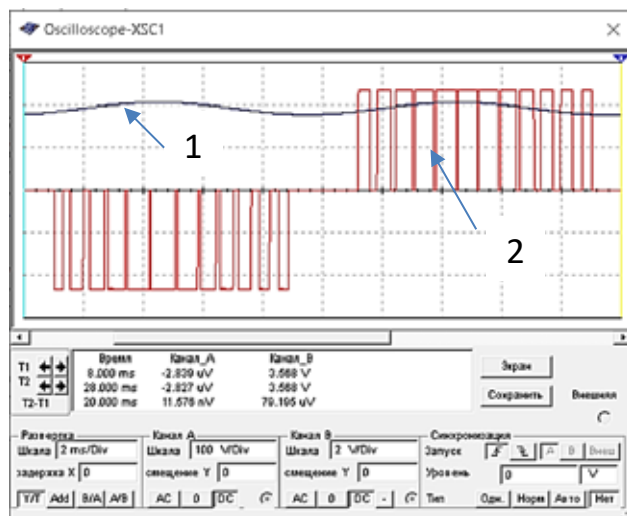


Рис. 1. Інвертор формування однофазної синусоїдної напруги



1 – опорна напруга
модулювання,
масштаб 2 В/діл;

2 – напруга на виході
перетворювача,
масштаб 100 в/діл.

Рис. 2. Результати моделювання інвертора синусоїдної вихідної напруги

Наукова новизна роботи полягає в розробленні оригінальної послідовності перемикачів ключів силової частини схеми, необхідної тривалості пауз між перемикачними плечей транзисторних ключів розподільника імпульсів (рис. 1, блок 1), системи синхронізації із синусоїдною опорною напругою (рис. 1, блок 4) та надання рекомендацій щодо кількісних параметрів опорних напруг керування генератором регульованої шпаруватості та

компаратора синхронізації та рівнів частоти генераторів, які задіяно в інверторі (рис. 1).

Висновки. Розроблення та дослідження системи аварійного електропостачання забезпечить більш досконалі способи підвищення напруги й інвертування для отримання синусоїдної форми вихідної напруги, яка гарантуватиме необхідну якість електричної енергії для живлення задекларованого переліку споживачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бородай В.А., Ковальов О.Р. Моделювання систем імпульсно-фазового керування перетворювальних приладів. *Семінар Наукової ради з проблеми «Наукові основи електроенергетики»*. Київ : Інститут електродинаміки, 2019. С. 11.
2. Бородай В.А., Ковальов О.Р. Результати попередньої проробки аварійно-резервної системи електропостачання обмеженої потужності. *Гірнича електромеханіка та автоматика* : науково-технічний збірник. Дніпро : Національний гірничий університет, 2017. № 29. С. 3–7.

REFERENCES:

1. Borodai, V.A., Kovalev, O.R. (2019). Modeljuvannja system impul'sno-fazovogo keruvannja peretvorjuval'nyh pryladiv [Modeling of pulse-phase control systems of converting devices]. *Seminar of the Scientific Council on the problems "Scientific foundations of electric power engineering"*. Kyiv: Institute of Electrodynamics. P. 11 [in Ukrainian].
2. Borodai, V.A., Kovalev, O.R. (2017). Rezul'taty poperedn'oi' prorobky avarijno-rezervnoi' systemy elektropostachannja obmezhenoi' potuzhnosti [The results of the preliminary design of the emergency backup power supply system of limited capacity]. *Mining electromechanics and automation* : Scientific and technical collection. Dnipro : National Mining University, 2017. № 29 P. 3–7 [in Ukrainian].

УДК 620.92

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-4>

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

Дрешпак Наталія Станіславівна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електротехніки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-4453-1378

Стаття присвячена проблемі оцінювання наслідків використання відновлювальних джерел енергії з погляду їх потенційного впливу на довкілля. Визначено поняття оцінки життєвого циклу, розкрито етапи реалізації процедури оцінки життєвого циклу згідно з методологією LCA. Розглянуто особливості оцінки життєвого циклу в енергетичному секторі. Проаналізовано результати дослідження оцінки життєвого циклу різних джерел енергії, що використовуються в національній енергетичній системі Чехії.

Оцінювання життєвого циклу (англ. Life Cycle Assessment, LCA) є відомою методологією досліджень, яка передбачає їх вивчення з урахуванням наявних зв'язків з навколишнім середовищем. Часто ці зв'язки дослідники не враховують або беруть до уваги неповною мірою, що призводить до помилкових висновків стосовно властивостей цих явищ і їхнього впливу на довкілля.

Стратегії декарбонізації, створені з моделями національних енергетичних систем, передбачають упровадження низьковуглецевих технологій. Хоча ці технології забезпечують зменшення викидів парникових газів, вони призводять до непрямих викидів через будівництво та можуть спричинити інші впливи на довкілля, як-от екотоксичність і виснаження ресурсів. Отже, помилково вважати, що відновлювані джерела енергії цілком вільні від викидів. Використання низьковуглецевих технологій для скорочення викидів парникових газів може «перекласти навантаження» на інші впливи на довкілля.

Таким чином, оцінка життєвого циклу (LCA) є потужним інструментом підтримки ухвалення рішень, який оцінює вплив продукту або процесу на довкілля на всіх етапах (від видобутку матеріалу до утилізації відходів). Із часом LCA дедалі більше будуть застосовувати для оцінки впливу енергетичних технологій на довкілля.

Ключові слова: оцінювання життєвого циклу, вплив на довкілля, відновлювані джерела енергії, викиди парникових газів, стратегії декарбонізації.

Dreshpak Nataliia. Life cycle assessment in the energy sector

The article is devoted to the problem of assessing the consequences of the use of renewable energy sources considering their potential impact on the environment. The concept of life cycle assessment is defined, and the stages of implementation of the life cycle assessment procedure according to the LCA methodology are revealed. The features of life cycle assessment in the energy sector are considered. The results of the life cycle assessment study of different types of energy sources, used in the national energy system of the Czech Republic, are analyzed.

Life Cycle Assessment (LCA) is a well-known research methodology that involves studying the existing relationships with the environment. Often, researchers do not take these connections into account or take them into account incompletely, which leads to incorrect conclusions regarding the properties of these phenomena and their impact on the environment.

Decarbonization strategies, created with models of national energy systems, involve the implementation of low-carbon technologies. Although these technologies reduce greenhouse gas emissions, but they result in indirect emissions through construction and can cause other environmental impacts such as ecotoxicity and resource depletion. Thus, it is a mistake to consider renewable energy sources as completely emission-free. Using low-carbon technologies to reduce greenhouse gas emissions can "shift the burden" on the other environmental impacts.

Thus, life cycle assessment (LCA) is a powerful decision support tool that assesses a product's or process's environmental impact at all stages (from material extraction to waste disposal). Over time, LCAs will be increasingly used to assess the environmental impact of energy technologies.

Key words: life cycle assessment, environmental impact, renewable energy sources, greenhouse gas emissions, decarbonization strategies.

Вступ. Оцінювання життєвого циклу (англ. Life Cycle Assessment, LCA) є відомою методологією досліджень, яка передбачає їх вивчення з урахуванням наявних зв'язків із навколишнім середовищем. Часто ці зв'язки дослідники не враховують або враховують неповною мірою, що призводить до отримання помилкових

висновків стосовно властивостей цих явищ і їхнього впливу на довкілля. Тому ігнорування системного підходу до проведення наукових досліджень завжди викликало сумнів щодо справедливості й обґрунтованості отриманих наукових результатів. Варто зазначити, що застосування системного підходу потребує

суттєвого розширення досліджень у різних напрямках, що не завжди підтримується самими дослідниками, які хочуть отримати чудові результати дослідження, не забезпечивши водночас необхідної доказової бази. Прикладів ігнорування системного підходу безліч.

Добре, що останнім часом урахуванню зв'язків між окремими явищами почали приділяти більшу увагу. Те, що цей процес відбувається, можна спостерігати на наполегливому впровадженні розвиненими країнами оцінювання життєвого циклу.

Отже, оцінювання життєвого циклу (англ. *Life Cycle Assessment* (далі – LCA)) визначається як процедура збору й аналізу потоків інформації щодо ефективності використання ресурсів і можливих екологічних впливів продукту на довкілля протягом усього його життєвого циклу [1].

У результаті проведеного аналізу цього поняття доходимо висновку, що розглядається продукт людської діяльності з погляду використання його ресурсу ц екологічного впливу на довкілля. Водночас беруться до уваги всі етапи життєвого циклу. Ясно, що причина застосування такого підходу полягає в тому, що і ресурси, і характер впливу на довкілля в різні періоди життєвого циклу змінюються. Тому реєстрація впливу предмета на довкілля в короткому проміжку часу не дає повної картини цього впливу та часто призводить до хибних висновків. Тобто необхідно враховувати повний життєвий цикл.

Матеріали та методи. У роботі розглядається методика LCA оцінювання екологічних наслідків виробництва електроенергії через використання відновлюваних джерел енергії. Аналізуються переваги методики LCA, що враховує наявні з навколишнім середовищем зв'язки, дозволяє виявити екологічний вплив за стадіями життєвого циклу енергетичного продукту, оцінити його. Наведені у статті аналітичні дані, отримані за результатами досліджень у Чехії, можуть бути використані з метою забезпечення сталого розвитку енергетики України, формування світогляду щодо проблем і перспектив реформування енергетичного сектору, пов'язаних із впровадженням низьковуглецевих технологій.

Результати. За методикою LCA вивчаються всі стадії життєвого циклу продукту – «від колиски до могили», охоплюючи процеси видобутку сировини, використання енергії та матеріалів, виробництва продукту, його розповсюдження та споживання, ремонту та технічного обслуговування, поводження

з відходами, вторинної переробки продукції або її утилізації [1].

Недоліки, пов'язані з оцінкою можливостей і переваг предмета в конкретних умовах, проявлялись навіть у розробленні міжнародних стандартів. Розробники хотіли зафіксувати вдалі характеристики предметів, що підлягали розгляду, незважаючи на їх тимчасовий прояв. LCA змінює цю картину, уводячи особливий підхід до збирання й аналізу інформації, пов'язаної із застосуванням предмета. Цей новий підхід почав проявлятися в розробленні нових ISO, які замінили стандарти, чинні раніше [1].

Оцінка життєвого циклу використовується на всіх рівнях стратегічного управління для проектування характеристик енергоефективності й екологічності продукції чи процесів. Сфера застосування оцінки зрозуміла із цієї фрази. І характеристики продукції, і управління її використанням залежать від того, у якому життєвому циклі вона перебуває. В обчисленні кліматичного сліду харчової продукції враховуються кліматичні впливи на всіх етапах виробничо-збутового ланцюга, зокрема виготовлення сировини, переробки, охолодження та транспортування. Наприклад, в [1] наведено показники викидів парникових газів у кг CO₂ еквівалента на кг продукції за різними технологіями виробництва (у «традиційному» й «органічному» виробництві).

Виходячи з того, що LCA визначається як процедура збору й аналізу потоків інформації, процедура складається із чотирьох етапів (рис. 1) [2]. Визначення цих етапів дозволяє формалізувати процедуру, увести єдине їх трактування незалежно від призначення предмета, розмаїття його характеристик.

На першому етапі – **Мета та сфера застосування** (англ. *Goal and Scope Definition*) – визначаються мета, часові та просторові межі та методи здійснення LCA. Ключовим елементом дослідження є вибір об'єкта дослідження – функціональної одиниці (технології, продукції чи послуги), вплив якої буде оцінюватися та порівнюватися. Варто звернути увагу на те, що оцінюванню підлягає вплив самого об'єкта дослідження.

Другий етап – **Аналіз життєвого циклу** (англ. *Life Cycle Inventory Analysis, LCI*) – передбачає збір і аналіз вхідних / вихідних потоків даних для проведення наступного етапу дослідження. Інформація (про величину споживаної енергії та застосованих матеріалів, кількості забруднюючих речовин тощо) збирається щодо кожного процесу всього життєвого циклу об'єкта дослідження.

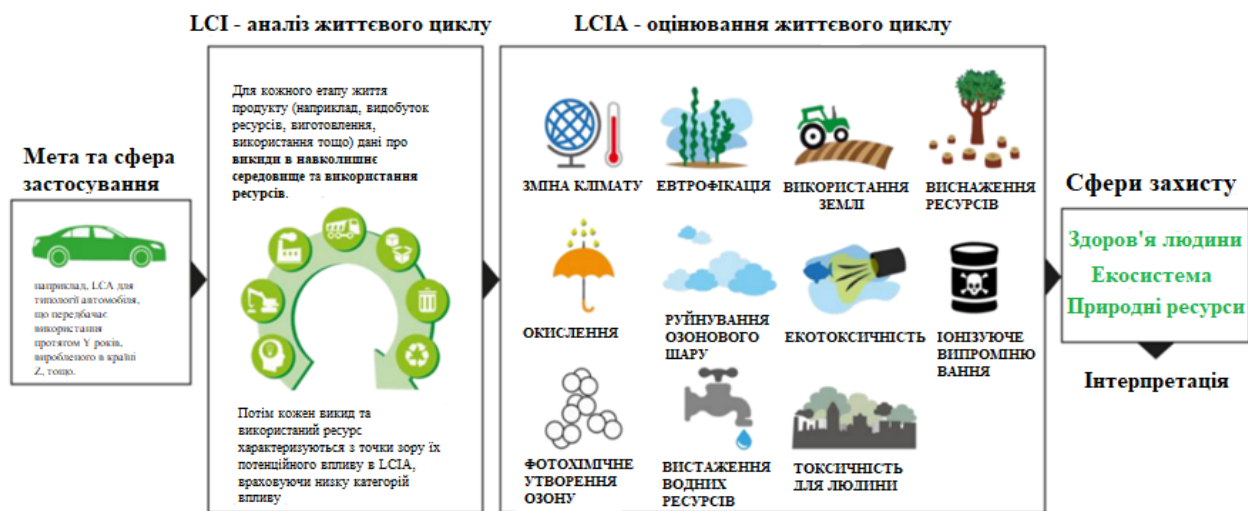


Рис. 1. Етапи реалізації методології LCA

Третій етап – **Оцінювання життєвого циклу** (англ. *Life Cycle Impact Assessment, LCIA*) – проводиться за результатами інвентаризаційного аналізу з метою оцінки значущості різних потенційних впливів на навколишнє середовище. Цей етап вважається найскладнішим у процедурі LCA.

Четвертий етап – **Інтерпретація результатів** (англ. *Life Cycle Interpretation*) – передбачає розроблення рекомендацій з оптимізації використання ресурсів і мінімізації шкідливих впливів продукту на навколишнє середовище протягом усього його життєвого циклу.

П'ятий етап – **Оцінка впливу життєвого циклу (LCIA)** – включає чотири додаткові підетапи (класифікація, характеристика, нормалізація та зважування), які викладено нижче (табл. 1) [2].

Отже, загальний негативний вплив предмета на довкілля в разі застосування LCA виражається конкретним числом, яке можна порівнювати з аналогічними числами, отриманими для інших предметів, що виконують аналогічні функції. Наприклад, можна зіставити негативний вплив сонячних панелей і атомних електростанцій, які використовуються для генерації електроенергії. Перевагу отримує варіант з меншим значенням негативного впливу. Числа, які зіставляють, характеризують також «ступінь» отриманої переваги.

У 2014 р. Європейською комісією була створена Мережа даних життєвого циклу (далі – LCDN), спрямована на забезпечення глобальної інфраструктури для розміщення даних LCA, отриманих за результатами досліджень різних організацій (промислових підприємств,

Таблиця 1

Підетапи «Оцінки впливу життєвого циклу» (LCIA)

Крок	Приклад
Крок 1 – Класифікація На ньому негативний вплив відносять до відповідної категорії впливу.	Наприклад, всі входи/виходи, які призводять до викидів парникових газів (CO_2 , метану тощо), відносять до категорії впливу на зміну клімату. Цих категорій може бути декілька.
Крок 2 – Характеристика Розраховують кожний внесок у відповідну категорію впливу. Цей внесок приводять до еквівалента, що діє в цій категорії.	Наприклад, для категорії зміни клімату це еквівалентна кількість викиду CO_2 .
Крок 3 – Нормалізація Тут загальне значення впливу за кожною категорією ділять на кількість осіб, які зазнали негативного впливу.	Наприклад, коефіцієнт зміни клімату становить декілька тисяч кг CO_2 екв./особу.
Крок 4 – Зважування На ньому за допомогою вагових коефіцієнтів (у сумі дорівнюють 1), отриманих для кожної категорії, визначають загальний негативний вплив предмета на всі категорії.	Наприклад, ваговий коефіцієнт зміни клімату становить приблизно 21%, що представляє відносну релевантність цього впливу порівняно з іншими категоріями.

національних проєктів LCA, дослідницьких центрів тощо) [2]. Наприклад, база даних LCIA Method Data set містить показники інтенсивності впливу різних видів парникових газів, що виділяються під час спалювання викопного палива, щодо вуглекислого газу (вираженого в кг CO₂-еквівалента в категорії зміни клімату) [2]. Для формування вихідних даних у дослідженні LCA в енергетичному секторі також часто використовують такі відомі бази даних, як Sphera або LCI ecoinvent.

Отже, у розвинутих країнах була проведена значна робота з упровадження методики LCA. У результаті були отримані відповіді, які не завжди збігалися зі зробленими раніше висновками. Приклад такого розходження висновків розглянемо нижче.

Стратегії декарбонізації, створені з моделями національних енергетичних систем, передбачають упровадження низьковуглецевих технологій [3]. Хоча ці технології забезпечують зменшення викидів парникових газів, вони призводять до непрямих викидів через будівництво та можуть спричинити інші впливи на довкілля, як-от екотоксичність і виснаження ресурсів. Отже, помилково вважати, що відновлювані джерела енергії цілком вільні від викидів. Використання низьковуглецевих технологій для скорочення викидів парникових газів може «перекласти навантаження» на інші впливи на довкілля.

За останні роки у світі виконано досить багато досліджень на основі методу LCA, які присвячені оцінці екологічного впливу різних джерел енергії [3]. У країнах ЄС вплив на навколишнє середовище, пов'язаний із відновлювальними та невідновлювальними джерелами енергії, оцінено, наприклад, у Німеччині, Чехії, Польщі та Греції, Іспанії. Окрім того, за межами Європи дослідження були проведені в Мексиці, Канаді та Китаї.

Вищезазначені проблеми, пов'язані з неправильними висновками, є особливо актуальними для виробництва електроенергії, де просторові (розташування електростанцій) і часові (урахування часу виникнення впливу) моделі можуть впливати на економіку та навколишнє середовище [3]. Приклади впливу просторової мінливості включають: місцеві екологічні умови, щільність населення, місцеві комбінації електроенергії, відстані постачання та розподілу палива, а також доставки електроенергії споживачам. Викиди в навколишнє середовище від виробництва електроенергії залежать від погодинних, щоденних і тижневих циклів попиту, сезонних циклів (тобто екологічних умов, попиту, рівня інфляції, зміни регіональної енергетичної

системи). Отже, маючи точніші результати розрахунку впливу, особи, які ухвалюють рішення, можуть систематично зменшувати вплив на навколишнє середовище протягом життєвого циклу різних енергетичних технологій.

Розглянемо деякі результати застосування методики LCA в Чехії, де аналізували вплив на довкілля різних джерел електроенергії [4]. Варто зазначити, що викиди парникових газів у Чеській Республіці порівняно із середнім рівнем країн Європейського Союзу залишаються високими: 12,4 т еквівалента CO₂ у Чехії порівняно із середнім показником 8,7 т еквівалента CO₂ у країнах ЄС.

У [4] наведено енергетичний баланс вироблення електроенергії, звідки можна зробити висновок, що більшу частину енергії виробляють ТЕС, на другому місці – атомні електростанції. Електростанції, що працюють із використанням ВДЕ, забезпечують 11% від загального обсягу виробленої енергії. До 2030 р. Чехія планує збільшити частку відновлюваних джерел у структурі виробництва електроенергії до 22%.

Отже, перший етап – **Визначення цілі та сфери застосування LCA**.

Дослідження мало на меті використання методу LCA для оцінки потенційного впливу на навколишнє середовище різних джерел електроенергії в Чехії за методологією The Product Environmental Footprint (PEF) 2.0 [4]. PEF 2.0 – це останній рекомендований Європейською комісією метод, застосований у базі даних LCI ecoinvent.

Функціональна одиниця визначалась як 1 кВт·год електроенергії, що виробляється відповідним джерелом. Дослідження передбачало огляд усіх категорій джерел енергії (невідновлюваних і відновлюваних, централізованих і децентралізованих) [4].

Життєві цикли розглянутих джерел енергії були розділені на три фази, а саме: будівництво (позначено *Construction*), період експлуатації (позначено *Operation*) і період виведення з експлуатації (позначено *Decommissioning*). Водночас ураховувався очікуваний термін служби різних типів електростанцій.

Другий етап – **Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу (LCI)** – передбачає збір даних про всі значні вхідні матеріальні й енергетичні потоки та викиди в навколишнє середовище, пов'язані із життєвим циклом виробництва електроенергії. Первинні дані отримано за період 2015–2018 рр. від більшості операторів електростанцій, а також із вторинних баз даних Sphera або Ecoinvent, отриманих на основі експертних оцінок і літературних джерел.

Дослідження передбачало **Оцінку впливу життєвого циклу** різних джерел енергії за наступними 5-ма категоріями, як-от [4]:

- зміна клімату;
- використання енергетичних ресурсів (вугілля, природний газ);
- використання корисних копалин і металів;
- споживання води;
- викиди неорганічної речовини (твердих частинок).

На четвертому етапі здійснювалась **Інтерпретація результатів LCA**.

Отже, перша категорія – зміна клімату. На рис. 2 порівнюються різні види енергії з погляду їхнього впливу на довкілля, вираженого в кг CO₂-еквівалента [4]. Як ми бачимо, найбільший вплив пов'язаний із середнім викидом 953 г CO₂/кВт·год протягом усього терміну служби вугільної електростанції. Результати показують, що вплив вугільних ресурсів приблизно вдвічі більший, ніж природний газ. Відновлювані джерела енергії (фотоелектричні, вітрові, гідроелектростанції), а також атомна енергія мають набагато менший вплив на категорію зміни клімату.

Як бачимо з рис. 3, більшість впливів викопного палива (кам'яного вугілля, бурого вугілля та природного газу) пов'язані з періодом експлуатації електростанції, особливо спалюванням палива [4]. Для вітрової та фотоелектричної енергетики найбільш значний вплив на категорію зміни клімату справляє етап будівництва. Отже, *жодне джерело електроенергії не має нульового вуглецевого сліду* з погляду життєвого циклу.

Друга категорія – використання енергетичних ресурсів. На рис. 4. показано порівняння різних джерел енергії з погляду використання енергетичних ресурсів [4]. З рис. 4 видно, що найбільш значні впливи пов'язані із джерелами викопного палива, тобто 8,9 МДж/кВт·год для електростанцій, що працюють на бурому вугіллі, та 11,6 МДж/кВт·год для інших вугільних електростанцій. Вплив бурого вугілля приблизно на 16% вищий, ніж природного газу.

З рис. 5 видно, що з погляду використання енергії всі впливи викопного палива пов'язані з періодом експлуатації, тобто процесом видобутку та підготовки палива [4]. Що стосується відновлюваних джерел енергії, їхній вплив в основному пов'язаний із виробництвом матеріалів, які використовуються для будівництва електростанцій.

Третя категорія – використання корисних копалин і металів. На рис. 6 показано порівняння джерел енергії та їхній вплив на використання корисних копалин і металів. Для порівняння використовується показник Sb-екв. – показник виснаження абіотичних ресурсів [4].

Результати дослідження показують, що життєвий цикл фотоелектричної енергії має найбільш значний вплив на цю категорію, тобто 0,01 г екв. Sb/кВт·год. З рис. 7 видно, що фотоелектрична енергетика впливає на використання мінеральних ресурсів і металів, особливо на етапі будівництва, тобто виробництва будівельних матеріалів (під час видобутку й обробки різних металів). Щодо вітрової енергії, вплив на використання мінералів і металів також

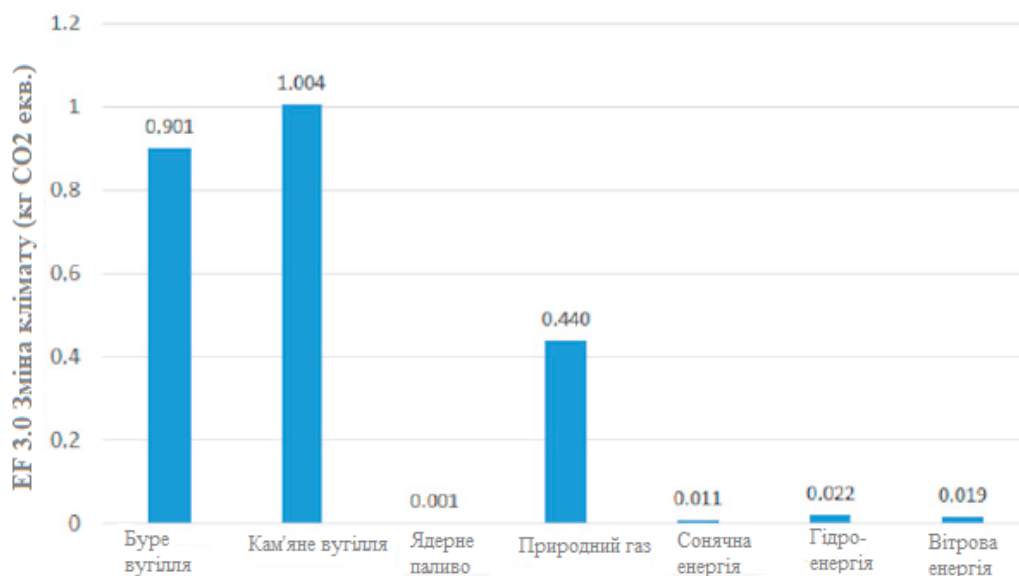


Рис. 2. Вплив різних джерел енергії на категорію зміни клімату

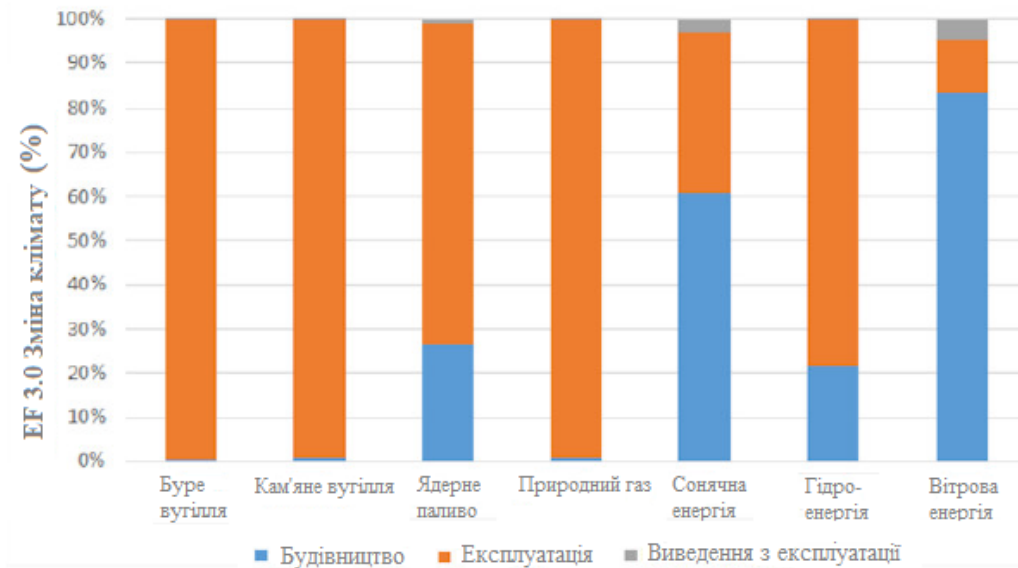


Рис. 3. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на категорію зміни клімату

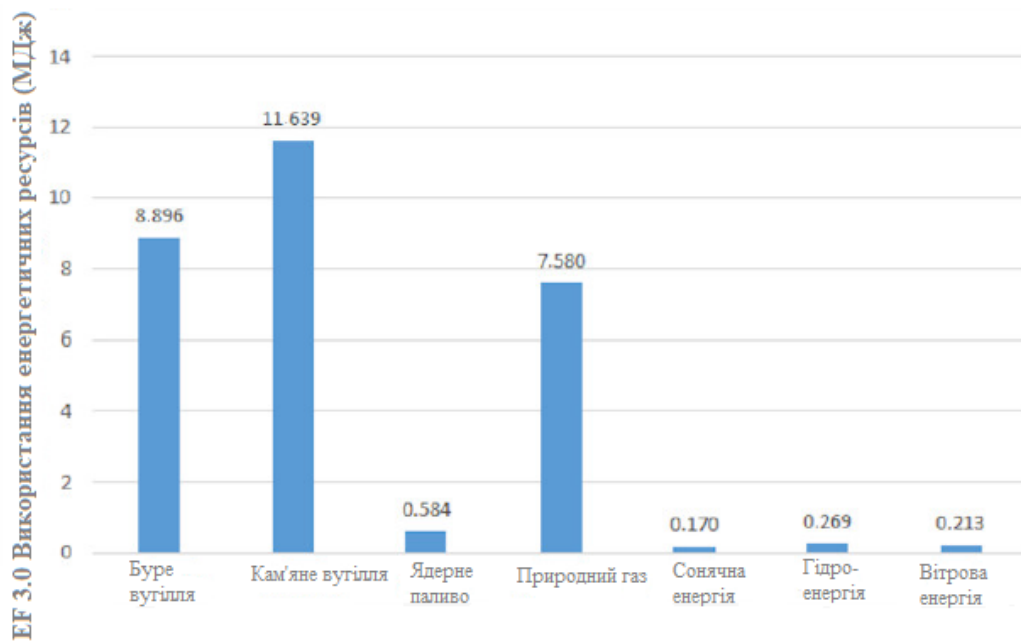


Рис. 4. Вплив різних джерел енергії на використання енергетичних ресурсів

стосується переважно виробництва будівельних матеріалів. Основним чинником, що цьому сприяє, є видобуток і виробництво міди.

Четверта категорія – викиди неорганічної речовини (або твердих частинок). Порівняння впливу окремих джерел енергії, виражене як кількість випадків захворювання, показано на рис. 8 [4]. Найважливіші впливи стосуються життєвого циклу вугільних електростанцій, тобто тих, що використовують кам'яне та буре вугілля. З усіх оцінених джерел найменший

вплив має виробництво електроенергії фотоелектричними й атомними електростанціями.

Що стосується життєвого циклу вугільних електростанцій (рис. 9), то такі впливи здебільшого стосуються періоду експлуатації (тобто періоду, протягом якого спалюється вугілля) [4]. Вплив ВДЕ в основному пов'язаний з етапом будівництва, особливо виготовленням конструктивних елементів. Виведення з експлуатації має незначний вплив на довкілля (порівняно з іншими етапами).

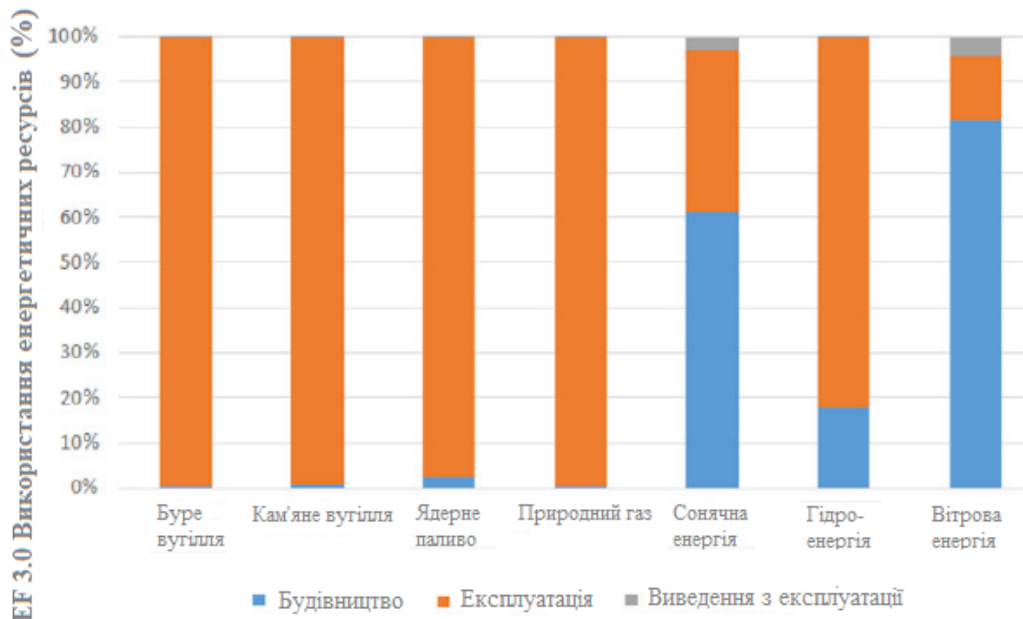


Рис. 5. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на використання енергетичних ресурсів

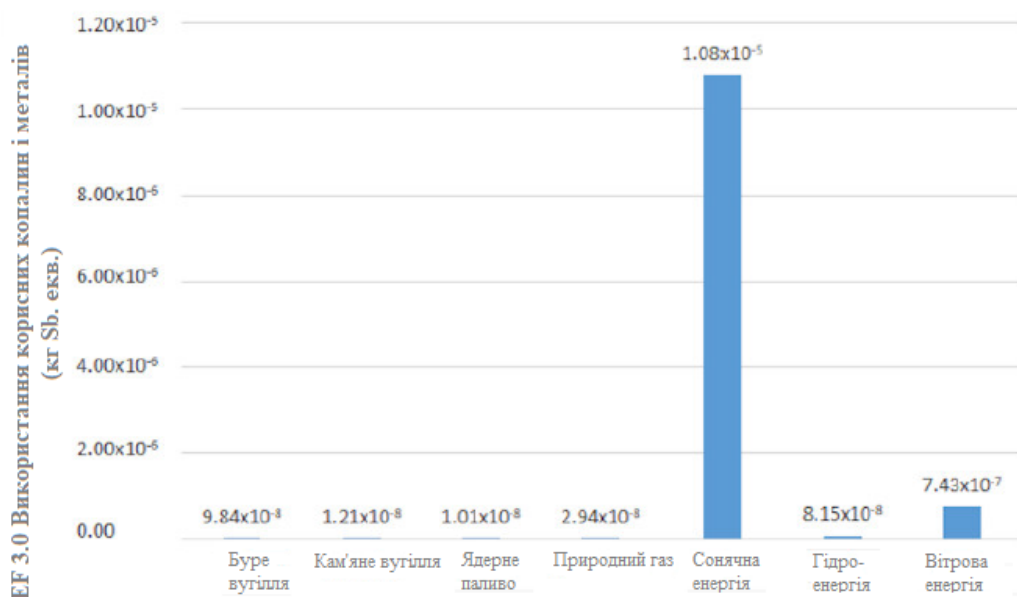


Рис. 6. Вплив різних джерел енергії на використання корисних копалин і металів

Остання категорія – споживання води. Порівняння різних джерел енергії та їх вплив на споживання води (виражене в кубічних метрах) наведено рис. 10 [4]. Результати дослідження показують, що найбільш суттєві впливи пов'язані із життєвим циклом фотоелектричних джерел.

З рис. 11 виходить, що стосовно фотоелектричних і вітрових джерел найбільші ефекти спостерігаються під час виробництва конструкційних елементів (зокрема, видобутку металу

та виробництва електронних компонентів) [4]. За використання ядерних джерел більшість впливів на довкілля пов'язані з роботою електростанцій, зокрема із трьома конкретними процесами: виробництвом і підготовкою ядерного палива, виробництвом борної кислоти та випаровуванням води із градирні.

Висновки. З результатів оцінки життєвого циклу різних джерел енергії, що використовуються в енергетичній системі Чехії, можна констатувати, що під час розроблення

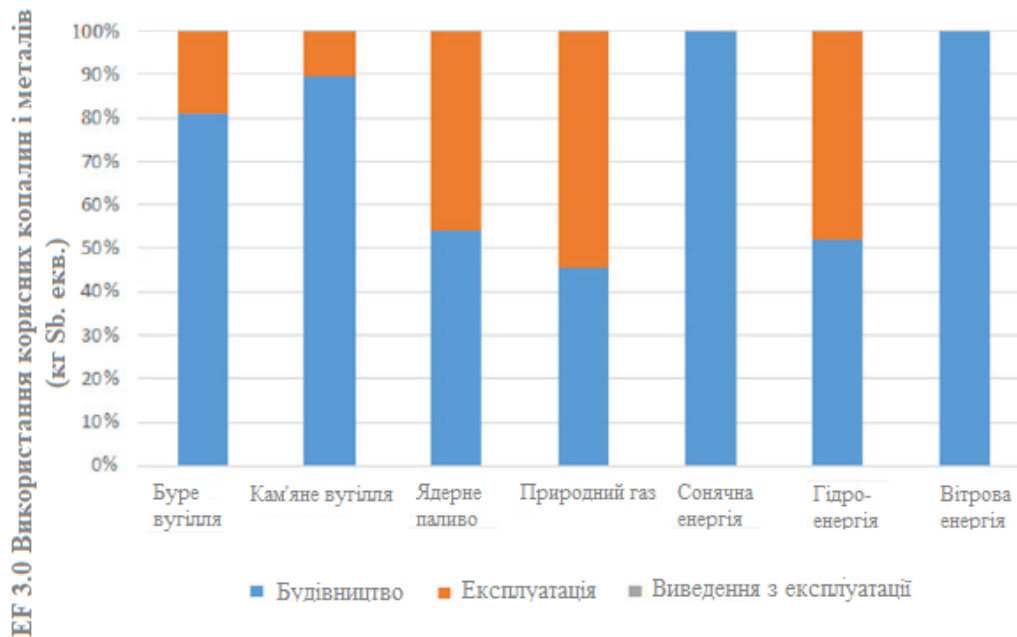


Рис. 7. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на використання корисних копалин і металів

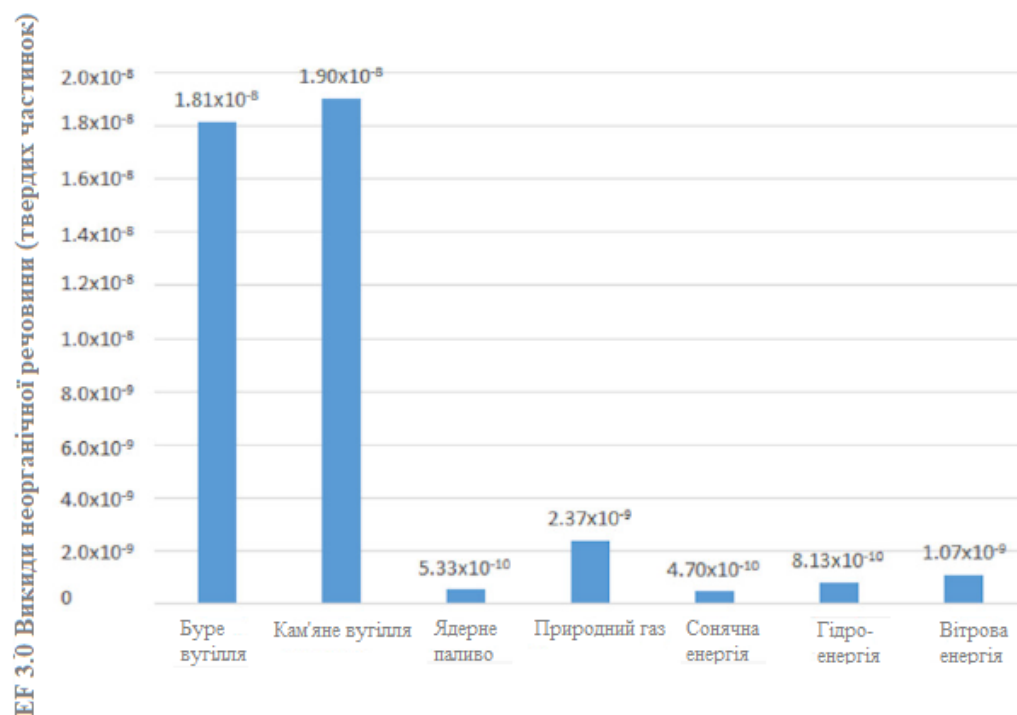


Рис. 8. Вплив різних джерел енергії на викиди неорганічної речовини (або твердих частинок)

національних стратегій скорочення викидів парникових газів необхідно враховувати всі категорії впливу на довкілля, не зосереджуючись лише на зміні клімату.

Невідновлювальні джерела енергії впливають на довкілля (особливо під час експлуатації). Вплив відновлювальних джерел енергії

стосується передусім їх будівництва. Етап виведення з експлуатації має найменший вплив на довкілля, порівняно з іншими етапами.

Вугільні електростанції найбільше сприяють глобальному потеплінню, використанню енергії та викидам неорганічних речовин в атмосферу. Виробництво електроенергії на

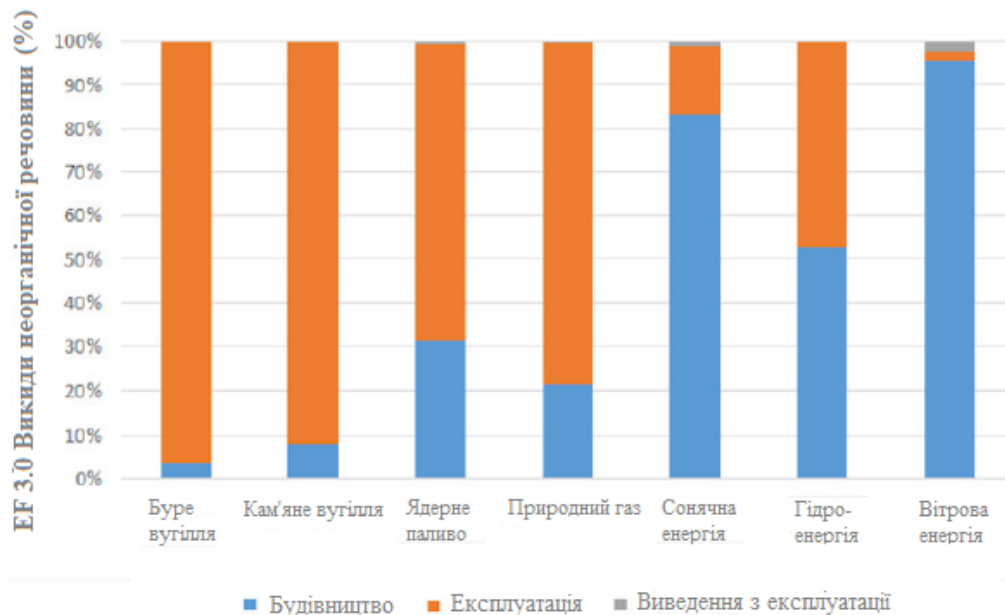


Рис. 9. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на викиди неорганічної речовини

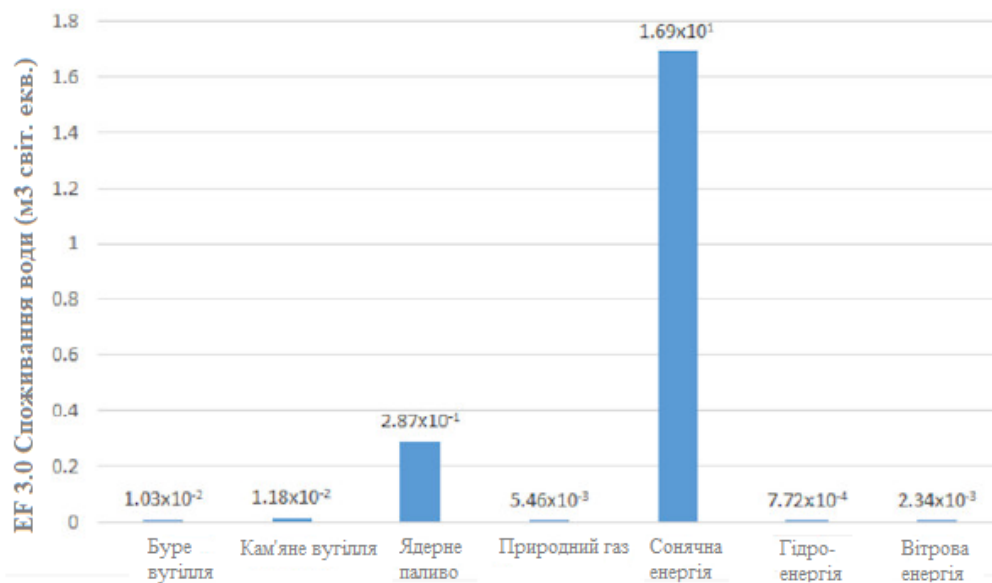


Рис. 10. Вплив різних джерел енергії на споживання води

фотоелектричних електростанцій призводить до надмірного споживання води, а також використання мінералів і металів.

Атомна енергетика, гідроелектричні та вітрові електростанції меншою мірою відповідають впливу вищевказаних категорій. Однак ці три типи електростанцій не можна остаточно рекомендувати з огляду на їхній потенційний вплив на довкілля та безпеку, оскільки дослідження не враховувало питання утилізації

відпрацьованого ядерного палива, а також сховища ядерних відходів.

Отже, оцінка життєвого циклу (LCA) є потужним інструментом підтримки ухвалення рішень, який оцінює вплив продукту або процесу на довкілля на всіх етапах (від видобутку матеріалу до утилізації відходів). Із часом LCA дедалі більше будуть застосовувати для оцінки впливу енергетичних технологій на довкілля.

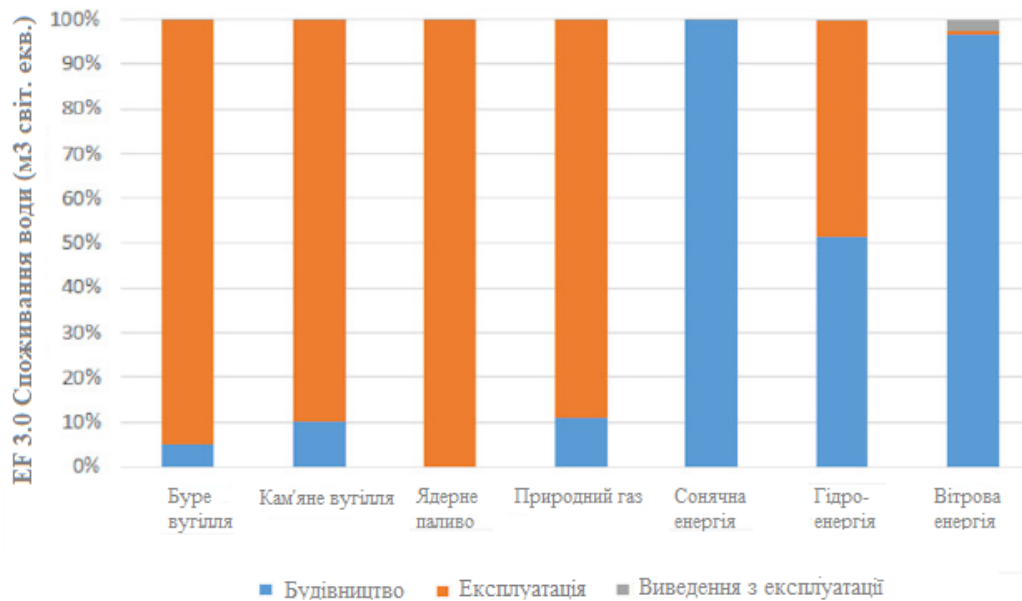


Рис. 11. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на споживання води

ЛІТЕРАТУРА:

1. Палєхова Л.Л. Управління сталим розвитком : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 330 с.
2. European platform on Life cycle assessment. EC : website. URL: <https://www.plantengineering.com/articles/iso-50001-benefits-for-manufacturers/> (дата звернення: 26.05.2022).
3. Jordaan S. Life cycle assessment of electricity generation: A systematic review of spatiotemporal methods. *Advances in Applied Energy*. 2021. Vol. 3. P. 1–15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000500> (дата звернення: 17.07.2022).
4. Šerešová M. Life cycle performance of various energy sources used in the Czech Republic. *Energies*. 2020. Vol. 13 (21). P. 1–17. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5833> (дата звернення: 17.07.2022).

REFERENCES:

1. Palekhova, L. (2020). Management of sustainable development: a guide to basic concepts. Tutorial. Published by Dnipro University of Technology. URL: <https://mk.nmu.org.ua/ua/source> (accessed on 17.07.2022).
2. EC (2013). European platform on Life cycle assessment. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html> (accessed on 17.07.2022).
3. Jordaan, S. (2021). Life cycle assessment of electricity generation: A systematic review of spatiotemporal methods. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000500> (accessed on 17.07.2022).
4. Šerešová, M. (2020). Life cycle performance of various energy sources used in the Czech Republic. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5833> (accessed on 17.07.2022).

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 622.232.72:004.942

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-5>

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТИСКОМ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ ДЛЯ ВИПАЛЮВАННЯ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Бублікков Андрій Вікторович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3015-6754
Scopus Author ID: 55998596600

Надточий Володимир Валентинович,

старший викладач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3987-5608

Продан Богдан Шихамедович,

здобувач групи 151м-21-1
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0007-3650-4648

Метою є визначення закономірностей процесу автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі, що дозволять адаптувати процес керування тиском під змінні умови роботи печі, зокрема під зміну тиску газоповітряної суміші в газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном.

Метод. Для отримання характеристик тунельної печі як об'єкта керування з метою аналізу на їх основі закономірностей процесу керування використане імітаційне моделювання процесів переміщення газоповітряної суміші (ГПС) у тунельній печі. За вихідні дані взяті реальні технічні характеристики трубопроводів і тунельної печі. Для дослідження системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі використані методи сучасної теорії автоматичного керування. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів із використанням комп'ютеризованих методів апроксимації даних і синтезу систем автоматичного керування.

Результати. У процесі дослідження отримані такі наукові результати:

- для кожного режиму роботи системи автоматичного керування (відпрацювання уставки або компенсація збурення) є оптимальні налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію системи без перевищення максимального допустимого диференціала за часом керівного впливу;
- для кожної величини збурення є свої оптимальні параметри ПІ-регулятора, за яких максимальне значення фактичного диференціала керівного впливу дорівнює своєму максимальному допустимому рівню. Установлено, що оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової частини, так і інтегральної складової частини регулятора залежать від величини збурення зворотно й експоненційно;
- установлено, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

Практичне значення. Запропоновано вдосконалений спосіб синтезу системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі за допомогою спеціалізованих комп'ютерних інструментів, який передбачає подальше дослідження критеріїв якості роботи системи керування від параметрів налаштування регулятора. Це дозволить поліпшити критерії якості перехідних процесів під час автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі.

Ключові слова: тиск газоповітряної суміші, тунельна піч, ПІ-регулятор.

Bublikov Andrii, Nadtochy Volodymyr, Prodan Bohdan. Synthesis and study of the system of automatic control of the pressure of the gas-air mixture in the tunnel furnace for the firing of ceramic bricks

The **objective** is to determine the regularities of the process of automatic control of the pressure of the gas-air mixture in the tunnel furnace, which will allow to adapt the process of pressure control to the changing conditions of the furnace, in particular, to the change of the pressure of the gas-air mixture in the gas pipeline of its supply to the furnace before the control valve.

Method. In order to obtain the characteristics of the tunnel furnace as a control object in order to analyze the regularities of the control process based on them, simulation modeling of the processes of movement of the gas-air mixture (GAM) in the tunnel furnace was used. At the same time, the real technical characteristics of pipelines and tunnel furnace are taken as initial data. The methods of the modern theory of automatic control were used to study the system of automatic control of pressure in the tunnel furnace. The research was conducted on the basis of computational experiments using computerized methods of data approximation and synthesis of automatic control systems.

The results. The following scientific results were obtained during the research:

- for each mode of operation of the automatic control system (working out the set point or compensation of disturbance) there are optimal settings of the PI controller, which ensure the maximum speed of the system without exceeding the maximum permissible differential by the time of the control influence;
- for each disturbance value, there are optimal parameters of the PI controller, at which the maximum value of the actual differential of the control influence is equal to its maximum permissible level. At the same time, it was established that the optimal gain coefficients of both the proportional component and the integral component of the regulator depend on the magnitude of the disturbance inversely and exponentially;
- it was established that with high accuracy (the relative error does not exceed 1%), the dependence of the optimal parameters of the PI controller on the disturbance value is approximated by power polynomials of the fourth order.

Practical meaning. An improved method of synthesis of the system of automatic pressure control of the gas-air mixture in the tunnel furnace with the help of specialized computer tools is proposed, which involves further research of the quality criteria of the control system from the settings of the regulator. This will improve the quality criteria of transient processes during automatic pressure control of the gas-air mixture in the tunnel furnace.

Key words: gas-air mixture pressure, tunnel furnace, PI regulator.

Вступ. На обсяг випуску в Україні окремих керамічних виробів (керамічні плитки, цегли тощо) значно впливає будівельна галузь – саме від темпів її розвитку залежить обсяг виготовлення будівельних матеріалів.

Протягом 2012–2015 років виробництво керамічної плитки скоротилось на 27,8% [1]. Передусім це пов'язано зі значною політичною й економічною кризою, що сталася в ці роки, а також із кардинальним перерозподілом ринку експорту. За ці роки спостерігалось суттєве зменшення економічної активності населення, отже, і попиту в будівельній галузі.

Починаючи з 2015 року з'явилася незначна тенденція в бік збільшення об'ємів виробництва керамічних виробів. Це було пов'язано з відкладеним очікуванням бізнесу щодо початку нових проєктів у будівельній галузі. Будівельна галузь – одна з найбільш перспективних в Україні, для її розвитку є все необхідне – багато природних ресурсів для виготовлення будівельних матеріалів, досить застарілий житловий фонд країни, що потребує масштабної модернізації.

Але тенденція щодо зростання будівельної галузі й обсягів виробництва будівельних матеріалів (як і керамічних виробів) за останні декілька років практично зникла. Так, за три місяці 2020 року було вироблено 226,2 тис. кубометрів цегли керамічної (на 12,2% менше,

ніж за січень – березень 2019 року) [2]. А взагалі за 2020 рік було вироблено 1,43 млн кубометрів цегли керамічної (на 19,2% менше, ніж за 2019 рік) [3]. Це пов'язано зі значним сповільненням темпів реформ в Україні та розчаруванням бізнесу щодо сподівання появи прозорого й чесного ринку та правил гри у країні. Ситуація ще більше погіршилася після вторгнення Росії в Україну.

Але будівельна галузь, як і галузь виробництва будівельних матеріалів (зокрема, керамічних виробів), з урахуванням вищенаведених чинників, надовго будуть залишатись одним із найбільш перспективних напрямів розвитку економіки України в післявоєнний період.

Отже, зважаючи на це, автоматизація процесів виготовлення керамічних виробів в Україні з метою підвищення продуктивності підприємств і якості виготовленої ними продукції є актуальним питанням.

Метод. Математичний опис тунельної печі здійснений стосовно системи автоматичного керування тиском у тунельної печі у процесі випалу. Розглядається математичний опис тунельної печі як об'єкта автоматичного керування за тиском газоповітряної суміші (далі – ГПС) з урахуванням розрідження димових газів (далі – ДГ) і нагрітих газів (далі – НГ). На рисунку 1 представлена загальна схема тунельної печі

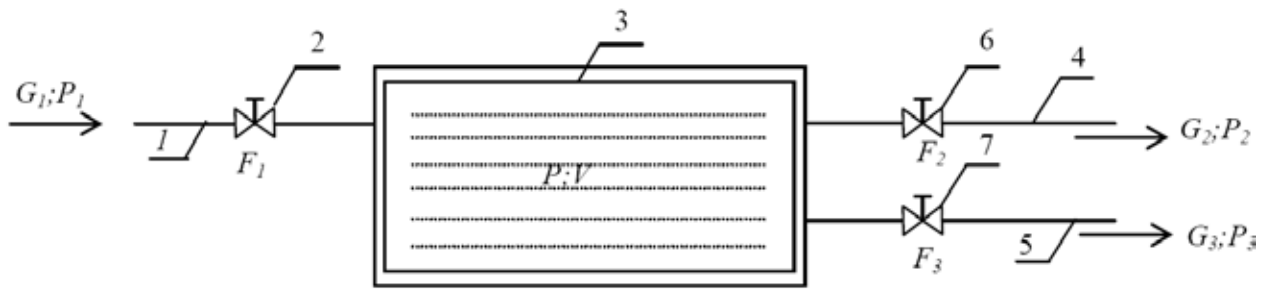


Рис. 1. Схема тунельної печі випалу керамічної цегли як об'єкта автоматичного керування за тиском ГПС: P_1 – тиск перед клапаном трубопроводу подачі ГПС; P_2, P_3 – тиск, відповідно, ДГ та НГ після клапанів трубопроводів видалення ДГ на НГ із печі; V – об'єм печі; F_i – площа поперечного перетину отвору i -го клапана; 1 – трубопровід підведення ГПС; 2, 6, 7 – регулюючі клапани; 3 – тунельна піч; 4 – трубопровід відведення ДГ; 5 – трубопровід відведення НГ

як об'єкта автоматичного керування, на основі якої створена імітаційна модель [4].

Математичне рівняння, що описує динаміку утворення перепадів тисків у трубопроводах та печі [4], виглядає так:

$$\frac{V_p}{RT} \frac{dP}{dt} = \mu_1 F_1 k_a \sqrt{\frac{P(P-P_1)}{RT}} - \mu_2 F_2 k_a \sqrt{\frac{P(P-P_2)}{RT}} - \mu_3 F_3 k_a \sqrt{\frac{P(P-P_3)}{RT}}, \quad (1)$$

де P – тиск у зоні випалу тунельної печі, кПа.

Розшифровка параметрів у рівнянні (1) наведена в таблиці 1.

Коефіцієнт k_a в рівнянні (1) розраховується за формулою:

$$k_a = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}},$$

де k – коефіцієнт адіабати для метану за 20 °С (див. табл. 1).

Отже, якщо реалізовувати модель об'єкта керування на основі рівняння (3.1), то маємо сім параметрів, що можуть змінюватися в часі в ході технологічного процесу випалу цегли, як-от: тиск ГПС у печі P , тиск ГПС перед регулюючим клапаном у трубопроводі подачі ГПС у піч P_1 ; тиск ДГ за регулюючим клапаном у трубопроводі видалення ДГ із печі P_2 ; тиск НГ за регулюючим клапаном у трубопроводі видалення НГ із печі P_3 ; площа поперечного перетину отвору регулюючого клапана у трубопроводі подачі ГПС у піч F_1 ; площа поперечного перетину отвору регулюючого клапана у трубопроводі видалення ДГ із печі F_2 ; площа поперечного перетину отвору регулюючого клапана у трубопроводі видалення НГ із печі F_3 .

Таблиця 1

Параметри імітаційної моделі об'єкта керування

№	Найменування параметра	Позначення параметра	Значення параметра
1	Коефіцієнт регулюючого клапана на трубопроводі подачі газоповітряної суміші (ГПС) у піч	μ_1	0,75
2	Коефіцієнт регулюючого клапана на трубопроводі видалення димових газів (ДГ) із печі	μ_2	0,11
3	Коефіцієнт регулюючого клапана на трубопроводі видалення нагрітих газів (НГ) із печі	μ_3	0,75
4	Абсолютна температура ГПС, К	T	293
5	Газова постійна для природного газу (метану), $\text{м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{К}$	R	52,89
6	Об'єм ГВС, що поступає в піч, м^3	V_p	54,3
7	Номинальний тиск ГВС перед регулюючим клапаном, кПа	P_{10}	4
8	Задане розрідження НГ на виході, кПа	P_{30}	0,8
9	Коефіцієнт адіабати для метану за 20 °С	k	1,32
10	Фактичний діаметр прохідного отвору регулюючого клапана у трубопроводі подачі ГПС у піч, м	$d_{\phi 1}$	0,25
11	Фактичний діаметр прохідного отвору регулюючого клапана у трубопроводі видалення ДГ із печі, м	$d_{\phi 2}$	0,1
12	Фактичний діаметр прохідного отвору регулюючого клапана у трубопроводі видалення ГГ із печі, м	$d_{\phi 3}$	0,25

Керованою величиною є тиск ГПС у печі P , а керуючим сигналом є площа поперечного перетину отвору регулюючого клапана у трубопроводі подачі ГПС у піч F_1 , що розраховується за формулою:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_{\phi 1}^2}{4}, \quad (2)$$

де $d_{\phi 1}$ – фактичний діаметр прохідного отвору регулюючого клапана у трубопроводі подачі ГПС у піч, м (див. табл. 1).

Інші змінні у формулі (1), а саме – P_1, P_2, P_3, F_2 та F_3 , є збурюючими впливами на систему автоматичного керування тиском у тунельній печі.

Насправді керівним сигналом у системі автоматичного керування є сигнал на привод заслінки регулюючого клапана у трубопроводі подачі ГПС у тунельну піч. Отже, потрібний перехід від положення заслінки клапана до площі поперечного перетину. Із цією метою проведена апроксимація експериментальної статичної характеристики регулюючого клапана.

Результати. Для синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС у тунельній печі використаний один із розповсюджених спеціалізованих комп'ютерних інструментів, що дозволяє автоматизувати розрахунок регулятора (застосунок "PID Tuner" математичного пакету MATLAB [5]). Установлено, що через неврахування в роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни в часі керівного впливу на об'єкт автоматизації усталено пропонуються неоптимальні налаштування регулятора. Отже, з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора на основі цього застосунку проведено дослідження залежності основного критерію якості роботи системи керування (максимальна швидкість без перевищення припустимого рівня диференціала за часом керівного впливу – 5%/с) від параметрів регулятора. Кожне налаштування ПІ-регулятора під час синтезу системи автоматичного керування та її подальшого дослідження надалі будемо ототожнювати з певним рівнем швидкості системи керування (часом наростання перехідного процесу на виході системи), за умови завдання максимального рівня робастності в інструменті "PID Tuner".

З метою визначення оптимального налаштування ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкості системи керування за умови відсутності перевищення допустимого максимального рівня диференціала за часом керівного впливу шляхом обчислювальних експериментів отримані залежності рівня диференціала від рівня швидкості системи (рисунок 2).

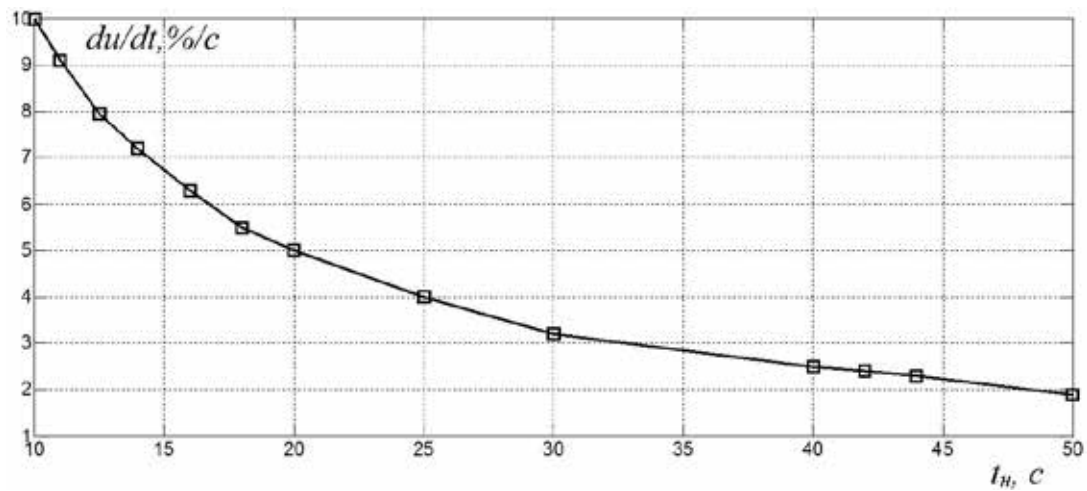
Аналіз рисунка 2 (а) дозволяє зробити висновок, що залежність максимального диференціала за часом керівного впливу від часу наростання перехідного процесу, який визначає рівень швидкості системи керування за її синтезу, є зворотною та близькою до експоненціальної форми. Також можна зробити висновок, що максимально допустимому значенню диференціала за часом керівного впливу 5%/с відповідає час наростання 20 с. Саме за умови завдання такого часу наростання за синтезу системи керування через PID Tuner будемо мати максимальну швидкість системи керування за компенсації збурення без перевищення допустимого рівня швидкості зміни в часі керівного впливу.

Аналіз рисунка 2 (б) дозволяє зробити висновок, що залежність максимального диференціала за часом керівного впливу від часу наростання перехідного процесу, який визначає рівень швидкості системи керування за її синтезу, є зворотною та суттєво нелінійною. Після часу наростання 40 с спостерігається різке зменшення диференціала керівного впливу нижче припустимого рівня 5%/с. Отже, для забезпечення максимальної швидкості системи керування під час відпрацювання зміни уставки без перевищення допустимої швидкості зміни в часі керівного впливу за синтезу системи з використанням застосунку "PID Tuner" потрібно задавати час наростання 42 с.

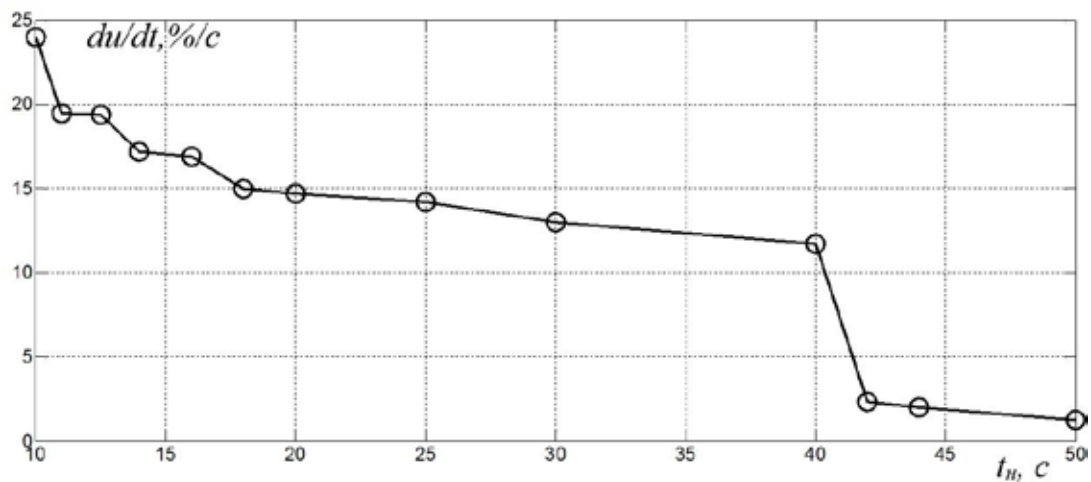
За отриманими результатами дослідження можна зробити ще один важливий висновок – для відпрацювання системою керування зміни уставки тиску ГПС у печі та компенсації дії збурення з максимальною швидкістю без перевищення допустимої швидкості зміни в часі керівного впливу за синтезу системи керування з використанням застосунку "PID Tuner" потрібно задавати різний час наростання. Тобто для цих двох подій маємо різні оптимальні налаштування ПІ-регулятора. Фактично потрібно використовувати два ПІ-регулятора з різними налаштуваннями, один із яких застосовується під час відпрацювання системою керування зміни уставки, а інший – під час компенсації збурення.

Для визначення оптимальних параметрів ПІ-регулятора отримані залежності цих параметрів від часу наростання перехідного процесу (рисунок 3), які властиві режиму компенсації системою керування збурення, оскільки він є основним у роботі системи.

З рисунка 3 можна зробити висновок, що параметри ПІ-регулятора мають зворотну й експоненціальну залежність від рівня



а



б

Рис. 2. Залежність значень диференціалів керівного впливу в разі відпрацювання впливу збурення (а) та зміни уставки (б) від рівня швидкодії системи керування, що виражена через час наростання перехідного процесу

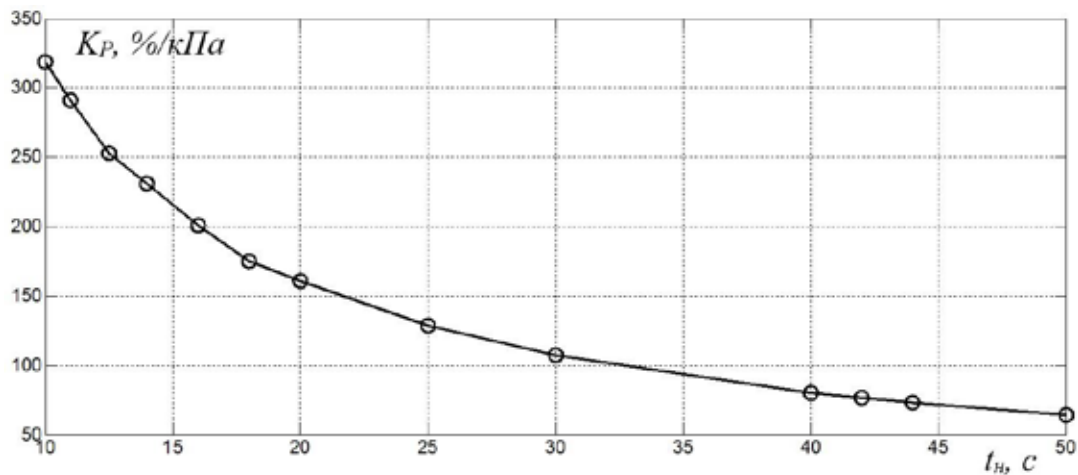
швидкодії системи керування. Також можна зробити висновок, що оптимальними параметрами ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії без перевищення допустимої швидкості зміни в часі керівного сигналу, які відповідають часу наростання 20 с, для режиму компенсації системою збурення є: коефіцієнт підсилення пропорційної складової частини – 160,6; коефіцієнт інтегральної складової частини – 19,6.

Результати моделювання роботи САК з оптимальним ПІ-регулятором на рисунку 4 підтверджують правильність розрахунку оптимальних параметрів регулятора. З рисунка 4 (б) ми бачимо, що максимальне фактичне значення диференціала керівного сигналу за часом як раз дорівнює своєму максимально допустимому значенню – 5%/с. Водночас максимально можлива з урахуванням обмеження швидкодії

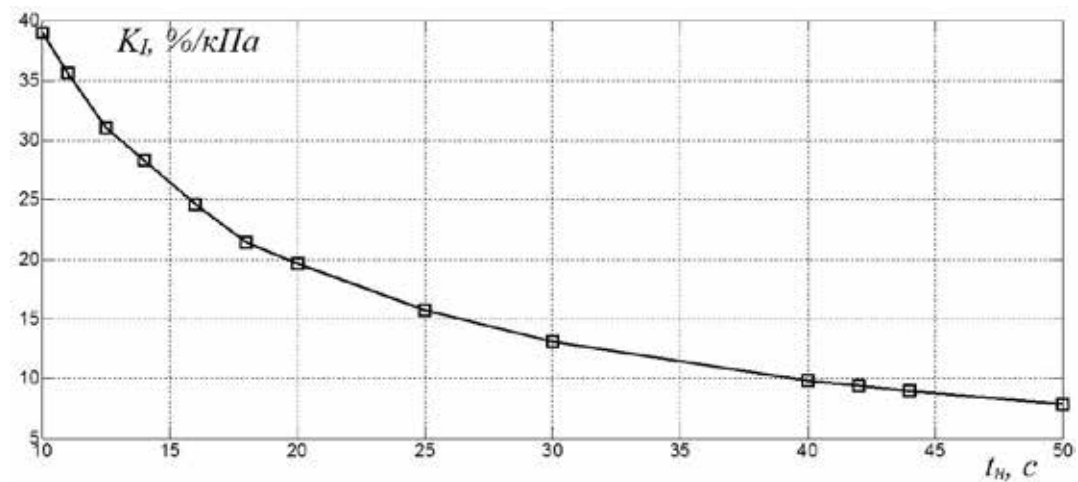
САК дозволила утримати керовану величину в бажаному діапазоні змін значень $\pm 5\%$ від уставки (рисунок 4).

Подальші дослідження системи автоматичного керування (рисунок 5) дозволили виявити, що визначені вище оптимальні параметри ПІ-регулятора є дієвими для рівня збурення +20% від номінального тиску ГПС перед регулюючим клапаном, але не забезпечують потрібного результату в разі інших рівнів збурення. Наприклад, на рисунку 5 (б) ми бачимо, що фактичний диференціал за часом керівного впливу перевищив своє допустиме значення.

Тому під час подальших досліджень САК за допомогою її імітаційної моделі отримані залежності ступеня швидкодії системи й оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення (рисунки 6–8).



а



б

Рис. 3. Залежність значень коефіцієнтів підсилення пропорційної (а) й інтегральної (б) складових частин ПІ-регулятора від рівня швидкодії системи керування, що виражена через час наростання перехідного процесу

З рисунка 6 можна зробити висновок, що рівень швидкодії системи, за якої фактичний диференціал за часом керівного впливу дорівнює своєму максимальному допустимому значенню, прямо пропорційно залежить від величини збурення. Водночас оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової частини, так і інтегральної складової частини регулятора залежать від величини збурення зворотно й експоненціально.

Отже, отримані залежності оптимальних параметрів регулятора від величини збурення дозволяють визначати оптимальні налаштування ПІ-регулятора для кожного рівня збурення, пристосовування під нього, дозволяють системі керування компенсувати збурення з максимальною швидкістю без перевищення максимальної допустимої швидкості зміни в часі керівного впливу.

Але для цього за допомогою інструментів пакету MATLAB проведена апроксимація залежностей оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення, результати якої наведені на рисунку 9.

Аналіз рисунка 9 показує, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежностей оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

З урахуванням отриманих нових залежностей розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском ГПС у тунельній печі з адаптивним і оптимальним ПІ-регулятором, параметри якого розраховуються у функції збурення.

На рисунку 10 адаптивний регулятор реалізований як підсистема з відповідною назвою.

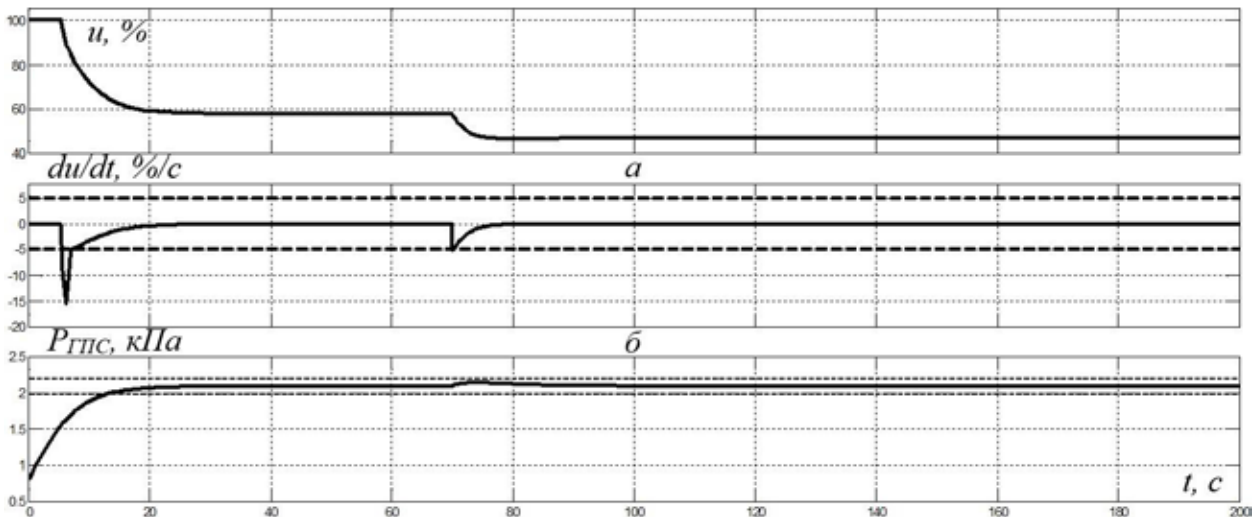


Рис. 4. Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності за часу наростання 20 с (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газоповітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 20% більше): а – зміна в часі керівного впливу; б – його диференціала за часом; в – керованої величини

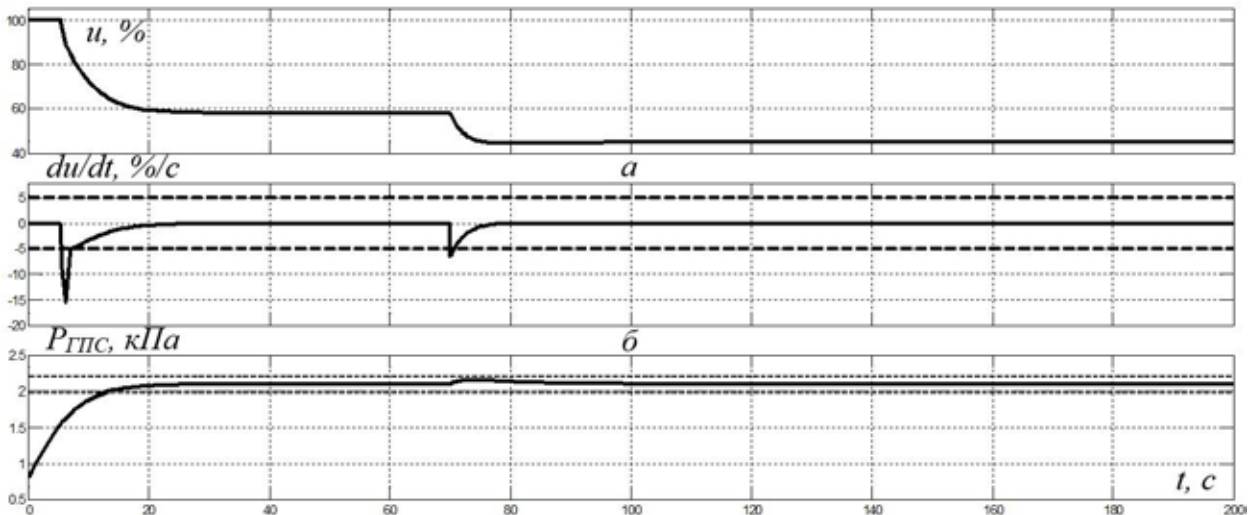


Рис. 5. Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності за часу наростання 20 с (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газоповітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 25% більше): а – зміна в часі керівного впливу; б – його диференціала за часом; в – керованої величини

Схема самого адаптивного ПІ-регулятора показана на рисунку 11. За допомогою блока F_{sp} зроблений перехід до відносного відхилення збурення (тиску ГПС перед регулюючим клапаном) від свого номінального значення, оскільки описані вище залежності отримані саме для цієї розмірності збурення.

Функції, що апроксимують залежності оптимальних параметрів регулятора від відносного відхилення збурення, реалізовані у блоках K_p

та K_i на рисунку 11. Також до регулятора доданий інтегратор з обмеженням діапазону зміни керівного впливу та блок Saturation, що виконує аналогічну функцію, але вже для самого керівного впливу.

Щоб перевірити ефективність запропонованого нового адаптивного й оптимального ПІ-регулятора тиску ГПС у тунельній печі, проведено низку обчислювальних експериментів, результати яких наведені на рисунках 12–14.

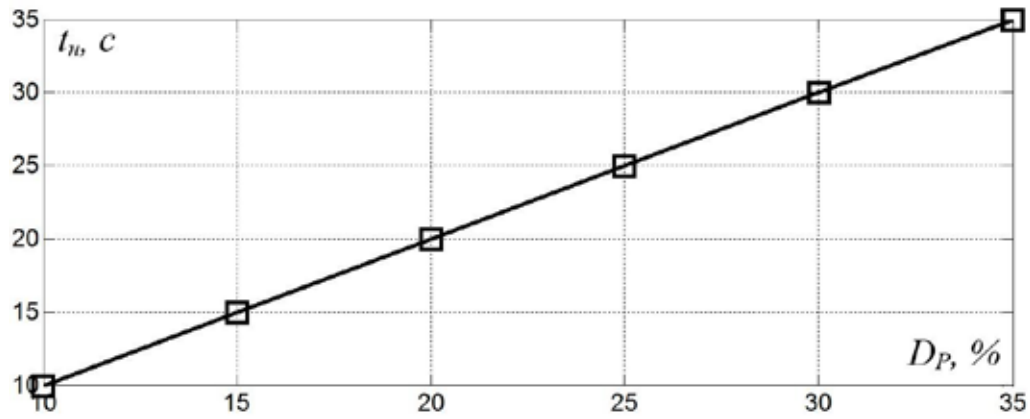


Рис. 6. Залежність ступеня швидкодії системи керування від відносної величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки в газопроводі

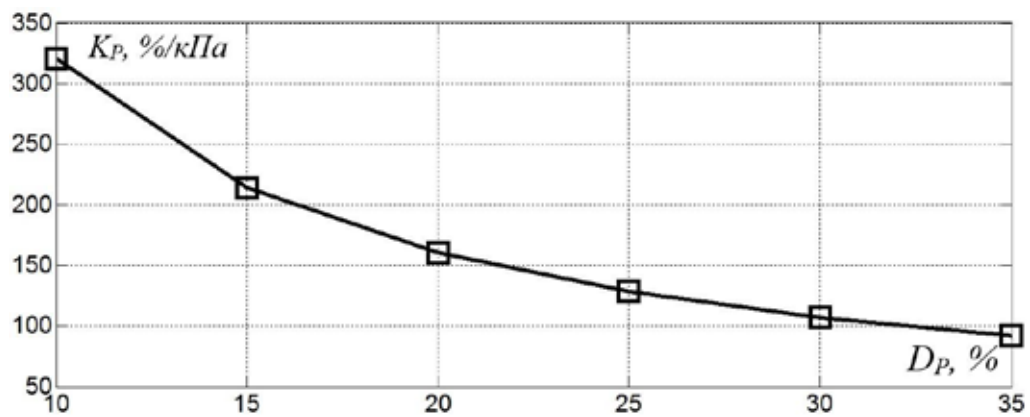


Рис. 7. Залежність коефіцієнта підсилення пропорційної складової частини ПІ-регулятора від відносної величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки в газопроводі

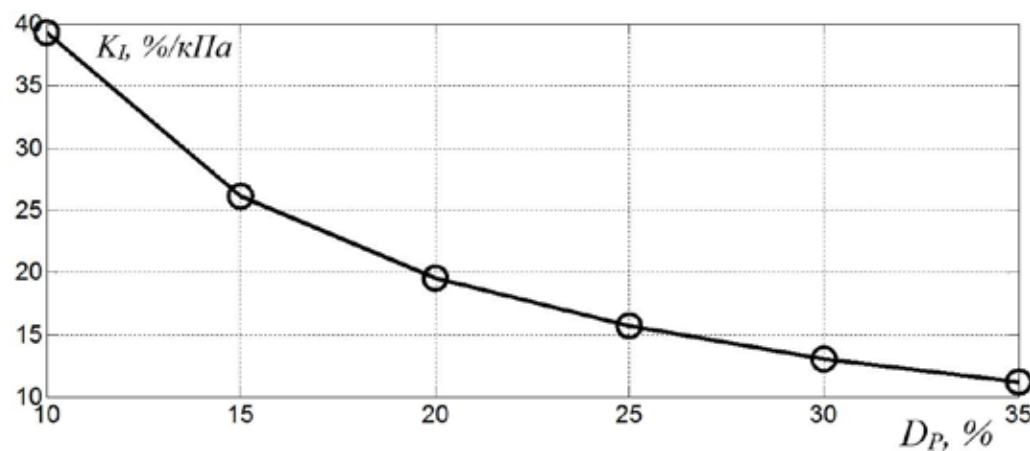


Рис. 8. Залежність коефіцієнта підсилення інтегральної складової частини ПІ-регулятора від відносної величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки в газопроводі

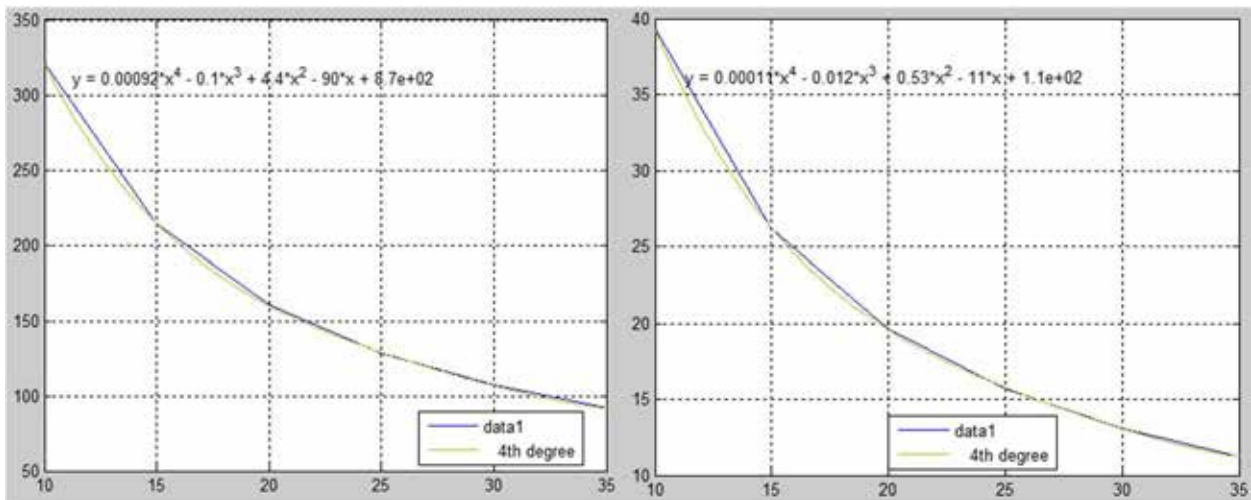


Рис. 9. Результат апроксимації залежності коефіцієнта підсилення пропорційної (а) й інтегральної (б) складових частин ПІ-регулятора від величини збурення

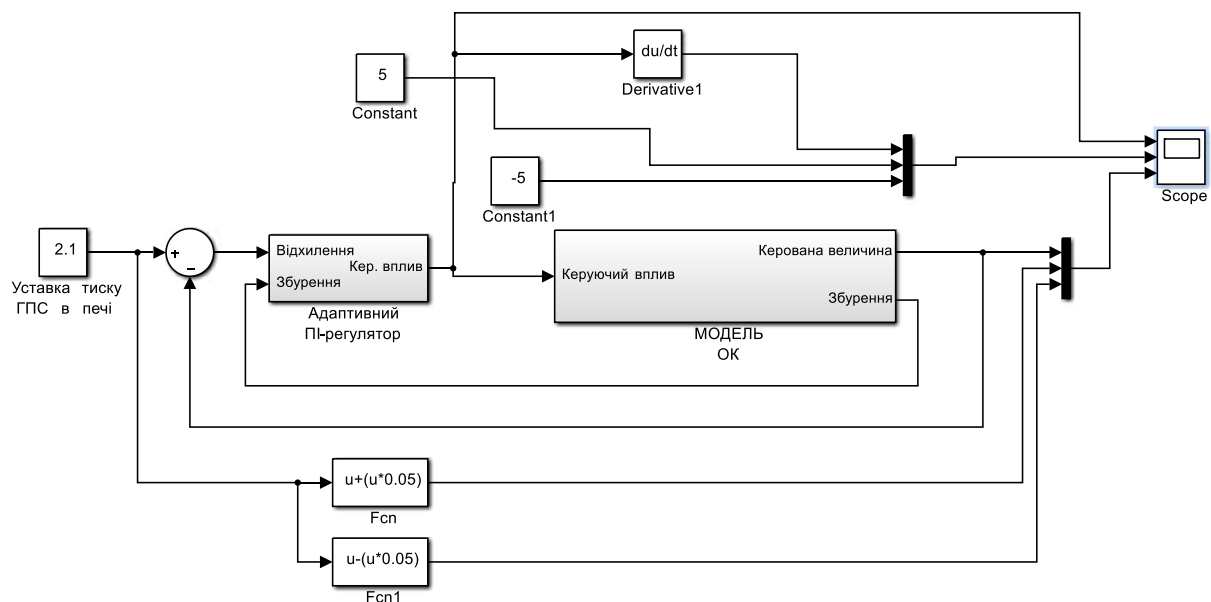


Рис. 10. Структурна схема імітаційної моделі адаптивної системи керування

З аналізу результатів моделювання на рисунках 12–14 можна зробити висновок, що адаптивний оптимальний регулятор працює коректно – незалежно від величини відносного відхилення тиску ГПС перед регулюючим клапаном від свого номінального значення кожний раз фактичне максимальне значення диференціала за часом керівного впливу дорівнює своєму максимальному допустимому значенню – 5%/с.

Також із рисунка 13 можна помітити, що навіть за умови досить значного впливу збурення (відносне відхилення тиску ГПС від номінальної величини становить 33%) система автоматичного керування завдяки забезпеченню її максимальної швидкодії з урахуванням обмеження щодо швидкості зміни в часі керівного

впливу все ж таки утримує керовану величину в рекомендованому діапазоні $\pm 5\%$ від уставки.

Висновки. Результат синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС у тунельній печі в застосунку “PID Tuner” є неефективним через неврахування в роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни в часі керівного впливу на об’єкт автоматизації. Отже, проведене дослідження системи автоматичного керування з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування, але за умови забезпечення відсутності перевищення максимального припустимого рівня диференціала за часом керівного впливу. У процесі дослідження отримані такі наукові результати:

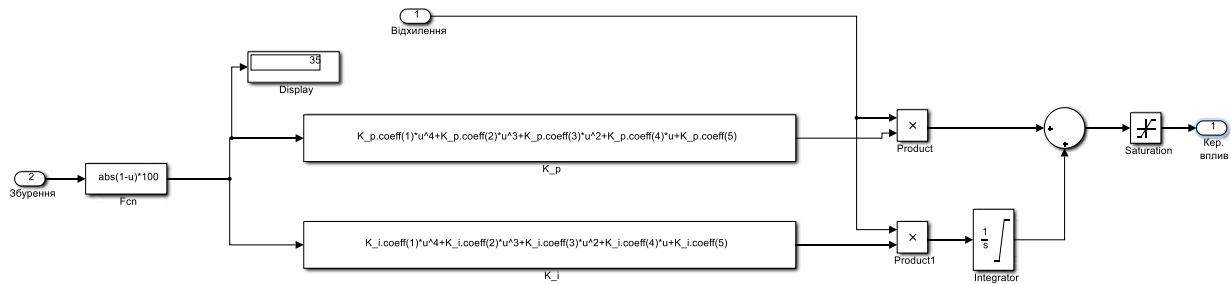


Рис. 11. Схема адаптивного ПІ-регулятора тиску газоповітряної суміші в тунельній печі

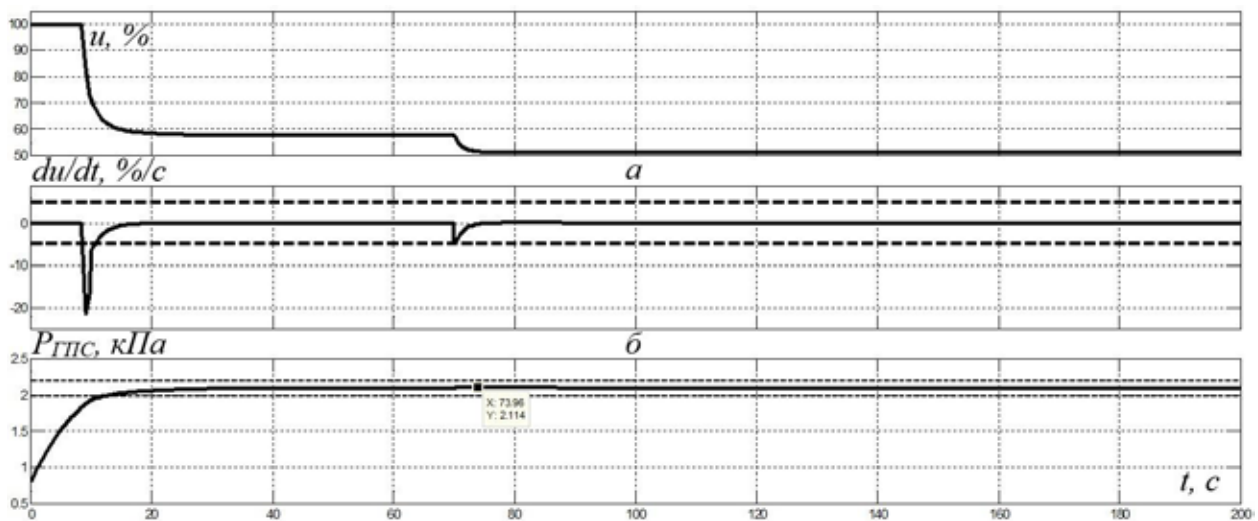


Рис. 12. Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилем трубопроводу подачі газоповітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 13% більше): а – зміна в часі керівного впливу; б – його диференціала; в – керованої величини

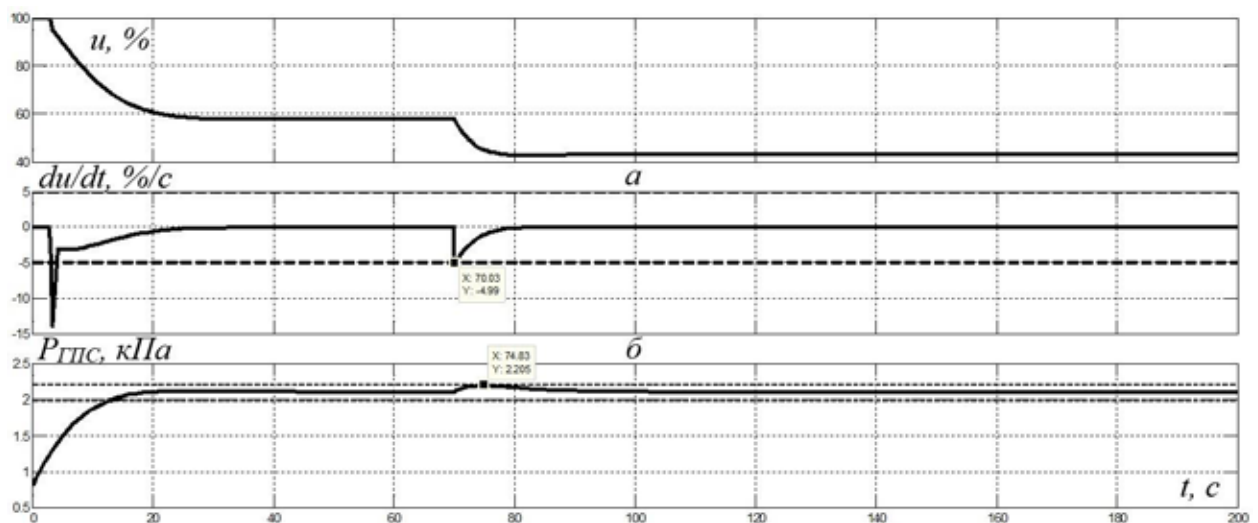


Рис. 13. Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилем трубопроводу подачі газоповітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 33% більше): а – зміна в часі керівного впливу; б – його диференціала за часом; в – керованої величини

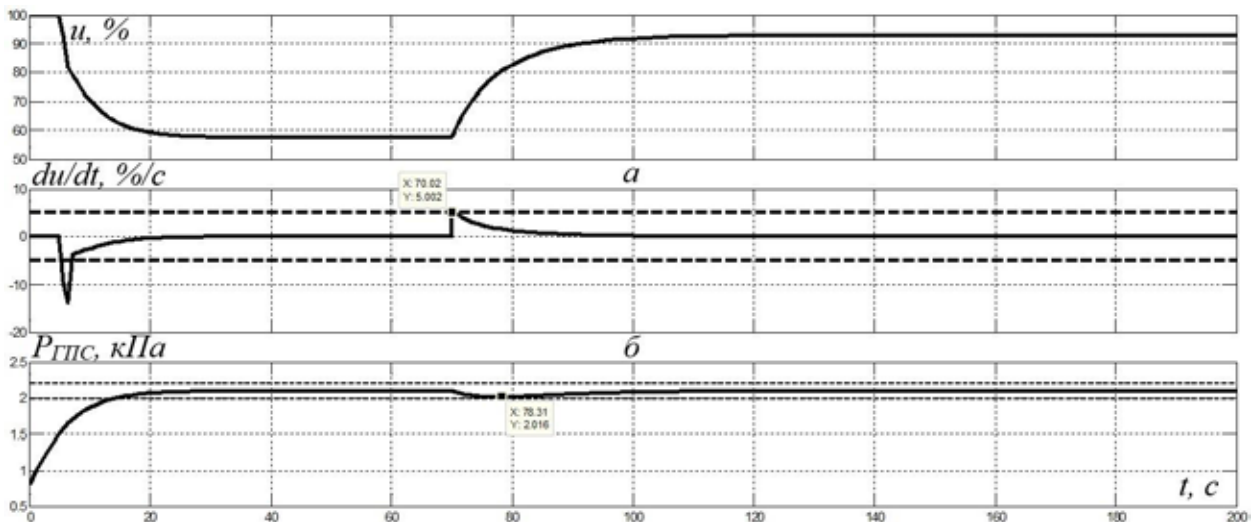


Рис. 14. Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилем трубопроводу подачі газоповітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 22% менше): а – зміна в часі керівного впливу; б – його диференціала за часом; в – керованої величини

– для кожного режиму роботи системи автоматичного керування (відпрацювання уставки або компенсація збурення) є свої оптимальні налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію системи без перевищення максимального допустимого диференціала за часом керівного впливу;

– для кожної величини збурення є свої оптимальні параметри ПІ-регулятора, за яких максимальне значення фактичного диференціала керівного впливу дорівнює своєму

максимальному допустимому рівню. Установлено, що оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової частини, так і інтегральної складової частини регулятора залежать від величини збурення зворотно й експоненційно;

– установлено, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Котуранова Т., Котенко А. Стан та перспективи розвитку ринку керамічних матеріалів. *Економічний простір*. 2020. № 161. С. 43–48.
2. Українська асоціація кераміки *CER Giornale Country Report Ukraine*. 20 квітня 2023 р. URL: <http://ceramic.com.ua/cer-country-report-ukraine/>.
3. В Україні прискорилося падіння одного з головних економічних показників. *Економічна правда*. 18 квітня 2023 р. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/04/23/659752/>.
4. Голінко І. Процес випалювання кераміки як об'єкт автоматизації. *АТЕП*. 2008.
5. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра / В. Шаруда та ін. Національний гірничий університет. 2015.

REFERENCES:

1. Koturanova, T. & Kotenko, A.V. (2020). Stan ta perspektyvy rozvytku rynku keramichnykh materialiv [State and prospects of development of the market of ceramic materials]. *Ekonomichnyi prostir*, № 161, P. 43–48.
2. Ukrainska asotsiatsiia keramiky (2023, 20 kvitnia). *CER Giornale Country Report Ukraine*. URL: <http://ceramic.com.ua/cer-country-report-ukraine/>.
3. (2023, 18 kvitnia). V Ukraini pryskorylosia padinnia odnogo z holovnykh ekonomichnykh pokaznykiv [In Ukraine, the decline of one of the main economic indicators accelerated]. *Ekonomichna pravda*. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/04/23/659752/>.
4. Holinko, I. (2008). Protse vy palu vanna keramiky yak ob'ekt avtomatyzatsii [The process of firing ceramics as an object of automation]. *ATEP*.
5. Sharuda, V.H., Tkachov, V.V. & Bublikov, A.V. (2015). Doslidnytska chastyna v kvalifikatsiinii roboti mahistra [The research part of the master's thesis]. *Natsionalnyi hirnychiy universytet*.

УДК 622.232.72.063.43:681.5

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-6>

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ВИДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ ДЛЯ ТОНКИХ ПЛАСТІВ СУЧАСНИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Бубліков Андрій Вікторович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3015-6754
Scopus Author ID: 55998596600

Яцюк Дмитро Степанович,

аспірант групи 151А-21
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0007-3439-9282

Метою є виконання аналізу ефективності роботи сучасних регуляторів навантаження в умовах обмеженої завантажувальної здатності виконавчих органів видобувних комбайнів для формування рекомендацій щодо адаптації існуючих алгоритмів автоматичного керування комбайном з урахуванням гірничо-геологічних умов тонких вугільних пластів.

Метод. Для отримання робочих характеристик видобувного комбайна з метою аналізу на їх основі ефективності роботи регулятора навантаження використане імітаційне моделювання процесів руйнування вугільного масиву виконавчим органом, завантаження ним вугілля на забійний конвеєр, а також процесів перетворення енергії в електроприводі різання. За вихідні дані взяті реальні технічні характеристики комбайна та гірничо-геологічні параметри одного із пластів, що в минулому розроблявся шахтним підприємством України.

Результати. Аналіз ефективності роботи сучасних регуляторів навантаження видобувних комбайнів показав, що в умовах тонких вугільних пластів основним обмеженням швидкості подачі комбайнів є запобігання заштибуванню виконавчого органу. Саме це обмеження суттєвим чином впливає на ефективність роботи сучасних регуляторів навантаження на комбайнах за критерієм мінімальних питомих енерговитрат. Ефективність регулятора можна оцінити за розташуванням точки, що відповідає поточному режиму роботи комбайна, на графіку статичної залежності потужності двигуна приводу різання та питомих енерговитрат на видобуток вугілля від швидкості подачі комбайна. Аналіз цього графіка дозволив виділити умови ефективної роботи комбайна за критеріями продуктивності, питомих енерговитрат і якості вугілля, запропонувати відповідні рекомендації щодо вдосконалення алгоритмів керування, що використовуються в сучасних регуляторах навантаження комбайнів.

Практичне значення. Виявлені закономірності щодо залежності продуктивності видобувного комбайна та питомих енерговитрат на видобуток вугілля від режимів роботи комбайна дозволять урахувати явище заштибування виконавчого органу в алгоритмі автоматичного керування сучасних регуляторів навантаження, завдяки чому зменшити невіправдані витрати електроенергії під час роботи комбайна.

Ключові слова: видобувний комбайн, тонкі вугільні пласти, регулятор навантаження.

Bublikov Andrii, Yatsiuk Dmytro. Analysis of the effectiveness of operation modes of shearers via modern regulators

The **objective** is to perform an analysis of the effectiveness of modern load regulators in conditions of limited loading capacity of the executive bodies of shearers to form recommendations for adapting the existing algorithms of automatic control of the shearers taking into account the mining and geological conditions of thin coal seams.

Method. To obtain the working characteristics of the shearer in order to analyze the efficiency of the load regulator based on them, simulation modeling of the processes of the destruction of the coal massif by the executive body, loading of coal onto the slaughter conveyor, as well as the processes of energy conversion in the electric cutting drive was used. At the same time, the real technical characteristics of the shearer and the mining and geological parameters of one of the seams, which was developed in the past by a mining enterprise of Ukraine, were taken as the initial data.

The results. The analysis of the efficiency of modern load regulators of shearer showed that in the conditions of thin coal seams, the main limitation of the feed rate of shearers is the prevention of jamming of the executive body. It is this limitation that significantly affects the efficiency of modern load regulators on shearers based on the criterion of minimum specific energy consumption. At the same time, the effectiveness of the regulator can be estimated by the location of the point corresponding to the current mode of operation of the shearer on the graph of the static

dependence of the engine power of the cutting drive and the specific energy consumption for coal mining on the feed rate of the shearer. The analysis of this schedule made it possible to identify the conditions for the efficient operation of the shearer according to the criteria of productivity, specific energy consumption and coal quality, and to offer appropriate recommendations for improving the control algorithms used in modern load regulators of shearers.

Practical meaning. *The revealed regularities regarding the dependence of the productivity of the shearer and the specific energy consumption for coal mining on the modes of operation of the shearer will make it possible to take into account the phenomenon of jamming the executive body in the algorithm of automatic control of modern load regulators, and due to this, reduce unjustified consumption of electricity during the operation of the shearer.*

Key words: *shearer, thin coal seams, load regulator.*

Вступ. Натепер у підземному видобутку вугілля до складу вугледобувного комплексу гірничих машин здебільшого входить видобувний комбайн, який здійснює руйнування вугільного пласта та, якщо передбачено конструкцією виконавчих органів, завантаження вугілля на забійний конвеєр. Залежно від технології видобутку вугілля, гірничо-геологічних умов і технічних параметрів, питоме енергоспоживання видобувних комбайнів за нормальних режимів роботи коливається в межах 0,25–0,55 кВт·год/т. Тому видобувні комбайни вважають основним енергоспоживачем серед гірничих машин, що працюють у вибої. Багато досліджень процесу руйнування вугілля виконавчими органами та його завантаження на вибійний конвеєр [1; 2] показали тісну залежність рівня витрат електроенергії від режиму роботи видобувного комбайна. Відзначено, що для конкретних умов видобутку вугілля та технічних параметрів видобувного комбайна існує оптимальне значення товщини стружки вугілля, що знімається різцем виконавчого органу, за якого середні питомі енерговитрати мінімальні. Причому відхилення в деяких випадках від даного значення товщини стружки призводить до суттєвого підвищення витрат електроенергії на руйнування та завантаження вугілля, а також погіршення його гранулометричного складу. Стаття присвячена розгляду випадку, коли сучасне керування режимами роботи видобувних комбайнів не забезпечує раціональну роботу комбайнів за критеріями мінімальних питомих енерговитрат і якісного сортового складу вугілля.

Відсоток розроблюваних вибоїв на тонких пластах у Донецькому басейні від загальної кількості становить приблизно 80% [3]. Отже, одним з основних напрямів у галузі проектування видобувних комбайнів тепер є вдосконалення конструкції комбайнів із метою можливості їх ефективного застосування в обмеженому просторі. Однак корінного перегляду потребує також алгоритм керування режимами роботи комбайнів, що застосовуються на тонких пластах, особливо з виконавчими органами, які здійснюють завантаження вугілля. У всіх сучасних регуляторах навантаження, якими забезпечені

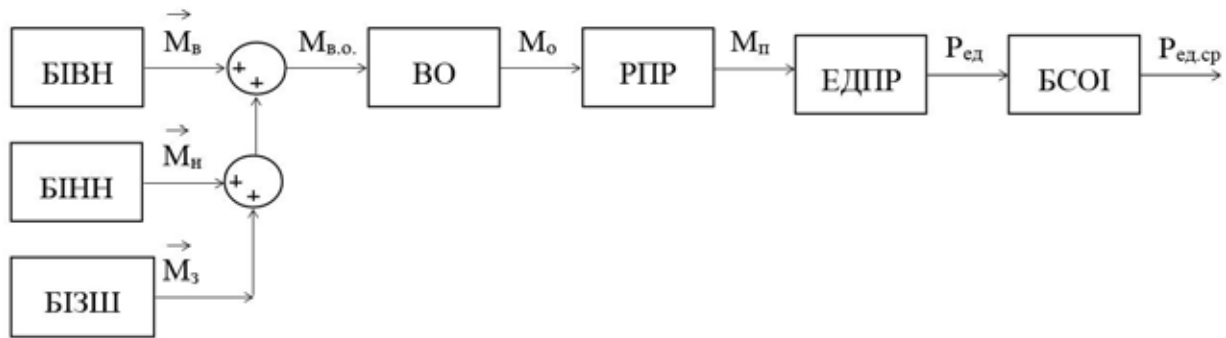
видобувні комбайни, підтримується так званий мінімальний спосіб автоматизації. Вони органічно підтримують два режими з автоматичним переходом з одного до іншого:

- стабілізацію навантаження двигуна приводу різання завдяки зміні швидкості подачі з урахуванням обмежень щодо транспортної здатності конвеєра, допустимої концентрації метану й інших чинників;

- стабілізацію швидкості подачі за незмінної швидкості різання з обмеженням за переважувальною здатністю двигуна приводу різання та названими вище чинниками.

Метод. З метою виявлення недоліків наявного способу керування під час роботи видобувного комбайна на тонких пластах була розроблена математична модель «вибій – виконавчий орган – видобувний комбайн» для видобувного комбайна УКД300 [4] та гірничо-геологічних умов четвертої західної лави Лідівського пласта Донецьк басейну [5]. Загальна структурна схема математичної моделі показана на рис. 1.

Тут БІВН – блок імітації високочастотної складової навантаження на виконавчому органі. Він є генератором випадкового сигналу з нормальним розподілом, статистичні характеристики якого є функціями математичного очікування сумарної сили різання на різцях, а також режиму транспортування та завантаження вугілля виконавчим органом. Частота даного сигналу прийнята рівною власній частоті вільних коливань ротора електродвигуна ЕКВ4-150, через які на його амплітудно-частотній характеристиці утворюється резонансна зона. Оскільки на цій частоті відбувається посилення амплітуди сигналу у 2,5–3,5 рази, то весь спектр високочастотних складових частин навантаження, що пройшли через виконавчий орган, без суттєвого спотворення картини динамічних процесів, що протікають, можна замінити одним випадковим сигналом із резонансною частотою електродвигуна [6]; БІНН – блок імітації низькочастотної складової навантаження на виконавчому органі. Цей блок є генератором випадкового сигналу з нормальним розподілом величини з постійним значенням дисперсії та



**Рис. 1. Загальна структурна схема математичної моделі
«вибій – виконавчий орган – видобувний комбайн»**

математичним очікуванням, однак зі змінним значенням періоду. Частота даного сигналу є функцією швидкості подачі комбайна та простору кореляції, який, у свою чергу, залежить від типу механізованого кріплення, що застосовується, швидкості просування фронту роботи лави, гірничо-геологічних параметрів пласта; БІЗШ – блок імітації процесу завантаження та транспортування вугілля шнековим виконавчим органом. Вмістом його є математична модель, що описує силову картину процесу транспортування вугілля та його завантаження органом [2]. Математична модель транспортування та завантаження вугілля дозволяє визначати миттєві значення тиску вугілля на лопать шнека, силу та момент опору руху та завантаженню вугілля; ВО – передавальна функція виконавчого органу. За своїми частотними характеристиками виконавчий орган є лінійним пасивним фільтром, що виключає передачу високочастотних складових навантаження від вихідного вала органу до ротора [1]. Передавальна функція за впливом є нелінійною функцією товщини стружки, але в реальному діапазоні навантажень може бути лінеаризована з належною для практичних розрахунків точністю [6]. Отже, за незмінної швидкості подачі комбайна ВО можна прийняти підсилювальною ланкою з постійним коефіцієнтом посилення; РПР – редуктор приводу різання. У даному блоці зроблено математичний опис руху двомасової динамічної системи з урахуванням пружних і дисипативних властивостей механічної частини приводу; ЕДПР – електродвигун приводу різання. Електромеханічні процеси перетворення енергії, що мають місце в електродвигуні ЕКВ4-150, моделювалися за диференціальними рівняннями для узагальненої електричної машини із прив'язкою до системи координат α , β і короткозамкнутою обмоткою ротора [6]; БСОІ – блок виміру та статистичної обробки миттєвих значень споживаної потужності.

У блоці статистичної обробки інформації визначається математичне очікування активної потужності, що споживається електродвигуном протягом тривалого (7 оборотів органу) інтервалу часу, за умови заміру миттєвих значень із кроком 10 мілісекунд. Водночас розраховані середні значення потужності, що витрачається на руйнування вугілля, та потужності завантаження за формулами, запропонованими у джерелах [1; 2]. Максимальна відносна похибка розбіжності середніх значень активної потужності електродвигуна, обчислених за детермінованою та динамічною моделями, становила не більше 5%. Це є непрямым підтвердженням адекватності розробленої динамічної моделі фізичних процесів, що мають місце під час роботи видобувних комбайнів.

Результати. На рис. 2 показані отримані в результаті моделювання статичні залежності споживаної електродвигуном приводу різання потужності та питомих енерговитрат видобутку вугілля від швидкості подачі за різних значень потужності пласта. Оскільки кожен привод різання має свій електродвигун, момент від якого подається на один виконавчий орган, моделювання робочих характеристик комбайна проводилось тільки для випереджального нижнього органу, на який припадає 80–100% загального навантаження.

За методиками, наведеними в [1; 7], розраховано стійку потужність електродвигуна ЕКВ4-150 в умовах шахтної мережі напругою 1140 В, за довжини кабельної мережі від підстанції до комбайна 500 метрів. Прийнято, що комбайн працює на в'язкому вугіллі марки Г.

Суцільною, пунктирною та штрихпунктирною лініями позначені залежності за потужностей пласта відповідно 1,0, 0,95 і 0,9 метрів. Еквівалентне значення опірності вугілля різанню прийнято рівним 110,6 Н/мм. Точками А, Б і В позначено точку режиму роботи комбайна УКД300 на межі заштибування виконавчого

органу. Точками А1, Б1, В1 позначено точку режиму роботи комбайна з максимальним використанням потужності електродвигуна приводу різання. Як видно з рис. 2, робота з максимальною продуктивністю видобувного комбайна можлива лише в режимі заштибування шнека. Проаналізуємо роботу видобувного комбайна УКД300 під час управління ним сучасними регуляторами навантаження.

У разі потужності пласта, що дорівнює метру, коли орган піднятий над бортом конвеєра на 0,1 м, процес заштибування незначний і якийсь час (17 оборотів шнека) протікає у відносно стійкій динамічній рівновазі, коли об'єм зруйнованого вугілля, що надійшло в робочий простір органу, та вугілля, що «циркулює» та залишається потім на ґрунті, ненабагато перевищує робочий об'єм органу. Із часом поступово відбувається накопичення вугілля, що циркулює, його тиск на лопату та споживана двигуном потужність істотно збільшуються, проте регулятор навантаження, згідно із проведенням на математичній моделі експериментом, встигає зреагувати та знизити швидкість подачі, перейшовши до точки В, поки виконавчий орган не пройде зону з вугіллям на ґрунті, що накопичилось. Робота видобувного комбайна водночас протікатиме з коливанням швидкості подачі між 7,0 і 8,9 м/хв (точки В і В1) та утримуватиме деякий час цих значень. Питоме енергоспоживання також коливатиметься між значеннями 0,4766 та 0,5257 кВт·год/т. Тобто матиме місце часткове заштибування органу з підвищенням середніх питомих енерговитрат на 6,5 %.

За збільшення опірності вугілля різанню точка В1 переміститься в зону ліворуч від точки В, завдяки чому регулятор навантаження виключить виникнення заштибування органу, оскільки споживана електродвигуном потужність досягне стійкого значення раніше, ніж швидкість подачі критичного значення за заштибуванням. У разі зменшення опірності вугілля різанню, у мить досягнення потужності стійкого значення її зростання може виявитись настільки інтенсивним, тобто процес заштибування буде настільки тривалим, що зменшення швидкості подачі регулятором навантаження навіть до нульового значення не запобіжить перекиданню електродвигуна. Аналогічна ситуація, як очевидно з рис. 2, виникне також у разі зменшення потужності пласта. Так, у точках А1 і Б1 видобувний комбайн через заштибування виконавчого органу споживає потужність відповідно у 3,92 і 2,5 рази більше, ніж під час роботи в режимі на межі заштибування. Щоразу, коли регулятор навантаження задаватиме швидкість подачі істотно правіше критичного значення за заштибуванням, відбуватиметься перевантаження та зупинка електродвигуна приводу різання.

Висновки. З отриманих результатів моделювання можна зробити такі висновки:

- ефективність керування видобувними комбайнами для тонких пластів сучасними регуляторами навантаження залежить від взаємного розташування точок, що відповідають режимам роботи на межі заштибування та з максимальною продуктивністю, на графіках статичної залежності споживаної потужності та питомих енерговитрат від швидкості подачі.

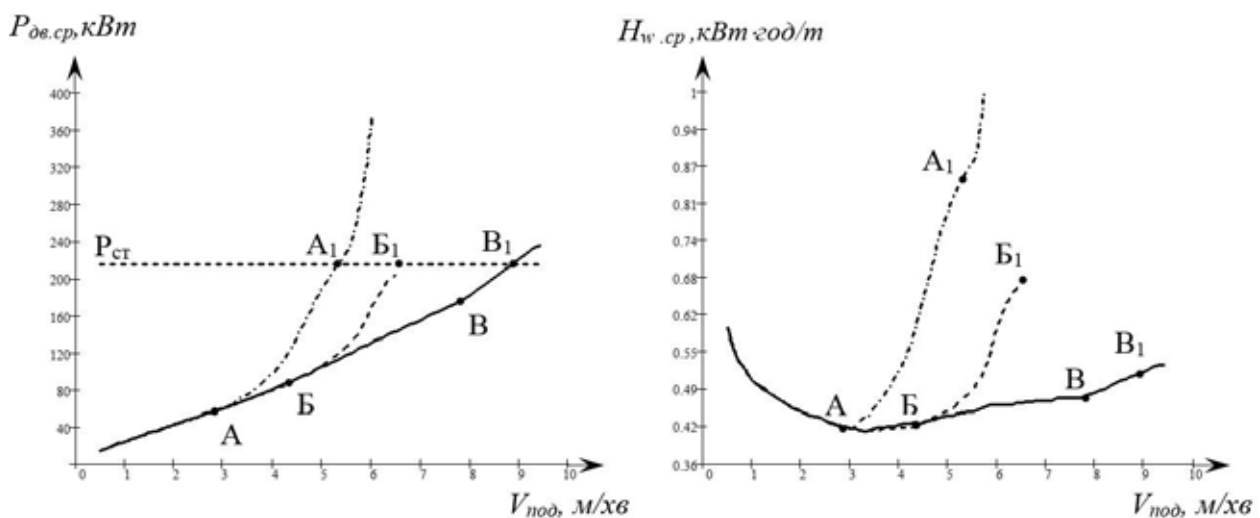


Рис. 2. Залежність споживаної потужності та питомих енерговитрат від швидкості подачі комбайна за різних значень потужності пласта

У разі розташування останньої значно правіше першої, робота видобувного комбайна в нормальному режимі неможлива. За умови розташування останньої правіше першої, але незначної різниці координат цих точок, видобувний комбайн працюватиме із частковим заштибуванням органу з підвищеними питомими енерговитратами та вмістом штибу в сортовому складі вугілля. Якщо швидкість подачі, за якої електродвигун приводу різання максимально навантажений, менше критичної швидкості за заштибуванням, як це часто буває під час роботи видобувних комбайнів на середніх і високих пластах, заштибування органу не буде спостерігатися;

– на взаємне розташування точок, що відповідають режимам роботи комбайна на межі заштибування та з максимальною продуктивністю, впливають зовнішні впливи, що випадково змінюються у процесі роботи видобувного комбайна (потужність пласта й опірність вугілля

різанню). Тому рівень ефективності керування режимами роботи видобувних комбайнів для тонких пластів сучасними регуляторами на тій чи тій ділянці вибою буде різним. Однак результати моделювання та досвід роботи цих гірничих машин показали, що досить рідко (у разі слабкої міцності вугілля та підвищеної потужності пласта) обмеженням швидкості подачі є обмеження за перевантажувальною здатністю привода. Основним обмеженням швидкості подачі видобувних комбайнів на тонких пластах можна з упевненістю назвати обмеження щодо запобігання заштибуванню виконавчого органу. Тому досить актуальним завданням на тепер є розроблення системи керування видобувними комбайнами для тонких пластів, яка здійснює пошук критичної швидкості подачі за заштибуванням виконавчого органу та забезпечує подальшу роботу комбайна на межі заштибування в умовах постійної зміни опірності вугілля різанню та потужності пласта вздовж лави.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Руйнування вугілля виїмковими машинами / Є. Позін та ін. 1984. 288 с.
2. Бойко М. Навантаження вугілля очисними комбайнами. *РВА Донецького національного технічного університету*. 2002. 157 с.
3. Фальштинський В. Удосконалення технології свердловинної підземної газифікації : монографія. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2009. 131 с.
4. Очисні комбайни УКД200 та УКД300 для ефективного відпрацювання тонких пластів / М. Стаднік та ін. *Вугілля України*. 2003. № 9. С. 19–22.
5. Мала гірнича енциклопедія. Донецьк : Донбас, 2004. 640 с.
6. Бубликов А., Ткачов В. Використання імітаційного моделювання для дослідження системи автоматичного керування видобувним комбайном : монографія. Дніпро : Національний гірничий університет, 2015. 182 с.
7. Модифікований алгоритм автоматичного керування видобувним комбайном за навантаженням двигуна приводу різання / А. Бубликов та ін. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2022. № 69. С. 179–192.

REFERENCES:

1. Pozin, Ye., Melamed, V. & Ton, V. (1984). Ruinuvannia vuhillia vyimkovyvy mashynamy [Destruction of coal by mining machines]. 288 s.
2. Boiko, M. (2002). Navantazhennia vuhillia ochysnymy kombainamy [Coal loading by cleaning combines]. RVA DonNTU. 157 s.
3. Falshtynskiy, V. (2009). Udoskonalennia tekhnolohii sverdlovynnoi pidzemnoi hazyfikatsii [Improvement of well underground gasification technology]. RVA NHU. 131 s.
4. Stadnik, M., Boiko, H., Riabchenko, O. (2003). Ochysni kombainy UKD200 ta UKD300 dlia efektyvnoho vidpratsiuvannia tonkykh plastiv [Cleaning combines UKD200 and UKD300 for effective processing of thin layers]. Vuhillia Ukrainy. 9: 19–22.
5. Mala hirnycha entsyklopediia [Small mining encyclopedia] (2004). Donbas. 640 s.
6. Bublikov, A. & Tkachov, V. (2015). Vykorystannia imitatsiinoho modeliuvannia dlia doslidzhennia systemy avtomatichnoho keruvannia vydobuvnym kombainom [The use of simulation modeling for the study of the automatic control system of the mining combine]. NTU DP. 182 s.
7. Bublikov, A., Shevchenko, V., Nadtochyi, V., Yatsiuk, D. & Priadko, N. (2022). Modyfikovanyi alhorytm avtomatichnoho keruvannia vydobuvnym kombainom za navantazhenniam dvyhuna pryvodu rizannia [Modified algorithm of automatic control of the mining harvester according to the load of the engine of the cutting drive]. *Zbirnyk naukovykh prats NHU*. 69: 179–192.

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 7.012 (075.)

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-7>

ЕРГОНОМІЧНА ОЦІНКА РУЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

Чеберячко Юрій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7307-1553

Яворська Олена Олександрівна,

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-5516-5310

Боровицький Олександр Миколайович,

аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-1111-7960

Згерський Роман Анатолійович,

аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-4613-8526

Метою дослідження є розроблення алгоритму з перевірки ручного інструменту на ергономічність для працівників лісового господарства.

Методи. Для перевірки ергономічності шести ручних інструментів працівників лісового господарства був розроблений алгоритм, який складається з п'яти кроків: складання переліку характеристик ручного інструменту, підбору групи експертів і ручного інструменту різних марок, проведення оцінювання ергономічності, аналізу отриманих оцінок і розробки рекомендацій. Для створення чек-листа були використані рекомендації стандартів ДСТУ 7895:2015. Дизайн і ергономіка. Правила оцінювання ергономічного рівня якості промислової продукції, а також ДСТУ 7251:2011. Дизайн і ергономіка. Вимоги дизайну й ергономіки. Номенклатура та порядок вибору.

Результати. Розроблено алгоритм з оцінки ергономічності ручного інструменту, основною відмінністю якого від наявних є чек-лист, що містить 16 основних показників для визначення зручності та комфортності використання знарядь праці. Наведено результати оцінки ергономічності декількох ручних інструментів, які застосовуються на підприємствах лісного господарства, трьома групами учасників (фахівців, досвідчених і початківців), що дозволило встановити придатність розробленого чек-листа, навести рекомендації щодо його подальшого вдосконалення. Показано, що розбіжність між оціночними балами між групами дослідників зумовлена незрозумілістю шкал, а також не погодженням із ключовими показниками, наведеними в чек-листі.

Наукова новизна. Науково обґрунтовано доцільність застосування контрольних показників для визначення ергономічності ручного інструменту через обробку результатів опитування учасників дослідження.

Практична цінність. Розроблено алгоритм з оцінки ергономічності ручного інструменту з відповідним чек-листом.

Ключові слова: ручний інструмент, ергономіка, чек-лист, алгоритм.

Cheberiachko Yurii, Yavorska Olena, Borovytskyi Oleksandr, Zgerskyi Roman. Ergonomic assessment of hand tools for forestry workers

The purpose of the study is to develop an algorithm for checking hand tools for ergonomics for forestry workers.

Methods. To check the ergonomics of six hand tools of forestry workers, an algorithm was developed, which consists of five steps: compiling a list of hand tool characteristics, selecting a group of experts and hand tools of different brands, conducting an ergonomics assessment, analyzing the received assessments, and developing recommendations. The recommendations of DSTU 7895:2015. Design and ergonomics standards were used to create the checklist. Rules for evaluating the ergonomic level of quality of industrial products, as well as DSTU 7251:2011. Design and ergonomics. Design and ergonomic requirements. Nomenclature and order of selection.

The results. An algorithm for evaluating the ergonomics of a hand tool has been developed, the main difference of which from the existing ones is a checklist that includes 16 main indicators for determining the convenience and comfort of using work tools. The results of the evaluation of the ergonomics of several manual tools used at forestry enterprises by three groups of participants (experts, experienced and beginners) are presented, which allowed to establish the suitability of the developed checklist, as well as to give recommendations for its further improvement. It is shown that the discrepancy between the evaluation points between the groups of researchers is due to the lack of understanding of the scales, as well as the lack of agreement with the key indicators given in the checklist.

Scientific novelty. The expediency of using benchmarks for determining the ergonomics of a hand tool is scientifically substantiated through processing the results of a survey of research participants.

Practical value. An algorithm for evaluating the ergonomics of a hand tool with a corresponding checklist has been developed.

Key words: manual tool, ergonomics, checklist, algorithm.

Вступ. Незважаючи на світову тенденцію до збільшення автоматизації виробничих завдань, у деяких галузях народного господарства й досі використовуються ручні інструменти. Наприклад, сільське господарство, будівельна, лісова тощо. Це призводить до виробничого травматизму та розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату. Потенційно небезпечні засоби виробництва – інструмент ударної дії та слюсарно-монтажний. Найчастіше під час роботи з таким інструментом працівники отримують травми очей і рук. Часто виникає прогресуюче пошкодження рук, ліктя, зап'ястя, кисті, нервів, сухожилів і сухожильних оболонок пальців. Уважається, що кількість травм можна зменшити, якщо ручні інструменти були розроблені з акцентом на комфорт користувача та гарні принципи ергономічного дизайну. Тому постає актуальне завдання з розроблення простих дієвих механізмів для визначення комфортного використання ручного інструменту під час виконання конкретних виробничих завдань [1; 2].

Аналіз літературних джерел. У статті [3] запропонований контрольний перелік для ергономічної оцінки основних характеристик ручних інструментів, для виявлення найбільш придатних для виконання конкретного виробничого завдання в зазначених умовах праці. Автори запропонували розроблений чек-лист, який складався із шістнадцяти запитань, але чомусь не вказали на те, як вони пов'язані з умовами праці, що не дозволяє запропонувати відповідні рекомендації. У наступній роботі [4] автори зауважили, що виконання роботи в незручній позі та ще й із незручним інструментом значно

збільшує ризик травмування опорно-рухового апарату працівників, тому було запропоновано вдосконалити метод з оцінки ергономічності ручного інструменту "Questionnaire for hand tools (CQH)", з урахуванням антропометричних характеристик працівників. Даний опитувальник ураховує тільки особливості роботи з виготовлення меблів. Цікава робота була запропонована автором [5], де розглядається взаємозв'язок ергономічності інструменту та питання безпеки, що дозволить ухвалювати відповідні рішення для розроблення та планування профілактичних заходів для зменшення кількості нещасних випадків, травм і можливих захворювань. Найбільш критичним питанням в оцінюванні є визначення критеріїв для узгодження оціночних матриць. Автори роботи [6] зацікавились впливом вібрації електроінструменту на розвиток захворювань опорно-рухового апарату. На основі аналізу значної кількості інструментів установили, що, на жаль, виробники чи дистриб'ютори надають обмежені дані про рівень вібрації під час застосування інструменту, що призводить до розвитку захворювань, а головне – до помилок в оцінюванні ергономічних показників. Пропонують під час визначення ризику ввести коефіцієнт невизначеності, який допоможе врахувати експлуатаційні особливості ручного інструменту. Недоліком є відсутність шкали для оцінки цього коефіцієнта, що потребує проведення експериментальних досліджень. У результаті проведеного аналізу бачимо значну зацікавленість як у проведенні ергономічної оцінки ручного інструменту, так і в розробленні відповідних опитувальників,

анкет, чек-листів, контрольних списків, які допомагають швидко виявити рівень ергономічності ручного інструменту. Також важливо даний процес пов'язати з оцінкою ергономічного ризику, що допоможе врахувати вплив конструкції ручного інструменту на розвиток професійних захворювань опорно-рухового апарату людини.

Метою дослідження є розроблення алгоритму з перевірки ручного інструменту на ергономічність для працівників лісового господарства.

Матеріали і методи. Алгоритм з перевірки ручного інструменту на ергономічність для працівників лісового господарства складається з п'яти кроків:

1. Складання переліку характеристик ручного інструменту, які визначають його ергономічність відповідно до виробничих завдань, для яких він призначений на конкретному робочому місці.

2. Підбір групи експертів, які будуть проводити оцінку ергономічності конструкції робочого інструменту, зважаючи на їхній досвід, освіту та підвищення кваліфікації, підбір ручного інструменту різних марок, які потребують визначення ергономічності з урахуванням впливу навколишнього середовища, умов праці, докладених зусиль тощо.

3. Проведення оцінювання ергономічності ручного інструменту, виставлення балів за кожною характеристикою.

4. Аналіз отриманих оцінок ергономічності ручного інструменту, обговорення сильних і слабких сторін, конструкції, ухвалення рішення щодо обрання ручного інструменту.

5. Рекомендації щодо оцінки ергономічного ризику на основі визначення ергономічності ручного інструменту.

На першому кроці розробляється чек-лист, який базується на визначенні ключових показників ергономічності, які характеризують пристосованість конструкції до взаємодії зі споживачем. Для цього пропонуємо скористатись принципом "Task, Individual, Load, and Environment" (TILE), що вказує на необхідність фізіологічної оцінки ручної праці (вага, ритм, темп праці, напруженість тощо), перевірки відповідності індивідуальних характеристик робітника виконуваним роботі (здатен він самостійно виконати чи потрібна допомога), визначення впливу ручної праці на здоров'я працівника; і останнє, урахувати вплив умов праці та виробничого середовища на виробничу діяльність працівників. Для визначення основних 16 характеристик, наведених у чек-листі (рис. 1), скористались рекомендаціями ДСТУ 7895:2015. Дизайн і ергономіка.

Правила оцінювання ергономічного рівня якості промислової продукції. Зокрема, показники зручності дизайну, що передбачає дослідження загальної відповідності розмірів інструменту виконуваним завданням і антропометричним характеристикам людини чи відповідності форми захватних частин інструменту антропометричним особливостям рук оператора та характеру захватів. У запропонованому чек-листі 13 дозволяють оцінити ручний інструмент із двома ручками (кусачки, пістолет для герметизації, ножиці), 14 стосуються ручних інструментів з однією ручкою, окрім викруток (молотки, пилки, ножі). Для кожного запитання контрольний список інструментів оцінюється як задовільний («так») або незадовільний («ні») з погляду задоволення конструктивних особливостей, визначених цим пунктом, що відповідає вимогам ДСТУ 7251:2011. Дизайн і ергономіка. Вимоги дизайну й ергономіки. Номенклатура та порядок вибору. Кожному питанню було присвоєно бал від 1 до 10 за рівнем важливості [7]. Найбільш важливим характеристикам, які відповідають за витрату зусиль, комфорт, зчеплення, відчуття, присвоювався бал від 1 до 10, тим показникам, які відповідають за безпеку, від 1 до 8 балів; а загальним показникам, що характеризують форму, колір тощо, від 1 до 4 чи 2 балів. Загальна оцінка ергономічності ручного інструменту оцінюється як сума балів усіх зазначених показників у чек-листі. Такі оціночні шкали рекомендується використовувати за Правилами ергономічних оцінок виробничих сфер [8].

Для другого кроку необхідно підібрати групу експертів, які мають значний досвід роботи з інструментом, що оцінюється. Для проведення дослідження були сформовані три групи учасників (табл. 1): досвідчені працівники (стаж яких був понад 10 років); молоді працівники (стаж яких був до 5 років), фахівці (викладачі університетів, які спеціалізуються на ергономіці). Загалом взяли участь 24 добровольці.

Обробку матеріалу проводили із застосуванням додатку стандартного пакету програм Microsoft Office – Excel 2010. Отримані дані мали нормальний закон розподілу ймовірностей. Кількості спостережень було досить для отримання незміщених оцінок середньо квадратичного відхилення (δ). Для порівняння середніх величин кількісних показників за нормального розподілення ознаки використовували критерій Ст'юдента. Достовірним уважали рівень значущості $p < 0,05$ із надійністю 95%.

Для наведення прикладу з оцінки ергономічної ручного інструменту підібрали шість розповсюджених на підприємствах лісового господарства

ЧЕК-ЛИСТ
для ергономічної оцінки ручного інструменту.

Чек-лист для ергономічної оцінки ручного інструменту.
Беручи до уваги завдання/роботу, для якої призначений ручний інструмент, і робоче середовище, дайте відповідь на кожен пункт контрольного списку «Так», «Ні» або «Н/З» (не застосовується).
Розмістіть оцінку, яка відповідає вашому баченню, вашому розумінню і відчуттям щодо зручності і комфортності застосування ручного інструменту у стовпці «Оцінки»
Просумуйте оцінки за всіма чинниками для визначення максимального балу інструменту. Максимальний бал – 100.
(Пункти 7.8.9. і 10 застосовуються не до всіх інструментів.)

№ з/п	Ергономічна особливість	Так	Н/З	Ні	Бали
1.	Поверхня захвату неслизька	+10		0	
2.	Поверхня рукоятки не має гострих країв, підрізів, глибоких ребер жорсткості та/або затяжок	+10		0	
3.	Поверхня рукоятки електрично ізолювана; виготовлена з м'якого матеріалу	+10		0	
4.	Зчеплення теплоізолюване; воно не стане швидко нагріватись або охолоджуватись при роботі в гарячих або холодних умовах	+10		0	
5.	Рукоятка виготовлена з дерева, або поверхня захоплення покрита напіввіддатливим матеріалом; не надто жорстка і не дуже м'яка, схожа на гуму	+10		0	
6.	Довжина зчеплення 100–150 мм; рукоятка інструмента не закінчується всередині долоні.	+10		0	
7.	Для інструментів, що тримають однією рукою: розмір для захоплення є маленьким або занадто великим, а також вказівний палець і дуга великого пальця дозволяє перекривати A-S" при захопленні рукоятки.	+8	0	0	
8.	Форма поперечного перерізу рукоятки овальна або прямокутна із закругленим краєм.	+2	0	0	
9.	Форма поперечного перерізу рукоятки - кругла, шестикутна, квадратна або трикутна.	+2	0	0	
10.	Форма поперечного перерізу рукоятки більше або дорівнює 2" при повному закритті і менше титана або дорівнює 3,5" при повному відкритті.	+10	0	0	
11.	Кут рукоятки формується так, щоб роботу можна було виконувати, зберігаючи зап'ястя прямими.	+10		0	
12.	Вага інструменту перевищує 5 кг.	+2		0	
13.	Інструмент можна використовувати будь-якою рукою.	+10		0	
14.	Інструмент можна використовувати домінуючою рукою працівника.	+4		0	
15.	Рукоятка дозволяє проводити операцію двома руками.	+2		0	
16.	Ручний інструмент має кольорове забарвлення різних елементів конструкції, що дозволяє легко ідентифікувати різні елементи для ефективного управління.	+4		0	
Загальна оцінка інструменту (можливо 100 балів)					

*Перш за все: інструмент виконає роботу з бажаною якістю і прослужить так, як очікувалося: Так: продовжити контрольний список; Ні: відхилити інструмент

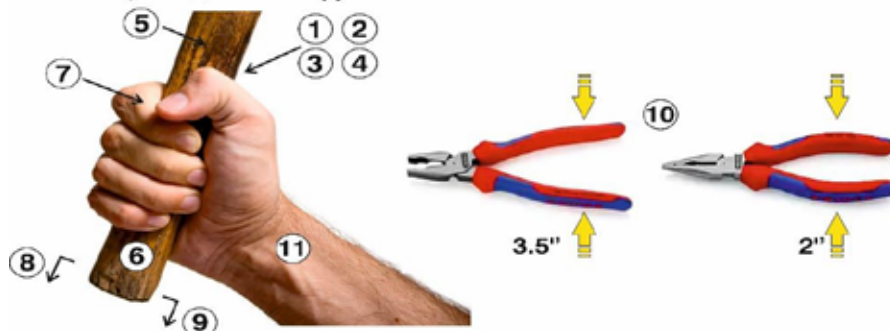


Рис. 1. Чек-лист для визначення ергономічності ручного інструменту

Таблиця 1

Дані учасників дослідження

№	Група учасників дослідження	Кількість учасників у групі	Середній вік учасників групи	Середній досвід роботи учасників групи	Освіта
1.	Професіонали	12	41,7	15,1 (10–18)	вища
2.	Початківці	8	28,6	2,7 (1–4)	середня/вища
3.	Фахівці	6	38,6	13 (8–16)	вища

зразків, як-от: ручна бензопила, сокира універсальна, гак підйомний, ручна пилка, струбцина для фіксації пилки, ручні пасатижі (рис. 2).

На четвертому кроці проводимо аналіз отриманих результатів, який передбачає визначення рівня ергономічності інструменту за рекомендаціями таблиці 2 [9]. Для перевірки достовірності результатів учасників дослідження запросили висловити суб'єктивну думку щодо актуальності чек-листа за п'ятибальною шкалою: зовсім не згоден (1), не згоден (2), незрозуміло (3), згоден (4), повністю згоден (5).

П'ятий крок – розробляються рекомендації щодо врахування в оцінюванні ергономічного ризику отриманих балів, а також визначаються умови, де найкраще застосовувати той чи той інструмент, яку марку інструменту краще застосовувати для виконання виробничого завдання.

Результати дослідження. Приклад оцінки ергономічності ручного інструменту наведено

в табл. 3. Під час проведення дослідження спостерігались деякі розбіжності щодо наведених шкал для кожного показника, зазначеного в чек-листі. Учасники зазначали складності розуміння визначення бальних оцінок. Особливо щодо визначення форми рукояток. Також були суттєві відмінності між дослідниками щодо зручності рукоятки й оцінювання загальної зручності. Аналіз отриманих результатів (табл. 4, 5) показує, що зазначені розбіжності виникли через нерозуміння чек-листа, про що повідомила майже третя частина учасників із кожної групи. Тому постає необхідність у більш детальному проговоренні алгоритму з визначення ергономічності й особливостей використання чек-листа та бальних показників. Зазначимо наявність схожих результатів в оцінюванні ручної пилки, де всі групи учасників поставили високі оцінки. Це дозволяє зробити висновок про прийнятність чек-листа, якщо стосовно ергономічності



Рис. 2. Види ручного інструменту лісовиків

Таблиця 2

Обґрунтування ергономічності ручного інструменту

Бали	Якісна оцінка	Обґрунтування балів
> 90	Комфортний	Інструмент не позбавлений важливих особливостей ергономічного дизайну
75–90	Зійде	Інструменту бракує принаймні однієї надзвичайно важливої конструктивної функції, але не більше двох дуже важливих конструктивних особливостей. Інструменту може не вистачати кількох ситуаційно важливих функцій дизайну.
< 75	Некомфортний	Інструменту не вистачає кількох дуже важливих конструктивних особливостей, а також може бути відсутня одна або кілька ситуаційно важливих конструктивних особливостей.

Таблиця 3

Усереднені результати оцінювання ергономічності ручного інструменту

Номер показника в чек-листі	Номер ручного інструменту				
	1	2	3	4	5
1	9	6	6	9	4
2	10	9	9	9	6
3	6	4	6	9	5
4	8	4	7	10	6
5	4	8	6	10	4
6	10	10	9	10	0
7	–	8	–	8	0
8	2	2	2	2	0
9	–	–	–	–	–
10	–	–	–	–	–
11	6	6	5	8	1
12	0	0	0	4	2
13	0	0	0	10	10
14	4	4	0	4	4
15	2	2	2	0	2
16	4	4	3	3	4
Загальна сума	65	67	55	94	48

ручного інструменту немає різномірних думок. Також бачимо, що початківці завжди виставляли вищі оцінки.

Можливо, через відсутність значного досвіду роботи на різних ручних інструментах, можливо, через небажання присіплювати вивчати конструкцію інструменту досвідчені працівники і фахівці ретельніше ставились до зроблених висновків, проводили обговорення, розкид оцінок був значно менший, про що говорить статистична обробка отриманих результатів.

Дискусія. Отримані результати дозволяють визначити ергономічність ручного інструменту на основі суб'єктивних оцінок

фахівців, які безпосередньо мають до них стосунок. Окрім того, важливою умовою зменшення суб'єктивізму є максимальне залучення до процесу оцінювання й обговорення можливих рішень учасників зі значним досвідом роботи [10]. Під час ознайомлення з ручним інструментом експертам пропонувалось звернути увагу на його пристосування до умов праці на робочому місці [11]. Чи теплоізолювана рукоятка для роботи взимку, чи зручний він в обмеженому просторі. На отриманий результат вплинула фахова підготовка учасників досліджень (табл. 4). Так, професіонали та фахівці загалом представили дещо нижчі оцінки, що можна також пояснити наявністю в них вищої освіти [12]. Загалом, запропонований алгоритм для аналізу ергономічності ручного інструменту дозволить не тільки знайти та забезпечити працівників відповідним зручним знаряддям праці, а сприятиме зменшенню рівня ергономічного ризику травмування чи розвитку професійного захворювання опорно-рухового апарату людини через підвищення комфорту, зручності його застосування, швидкості виконання завдання [13]. Особливістю запропонованого підходу є не тільки наявність простого чек-листа, який містить 16 основних показників, а також можливість ранжування їхньої значущості через різницю в максимальній кількості балів для їх оцінювання. Окрім того, незначна кількість показників дозволяє швидко провести аналіз і визначити придатність інструменту до заданих умов праці. Також у даному дослідженні наявні обмеження (табл. 5). Зокрема, антропометричні показники людини, що може вносити суперечності у виставлених балах, які потім усереднено. Звідси постає потреба в індивідуальному підході й аналізі кожного отриманого

Таблиця 4

Загальні оцінки ергономічності ручного інструменту за групами фахівців

Група учасників дослідження	Номер ручного інструменту				
	1	2	3	4	5
Професіонали	65 ± 0,5	67 ± 0,6	55 ± 0,8	94 ± 0,7	48 ± 0,9
Початківці	74 ± 1,8	84 ± 1,5	62 ± 1,4	95 ± 1,6	56 ± 1,2
Фахівці	62 ± 1,1	68 ± 0,9	50 ± 1,1	90 ± 1,2	50 ± 1,1

Таблиця 5

Результати суб'єктивної оцінки експертами дієвості чек-листа

Група учасників дослідження	Кількість балів за визначеними оціночними показниками, %				
	Зовсім не згоден	Не згоден	Незрозуміло	Згоден	Повністю згоден
Професіонали	–	10	25	55	10
Початківці	–	–	40	40	20
Фахівці	–	15	15	50	20

результату. Також необхідне поєднання запропонованої оцінки ергономічності із процедурою зменшення професійних ризиків [14]. Наприклад, через додавання показника комфортності чи зручності ручного інструменту. Надалі постає потреба у проведенні таких досліджень, які дозволять отримати загальну цілісну картину стосовно величини ергономічного ризику [15], а також розуміння того, що потребує заміни, контролю чи будівництва захисних бар'єрів, які зменшать кількість травм і професійних захворювань. Такий підхід збільшує складність цієї процедури, виявлення ергономічного ризику, особливо в разі зміни робочої пози, умов виконання роботи. За фактом, таке оцінювання, на жаль, проводиться нерегулярно, що потребує внесення відповідних коригувань.

Висновки. Розроблено алгоритм з оцінки ергономічності ручного інструменту, основною

відмінністю якого від наявних є чек-лист, що містить 16 основних показників для визначення зручності та комфортності використання знарядь праці, а також ранжування значущості ергономічних показників через різницю в максимальній кількості балів для їх оцінювання.

Наведено результати оцінки ергономічності декількох ручних інструментів, які застосовуються на підприємствах лісного господарства, трьома групами учасників (фахівців, досвідчених і початківців), що дозволило встановити придатність розробленого чек-листа, навести рекомендації щодо його подальшого вдосконалення.

Показано, що розбіжність між оціночними балами між групами дослідників зумовлена незрозумілістю шкал, а також не погодженням із ключовими показниками, наведеними в чек-листі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ергономічний аналіз ручного інструменту для умов автосервісу. Метод дослідження. Ч. 1 / Н.А. Бородіна та ін. *Автошляховик України* : науково-виробничий журнал. 2020. № 3. С. 7–12. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-3-263-7-12.
2. Ергономічний аналіз ручного інструменту для умов автосервісу. Результати досліджень. Ч. 2 / Н.А. Бородіна та ін. *Автошляховик України* : науково-виробничий журнал. 2020. № 4. С. 10–12. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-4-264-10-21.
3. A Checklist for the Ergonomic Evaluation of Nonpowered Hand Tools / A. Dababneh et al. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004. № 1 (12). D135 – D145. DOI: 10.1080/15459620490883150.
4. Ergonomic assessment and hand tool redesign for the small scale furniture industry / R. Jain et al. *Materials today processing*. 2021. № 44 (6). P. 4952–4955. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.762.
5. The Prevention of Industrial Manual Tool Accidents Considering Occupational Health and Safety / R.P. Arciniega-Rocha et al. *Safety*. 2023. № 9 (3). P. 51. DOI: 10.3390/safety9030051.
6. Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers / E. Johanning et al. *Industrial Health*. 2020. № 4. 58 (6). P. 539–553. DOI: 10.2486/indhealth.2020-0133.
7. Березуцький В.В., Ільїнська О.І. Ергономічні особливості забезпечення умов праці в офісах. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії». 2019. № 11 (1336). С. 15–21. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/c5c8e369-2b5e-4f24-b724-fb8cd3679a5f>.
8. The handbook of human factors and ergonomics methods / N. Stanton et al. *CRC Press LLC*. Washington, USA, D.C., 2005. 764 p. URL: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/BUKU%20INGGRIS/Handbook%20of%20HF%20and%20Ergo%20Methods.pdf>.
9. Віткін Л.М., Ролько О.Р. Методика оцінювання ступеню професійного ризику в умовах виробничої діяльності на м'ясопереробному підприємстві. *Системи обробки інформації*. 2016. № 2. С. 156–159. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_2_34.
10. Деревянко Б.В. Щодо мінімізації суб'єктивізму при наданні платних послуг приватним особам вищими навчальними закладами системи МВС. *Проблеми правознавства та правоохоронної діяльності*. 2012. № 3 (50). С. 204–212. URL: <https://repository.ndippp.gov.ua/handle/765432198/331>.
11. Цимбал Н.А., Донченко С.В. Застосування методу ергономічного дизайну для розробки спецодягу зварювальників суднобудівної галузі. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 20 квітня 2018 р., м. Київ. Київ : КНУТД, 2018. Т. 1. С. 418–421. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10596>.
12. Осадча К.П., Осадчий В.В. Аналіз досвіду змішаного навчання в іноземних закладах вищої освіти. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2022. № 60. P. 410–420. DOI: 10.31652/2412-1142-2021-60-410-420.

13. Гнатюк Л.Р., Поліщук Я.І. Вплив ергономічних вимог на створення комфорту та зручності ресторанів як закладів громадського харчування. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2014. № 37. С. 125–131. URL: <http://repository.knuba.edu.ua:8080/xmlui/handle/987654321/3931>.
14. Мигаль Г.В., Протасенко О.Ф. Нові поняття сучасної ергономіки. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2018. № 79. С. 162–170. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vikt_2018_79_20.
15. Третьякова Л.Д., Остапенко Н.В. Оцінювання ризику у використанні захисного одягу. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. № 32. С. 57–66. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42196>.

REFERENCES:

1. Borodina, N., Cheberiachko, S., & Deryugin, O. (2020). Ergonomic analysis of hand tools for car service conditions. Method of the study. Part 1. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 3, 7–12. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-3-263-7-12 [in Ukrainian].
2. Borodina, N., Cheberiachko, S., & Deryugin, O. (2020). Ergonomic analysis of hand tools for car service conditions. Research results. Part 2. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 4, 10–12. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-4-264-10-21 [in Ukrainian].
3. Dababneh, A., Lowe, B., Krieg, E., Kong, Y.-K., & Waters, T. (2004). A Checklist for the Ergonomic Evaluation of Nonpowered Hand Tools. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1 (12), D135 – D145. DOI: 10.1080/15459620490883150.
4. Jain, R., Bihari Rana, K., Lal Meena, M., & Sidh, S. (2021). Ergonomic assessment and hand tool redesign for the small scale furniture industry. *Materials today processing*, 44 (6), 4952–4955. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.762.
5. Arciniega-Rocha, R.P., Erazo-Chamorro, V.C., & Szabo, G. (2023). The Prevention of Industrial Manual Tool Accidents Considering Occupational Health and Safety. *Safety*, 9 (3), 51. DOI: 10.3390/safety9030051.
6. Johanning, E., Stillo, M., & Landsbergis, P. (2020). Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Industrial Health*, 4, 58 (6), 539–553. DOI: 10.2486/indhealth.2020-0133.
7. Berezutskyi, V.V., & Ilinska, O.I. (2019). Ergonomic peculiarities of ensuring of labor conditions in offices. *Bulletin of NTU "KHPI". Seriya "Innovative technologies and equipment for processing materials in mechanical engineering and metallurgy"*. 11 (1336), 15–21. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/c5c8e369-2b5e-4f24-b724-fb8cd3679a5f> [in Ukrainian].
8. Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., & Hendrick, H. (2005). The handbook of human factors and ergonomics methods. *CRC Press LLC*, Washington, D.C., USA, 764 p. ISBN 0-415-28700-6. URL: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/BUKU%20INGGRIS/Handbook%20of%20HF%20and%20Ergo%20Methods.pdf>.
9. Vitkin, L.M., & Rolko, O.R. (2016). Methodology evaluation of level professional risks in the conditions of productive activity on meat producer by enterprise. *Information processing systems*, 2, 156–159. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_2_34 [in Ukrainian].
10. Derevyanko, B. (2012). As to minimize subjectivity in the provision of paid services to individuals by higher educational institutions of the MIA. *Problems of jurisprudence and law enforcement*, 3 (50), 204–212. URL: <https://repository.ndipp.gov.ua/handle/765432198/331> [in Ukrainian].
11. Tsybmal, N., & Donchenko, S. Application of the method of the ergonomic design for the development of the equipment of the waterbuilding devices for weldings. *Actual problems of modern design : a collection of materials of the International Scientific and Practical Conference*, April 20, 2018, Kyiv. Kyiv : KNUTD, 2018. Vol. 1. P. 418–421. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10596> [in Ukrainian].
12. Osadcha, K., & Osadchyi, B. (2022). Analysis of the experience to mixed learning in foreign institutions of higher education. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 60, 410–420. DOI: 10.31652/2412-1142-2021-60-410-420 [in Ukrainian].
13. Hnatiuk, L.R., & Polishchuk, Ya.I. (2014). The influence of ergonomic requirements on the creation of comfort and convenience of restaurants as public catering establishments. *Modern problems of architecture and urban planning: science and technology*, 37, 125–131. URL: <http://repository.knuba.edu.ua:8080/xmlui/handle/987654321/3931> [in Ukrainian].
14. Myhal, G.V., & Protasenko, O.F. (2018). New Concepts of Modern Ergonomics. *Open information and computer integrated technologies*, 79, 162–170. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vikt_2018_79_20 [in Ukrainian].
15. Tretyakova, L.D., & Ostapenko, N.V. (2016). Risk assessment in the use of protective clothing. *Problems of labor protection in Ukraine*, 32, 57–66. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42196> [in Ukrainian].

UDC 614.894.3

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-8>

RECOMMENDATIONS CONCERNING PREVENTION OF OCCUPATIONAL HAZARDS RESULTING FROM THE MISTAKEN SELECTION AND USE OF FILTRATION DUST RESPIRATORS

Cheberiachko Serhii Ivanovych,

Doctor of Technical Science,
Professor at the Department of Labour Protection and Civil Security
Dnipro University of Technology
ORCID ID: 0000-0003-3281-7157

Yavorska Olena Oleksandrivna,

Candidate of Technical Sciences (PhD),
Professor at the Department of Labour Protection and Civil Security
Dnipro University of Technology
ORCID ID: 0000-0001-5516-5310

Yavorskyi Andrii Vasyliovych,

Candidate of Technical Sciences (PhD),
Associate Professor at the Department of Mining Engineering and Education
Dnipro University of Technology
ORCID ID: 0000-0003-4484-3723

Ikonnikov Maksym Yuriyovych,

Candidate of Technical Sciences (PhD),
Associate Professor at the Department of Labour Protection and Civil Security
Dnipro University of Technology
ORCID ID: 0000-0003-2977-2007

Objective is to determine occupational hazards connected with contraction of diseases of respiratory organs, and to elaborate recommendations concerning the improvement of staff protection level.

Methods. Following research have been carried out to identify the hazards resulting from failure in respirator service: review of publications in scientific sources; analysis of studies in the field carried out lately by hygiene institutions; discussions with scientists from industrial medicine institutes, and work safety officers from coal industry enterprises as for the improved conditions of respirator use; and analysis of the current techniques intended to identify hazards of professional disease contraction.

Results. Decrease in the number of contraction of diseases of respiratory organs at workers during performance of their professional duties is possible if only effective respirator is used which can be implemented on the basis of:

- preliminary validation test for anthropometric parameters of faces of users as well as for production environment;
- training for correct control and adequate use in the process of performance of professional duties.

Practical value. The process of respirator selection it is possible to ask manufacturers for the information concerning characteristics of the respirator and their efficient use. Proper service involves engagement of the manufacturers to train staff as for the gaining skills of efficient use of the facilities. Adequate service involves appropriate tests of operational characteristics of the respirator in cooperation with their manufacturer.

Key words: respirator, protection, dust disease, health of workers, aerosol, operational conditions, risk, selection, errors.

Чеберячко Сергій, Яворська Олена, Яворський Андрій, Іконніков Максим. Рекомендації щодо запобігання професійним ризикам, пов'язаним із неправильним вибором та використанням протипилових респіраторів

Мета – визначити професійні ризики, пов'язані з виникненням захворювань органів дихання, та розробити рекомендації щодо підвищення рівня захисту персоналу.

Методи. Для виявлення небезпек, пов'язаних з порушеннями в роботі респіраторів, були проведені такі дослідження: огляд публікацій у наукових джерелах; аналіз останніх відповідних досліджень, проведених установами гігієнічного профілю; обговорення з науковцями інститутів промислової медицини та спеціалістами з охорони праці підприємств вугільної промисловості щодо покращення умов використання респіраторів; аналіз наявних методик, призначених для виявлення небезпек розвитку професійних захворювань.

Результати. Зменшення кількості захворювань органів дихання у працівників під час виконання їхніх професійних обов'язків можливе за умови використання лише ефективного респіратора, що може бути реалізована завдяки:

– попередньому валідаційному тестуванню антропометричних параметрів обличчя користувачів, а також виробничих умов;

– навчанню правильного контролю та використання у процесі виконання професійних обов'язків.

Практична цінність. У процесі вибору респіратора можна запитати у виробника інформацію про характеристики респіратора та його ефективне використання. Належне обслуговування передбачає залучення виробників до навчання персоналу з метою набуття навичок ефективного використання обладнання. Належне обслуговування передбачає проведення відповідних випробувань експлуатаційних характеристик респіраторів у співпраці з їх виробником.

Ключові слова: респіратор, захист, пилова хвороба, здоров'я працівників, аерозоль, умови експлуатації, ризик, вибір, помилки.

Introduction. Despite the requirements of legislation to apply personal respirator equipment (PRE) only if it is impossible to reduce concentration of hazardous aerosols down to safety indices by means of organizational and technological measures, they are still popular industrially. It has been calculated that industrial companies of the USA spend annually almost \$5 mln to equip workers with PRE only [2]. Moreover, the sum increases significantly taking into consideration processes of service, conformance inspection, and staff training. If selection and use are incorrect then substantial sum of money is wasted and workers will have no adequate protection which may result even in fatal cases. Thus, it is necessary to be careful with a procedure of PRE selection which involves several steps: determination of emission concentration in the working air; climatic conditions; working schedule; estimation of professional risks connected with PRE use; substantiation in terms of functionality and operation conditions; staff training as for application skills; and provision of correct storage and service [3].

However, the problem, which should be studied thoroughly, is to estimate occupational risks connected with PRE use since the majority of scientists, researchers, and labour safety experts believe it will favour its conscious application [4–6]. It should be noted that the procedure is required by several International Standards [7; 8]. Moreover, every country has its own legal system duplicating requirements of the abovementioned norms. Without going into details, we mention that the listed documents do not cover explanations concerning origin, weight evaluation, and recommendations concerning either elimination or minimization of occupational hazard of PRE users. Nevertheless, estimation of any occupational risk should also include the hazardous factors favouring the undesired event rise under the certain conditions. According to [7], the hazardous factors, connected with the use of PRE, can be divided into two basic groups: one depends upon mistakes resulting from

PRE selection; another one depends upon amateurism or its irresponsible application.

However, before discussion of the problem, try to gain insight into numerous and diversified phenomena which should be taken into consideration while analyzing effect of aerosols on a human body. Since aerosol is a disperse system, consisting of the airborne particles of solid substance or liquid substance and characterized by differences in their chemical nature, their after-effects will differ as well. Thus, it is impossible to generalize the occupational risk estimation since retaining solid particles in lungs results in traumatizing of the latter and further progress of such occupational diseases as pneumoconiosis; in addition, getting of various toxicants (i.e. liquid aerosols) results in the body intoxication followed by progress of various occupational diseases. Relying upon the abovementioned, consider the effect of solid aerosols only.

Purpose of the analysis is to estimate qualitatively the risks of occupational diseases of the employees' respiratory organs while selecting and using filtering respirators.

Methods. The research has been carried out to identify the hazardous factors, which may deteriorate significantly the protection degree of workers using PRE to be defended against solid aerosols for effective implementation of respiratory protection as the part of measures to save their health.

Basing upon the open-source information, the analysis has gathered information on factors favouring or preventing from correct selection and use of PRE [9–18]. First, scientific sources estimating risks of contraction of occupational diseases while using PRE have been analyzed. Then, scientists, researchers, and employees of Institute of Hygiene have been interviewed as for the progress of occupational diseases in terms of staff during performance of their professional duties, and possible ways to reduce them taking into consideration use of PRE. Lastly, when the information was gathered, a meeting was held attended

by labour protection experts being representatives of different manufacturing companies who shared their opinions concerning the efficiency of work-force respiratory protection.

Results. While considering the problem of professional risk determination in the process of PREs, it is necessary to mention the lack of the unified approach to its solution. Moreover, even the idea of the risk does not have any common definition. Thus, certain experts believe that industrial risk is a potential injury to employee health during performance of his/her professional duties stipulated by hazard level and/or hazard of labour conditions, and scientific and technological conditions of enterprises which can be evaluated quantitatively as mathematical expectation of a harmful event occurrence [19; 20]. Paper [8] determines occupational risk as a combination of the occurrence of such a harmful event up to the injury severity or health deterioration as a result of the event which involves identification of each industrial risk as well as understanding of its health hazard. Papers [21; 22] supplement the occupational risk with the concepts of damage and severity of the damage. In other words, recently a concept of hazard has been complemented with the associated damage. Unfortunately, there is no explanation concerning the evaluation units. Moreover, neither of norms proposes distinct indices characterizing the damage. By the way, according to [23], risk is the empiric scientific “activity” connected with the determination of hazard likelihood as well as the damage amount being a result of effect of labour conditions. Since the situation with risk interpretation is not defined uniquely, we will follow its classic definition as a likelihood of health damage onset. In our case, after-effect is the progress of occupational disease resulting in partial or complete disability of a worker or even his/her death due to solid aerosol inhaling in the process of performance of his/her professional duties.

Determination of any occupation risk involves the detailed data concerning labour conditions, hazard, protection means, control means, competence of the staff etc. Its value may be estimated with the help of different techniques described in [24]. For instance, if “Risk score” technique is

applied [25] (Fig. 1) then risk (R) is evaluated by means of scores using formula

$$R = S \times P, \quad (1)$$

where S is severity of after-effects; and P is event likelihood.

Likelihood	Consequence				
	Low	Medium	High		
Almost Certain	5	10	15	20	25
Likely	4	8	12	16	20
Possible	3	6	9	12	15
Unlikely	2	4	6	8	10
Rare	1	2	3	4	5
	Minor		Major		
	Insignificant		Moderate		Critical

Fig. 1. Table to determine risk using “Risk score” technique

Table 1 demonstrates an example how a risk of such occupational mining disease as anthracosis is determined.

Moreover, occupational risk can also be evaluated with the help of more complicated technique “HAZID” most commonly used at the initial stages of the development of any projects. The technique complies with the requirements in the field of HSE (i.e. health, safety, and environment). The calculations should involve knowledge of infrastructure, operations, hazards for the staff health, potential emergency etc. The risk level is also identified taking into consideration “likelihood – severity of after-effects” matrix in terms of the determined rating. Table 2 shows a fragment of risk evaluation worksheet in terms of the described technique.

The factors, effecting correct selection of PRE and its use, are complex and inhomogeneous even at one workplace. If various factors are emphasized, it does not always mirror what can be expected for the branch or for the respirator [26]. However, understanding of the gathered

Table 1

Risk of occupational respiratory disease contraction in the context of miners working at 30 mg/m³ gas content

Occupation	Hazard	After- effects	Basis risk			Risk category
			Severity of the after-effects	Event likelihood	Risk	
Miner	Coal dust	Anthracosis	5	5	25	Critical

Table 2

A fragment of a worksheet to calculate risks using “HAZID” technique

№	Hazardous factor (keyword)	After-effects of the hazardous factor	Hazards	Prevention	Risk	Remarks
Health hazards						
1.	Insufficient oxygen	Breathlessness, heart beating, dizziness, death	Staff	Airing, control of oxygen concentration, developing of routs in the fresh air flow	2	–
2.	Coal dust	Contraction of respiratory diseases (i.e. silicosis, and lung cancer).	Staff	Airing, implementation of dedusting systems, systems of collective protection, development of respiratory protection program	1	High hazard level since the staff is within the hazard zone constantly where concentration exceeds limit concentration

information can help comprehend the following: inadequacy of functionality, when the selected PRE corresponds neither to toxicant type nor to protection class, which is one of the most important mistakes in the process of filtering PRE and may result in a fatality. In that case, an employee remains vulnerable due to major violations of the related instructions or negligence of authority. The mask mismatching anthropometric measurements of a face, which can be determined by insulation characteristics of half-masks, is another mistake which also results in the deterioration of protective characteristics while favouring the increased occupational risk. That is why after determining the required protection level and making decision concerning its type, the stage of PRE selection should provide test for the density contact between the mask and worker's face without exceeding limits of its specific pressure exerted on the face (4–6 N).

PRE selection process often neglects operating conditions: potential decrease in oxygen concentration (for instance, operations in the restricted premises); varied contamination level of hazardous aerosols (i.e. day-night concentration is taken into consideration when there is the likelihood of instant intolerable one due to explosion or another emergency situation); and climatic conditions (i.e. temperature and air humidity) will aggravate health of workers due to insufficient oxygen, weakening of protective characteristics resulting from toxicants getting to undermask space, loss of ergonomic properties stipulated by the increased breath resistance, face perspiration, and water falling on the filter. Table 3 demonstrates recommendations concerning the decrease in the effect of the reasons deteriorating protective characteristics of respirators in the process of their selection.

The most common mistakes of PRE application are as follows: misuse by the unqualified workers misunderstanding operating principle of the protective device, its structure, and the restricted use depending upon the work pace, communication

need, and engagement of other PRE. Moreover, they have no idea how to put on/take off the device correctly; to recognize potential damages, and how to make necessary tests before use. Moreover, it is necessary to provide the required service after its use as well as cleaning and disinfection. If workers do not have essential knowledge and skills, the abovementioned increases chances of occupational risk due to deterioration of protective and ergonomic indices. Thus, employers should provide appropriate procedures to train their staff, to check PRE performance at work places, and to identify the damaged components with their further replacement.

Table 4 demonstrates recommendations concerning the decreased risks of occupational diseases caused by the mistakes during the respirator use.

Analysis of the information from Tables 3 and 4 shows that it is possible to reduce some of the listed risks using high-quality PRE with proper data concerning identification, service, and replacement period. The above needs cooperation with fair PRE manufacturers controlling constantly the production process starting from raw material purchase and finishing by the end product. It should be noted that according to [8], either manufacturer of PRE or its supplier has to provide information on the risks to coordinate activities with a consumer. The requirement involves greater integration of partner companies which will help provide mutual control over the operating procedures (i.e. PRE use) thus improving the product quality as well as safety of employees using it.

It stands to reason that in addition to the correct PRE selection by experts (for instance, those representing the Institute of Industrial Labour Hygiene and understanding PRE specifications) and a procedure determining occupational risks, it is important to solve managerial problems. Motivation of employees to apply the facilities correctly is the key problem since the solution has an effect

Table 3

Recommendations concerning decrease in occupational disease risks resulting from the mistaken selection of PRE

Mistakes		Recommendations concerning decrease in occupational disease risks
Name	After-effects	
1. The selected respirator mismatches its functions.	The specified protection of respiratory organs is not provided.	Select respirator of proper type and protective level.
2. The selected respirator matches its functions but anthropological properties of the user's face are not determined.	The specified protection of respiratory organs is not provided due to obturator-face incompatibility, i.e. toxicants get to undermask space.	Use a head strap to press the obturator against the face not exceeding specific pressure exerted on the face (4–6 H), or apply a respirator with the varied geometry of obturation line.
3. The selected respirator corresponds to the requirements listed in points 1 and 2 but its operating conditions are not taken into consideration, i.e.:	First, dizziness, weakness, and tachycardia arise; critical oxygen concentration (<< 18%) results in convulsions and death.	Ventilate the working area or use insulating PRE instead of the respirator.
– air concentration within the working area air is < 18 %;		
– toxicant pollution of the working area air exceeds safety limit of the respirator use; and	The specified protection of respiratory organs is not provided due to toxicant getting into the undermask space.	Apply a respirator of adequate protective level.
– heightened temperature and air humidity.	Perspiration of a face and increase in the breath resistance due to the filter watering.	Apply a respirator equipped with the exhalation valve and water-absorbing element.

Table 4

Recommendations concerning the decreased risks of occupational diseases caused by the mistakes during the respirator use

Mistakes		Recommendations concerning the decreased risks of occupational diseases
Name	After-effects	
The respirator is used by unqualified (unskilled) employees	The specified protection of respiratory organs is not provided.	Mandatory staff training as for the adequate PRE use
The respirator is used by the skilled employees; however, its preparation for use and service is not satisfactory	The specified protection of respiratory organs is not provided due to toxicant getting into the undermask space through the damaged components of the respirator	Routine control of operating characteristics identification of the damaged components, and their replacement.
The selected respirator corresponds to the requirements listed in points 1 and 2 but its operating conditions are not taken into consideration, i.e.: work pace, and the increased mobility; and	Ergonomic factors deteriorate due to the increased breath resistance and origination of extra load	Use a respirator with low breath resistance, or with the forced air supply
– communication need	The specified protection of respiratory organs is not provided due to toxicants getting into the undermask space because of the necessity to take off the respirator	Use a respirator equipped with intercommunication systems
	The specified protection of respiratory organs is not provided due to the worsened PRE performance because of its incompatibility with other respiratory protective devices	Use respiratory protective device manufactured by one and the same company. Provide control of protective characteristics of PRE as for its compatibility with other respiratory protective devices
	Discomfort; the necessity to take off the half-mask to have rest	Prolong breaks while operating using PRE. Use respirators with the forced air supply
– use of other PRE		
– period of use		

on the implementation of the program of respiratory protection. Any PRE is the extra load on a worker. Its value depends greatly upon occupational hazards as well as upon other implemented common protection devices. If the necessity to apply PRE arises then the employees should take responsibility for refusal of using the facilities, development of occupational disease, deterioration of life quality, and economic loss connected with the disease treatment. It is also important for them to understand the nature of the hazard and apprehend it recognizing that the caused inconveniences are nothing to compare with the disease. That will stipulate responsibility for both PRE selection and its use.

The heavy role in the process of such an approach is played by enterprise authorities as well as by introduction and implementation of the respiratory protection programme; manufacturers of respiratory facilities should be involved in the elaboration of the key points of such programmes. Responsible attitude towards high-quality product manufacturing at each stage from raw material to the end product is the element of reliable protection of workers as well.

Conclusions. Summing up the research results, we will note that each employer should evaluate proper risks in the of PRE selection. Minimization of hazards is possible if only high-quality PRE is selected, serviced, and applied correctly. The employers may share the responsibility to provide their workers with high-quality and relevant RPD involving the producers in the process of worker's protection process [1] stipulates such a possibility. Adequate selection involves participation of workers to obtain necessary information concerning operating characteristics of the PRE; adequate use involves manufacturers to train operating skills; and adequate service involves corresponding tests of operating characteristics of the PRE in cooperation with its manufacturer or according to his/her instructions.

Moreover, while arranging the respiratory protection programme, training workers to use PRE correctly involving its manufacturers, and demanding the enforcement of proper procedures, described in [8], the employer delegates them

certain share of his/her responsibility; what is more important, those measures protect health of the employees.

To make PRE able to decrease a pollution degree of the inhaled air down to the acceptable level, following three conditions should be met.

1. Protection coefficient of respirators should exceed pollution coefficient of a working area, i.e.:

$$K_{PR\min} > K_{POL}, \quad (2)$$

where $K_{PR\min}$ is minimum required protection coefficient of PRE; $K_{POL} = C / BAC$ is pollution coefficient of the working area; and C is the pollutant concentration, mg/m^3 ; BAC – boundary admissible concentration.

2. The PRE protection coefficient should be determined at the workplace individually. The idea is to identify the ratio of the external test-aerosol concentration to the undermask space with the help of specific measuring devices.

3. PRE half-mask should correspond to the worker's face anthropometry. To provide the requirement, operating department needs implementation of a procedure intended to test PRE half-mask – face contact along obturation line while determining areas where pollutants in the form of aerosols (i.e. aerodisperse particles, gases, vapours etc.) inflow into the PRE undermask space. There are two types of such a test: qualitative and quantitative. Qualitative technique is based upon subjective reaction of sense organs on the penetrating odour of airborne safe aerosols (i.e. saccharine, bitrex, isoamyl acetate etc.). Quantitative techniques rely upon instrumental test using corresponding facilities (e.g. fittest, quantifit test, and thermal mapping).

4. PRE should be applied timely and correctly. It is important for adequate and suitable PRE use to inform employees about health risks if the equipment is applied incorrectly, and to train them adequately. The training involves studies of the protective device components, its correct putting on, preliminary wearing to get used to it and to evaluate comfort as well as familiarizing with activities during the emergency. Such training should be regular; moreover, its programme has to be updated annually.

REFERENCES:

1. EN 529:2006-01. Respiratory protective devices – *Recommendations for selection, use, care and maintenance – Guidance document*; German version EN 529:2005.
2. Respiratory Protection Equipment Market worth 7.28 Billion USD by 2022 Markets and Markets. 2017. Respiratory Protection Equipment Market by Product Type (Air-purifying Respirators, Supplied Air Respirators), End-use Industry (Healthcare & pharmaceuticals, Defense & Public Safety Services, Oil & Gas, Manufacturing, Mining) – Global Forecast to 2022. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/respiratory-protection-equipment.asp> [accessed 2020 Jan 20].

3. BS EN 529:2005. *Respiratory protective devices. Recommendations for selection, use, care and maintenance*. Guidance document (EN 529: 2006, IDT).
4. Nahorna, A.M., Vitte, P.N., Sokolova, M.P., Kononova, I.G., Orekhova, O. and Mazur, V.V. (2012). Assessment of Risk Development of Occupational Diseases in Workers of Metallurgic, Mining Industries and Machine Building Ukraine. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 3 (31): 3–13 [In Ukraine].
5. Aneziris, O.N., Papazoglou, I.A., Konstantinidou, M. and Nivolianitou, Z. (2014). Integrated risk assessment for LNG terminals. *J. Loss. Prevent. Proc.* 28: 187–204.
6. Eraiyanbu, P., Anbalagan, M., Prabhu, R., Sirajudeen, I. and Satheeshkumar, P. (2019). Hazards Measuring and Risk Controls in Textile Industry. *IJIRSET*. 8 (5): 4976–4987.
7. Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work.
8. ISO 45001:2018 (E). Occupational health and safety management systems. Requirement with guidance for use.
9. Campbell, D.L., Coffey, C.C. and Lenhart, S.W. (2001). Respiratory protection as a function of respirator fitting characteristics and fit-test accuracy. *AIHA Journal*. 62 (1): 36–44.
10. Carrico, R.M., Coty, M.B., Goss, L.K. and La Joie, A.S. (2007). Changing health care worker behavior in relation to respiratory disease transmission with a novel training approach that uses biosimulation. *AJIC*. 35: 14–9.
11. Bergman, M.S., Zhuang, Z., Hanson, D., Heimbuch, B.K., McDonald, M.J., Palmiero, A.J., Shaffer, R.E., Harnish, D., I Husband, M. and Wander, J.D. (2014). Development of an Advanced Respirator Fit-Test Headform. *JOEH*. 11 (2): 17–125.
12. He, X.K., Reponen, T., McKay, R.T. and Grinshpun, S.A. (2013). Effect of Particle Size on the Performance of an N95 Filtering Facepiece Respirator and a Surgical Mask at Various Breathing Conditions. *AEROSOL SCI/TECH*. 47 (11): 180–1187.
13. Bahloul, A., Mahdavi, A., Haghighat, F. and Ostiguy, C. (2014). Evaluation of N 95 Filtering Facepiece Respirator Efficiency with Cyclic and Constant Flows. *JOEH*. 11 (8): 499–508.
14. Beckman, S., Materna, B., Goldmacher, S., Zipprich, J., D'Alessandro, M., Novak, D. and Harrison, R. (2013). Evaluation of respiratory protection programs and practices in California hospitals during the 2009–2010 H1N1 influenza pandemic. *AJIC*. 41 (11): 1024–1031.
15. Brown, L.M., Rogers, B., Buckheit, K. and Curran, J.P. (2018). Evaluation of 9 health care organizations' respiratory protection programs and respiratory protective device practices: Implications for adoption of elastomers. *AJIC*. 46 (3): 350–352.
16. Balazy, A., Toivola, M., Reponen, T., Podgórski, A., Zimmer, A. and Grinshpun, S.A. (2006). Manikin-based performance evaluation of N95 filtering-facepiece respirators challenged with nanoparticles. *Ann. Occup. Hyg.* 50 (3): 259–269.
17. Rengasamy, S. and Eimer, B.C. (2011). Total inward leakage of nanoparticles through filtering facepiece respirators. *Ann. Occup. Hyg.* 55 (3): 253–263.
18. Chen, C.C. and Willeke, K. (1992). Characteristics of face seal leakage in filtering facepieces. *AIHA Journal*. 53 (9): 533–539.
19. Franca, R. and Gaspar, R.M. (2011). Expectation Hypothesis bias: Risk aversion versus Stochastic adjustment. *Electronic Journal. ADVANCE working paper Series*, № 1/2011. DOI: 10.2139/ssrn.2417268.
20. Yaron, A. and Bansal, R. (2004). Risks for the long run: A potential resolution of asset pricing puzzles. *Journal of Finance*. 59: 1481–1509.
21. ISO/IEC 73:2009, Risk management – Vocabulary, International Organization for Standardization.
22. ISO 31000:2009, Risk management – Principles and guidelines, International Organization for Standardization.
23. ISO/IEC GUIDE 51:2014, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards.
24. ISO/IEC 31010:2009, Risk management – Risk assessment techniques.
25. BS EN ISO 8800:2004, Occupational health and safety management systems : Guide.
26. Graveling, R., Sanchez-Jimenez, A., Lewis, C. and Groat, S. (2011). Protecting Respiratory Health: What Should be the Constituents of an Effective RPE Programme. *Ann. Occup. Hyg.* 55 (3): 230–238.

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Алексєєв М. О., М'якенький А. В. ВИБІР МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ.....	3
Соколова Н. О., Мошик М. С. ВИКЛИКИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	9

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Бородай В. А., Нестерова О. Ю., Боровик Р. О. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ DC-AC ІНВЕРТОРА ІЗ СИНУСОЇДНОЮ ФОРМОЮ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ.....	18
Дрешпак Н. С. ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ.....	22

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

Бубліков А. В., Надточий В. В., Продан Б. Ш. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТИСКОМ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ ДЛЯ ВИПАЛЮВАННЯ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ.....	32
Бубліков А. В., Яцюк Д. С. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ВИДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ ДЛЯ ТОНКИХ ПЛАСТІВ СУЧАСНИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ.....	43

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

Чеберячко Ю. І., Яворська О. О., Боровицький О. М., Згерський Р. А. ЕРГОНОМІЧНА ОЦІНКА РУЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА.....	48
Cheberiachko S. I., Yavorska O. O., Yavorskyi A. V., Ikonnikov M. Y. RECOMMENDATIONS CONCERNING PREVENTION OF OCCUPATIONAL HAZARDS RESULTING FROM THE MISTAKEN SELECTION AND USE OF FILTRATION DUST RESPIRATORS.....	56

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES

Aleksieiev Mykhailo, Miakenkii Arseniy

CHOOSE OF TEACHING METHODOLOGY BASED ON THE COGNITIVE MODELS
ANALYSIS IN THE DISTANCE LEARNING SYSTEM.....3

Sokolova Natalya, Moshik Mariia

CHALLENGES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....9

POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Borodai Valerii, Nesterova Olha, Borovyk Roman

FEATURES OF MODELING A DC-AC INVERTER WITH A SINUSOIDAL OUTPUT
VOLTAGE WAVEFORM.....18

Dreshpak Nataliia

LIFE CYCLE ASSESSMENT IN THE ENERGY SECTOR.....22

AUTOMATION, COMPUTER INTEGRATION TECHNOLOGIES AND ROBOTICS

Bublikov Andrii, Nadtochy Volodymyr, Prodan Bohdan

SYNTHESIS AND STUDY OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL
OF THE PRESSURE OF THE GAS-AIR MIXTURE IN THE TUNNEL FURNACE
FOR THE FIRING OF CERAMIC BRICKS.....32

Bublikov Andrii, Yatsiuk Dmytro

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF OPERATION MODES OF SHEARERS
VIA MODERN REGULATORS.....43

CIVIL SECURITY

Cheberiachko Yurii, Yavorska Olena, Borovytskyi Oleksandr, Zgersky Roman

ERGONOMIC ASSESSMENT OF HAND TOOLS FOR FORESTRY WORKERS.....48

Cheberiachko Serhii, Yavorska Olena, Yavorskyi Andrii, Ikonnikov Maksym

RECOMMENDATIONS CONCERNING PREVENTION OF OCCUPATIONAL HAZARDS
RESULTING FROM THE MISTAKEN SELECTION AND USE OF FILTRATION
DUST RESPIRATORS.....56

НОТАТКИ

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Науково-технічний збірник

Випуск 104

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнецова

Формат 60x84/8. Гарнітура Arial.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 7,67. Замов. № 1123/677. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.