

# СТУДЕНТСЬКИЙ ВІСНИК DDMA

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ (ДДМА)**

**СТУДЕНТСЬКИЙ  
ВІСНИК  
ДДМА**

**ТЕМАТИЧНИЙ ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Виходить 1 раз на рік

Засновано у грудні 2002 р.

Краматорськ  
ДДМА  
2020

УДК 621 + 669 + 004 + 330

**Студентський вісник ДДМА** : тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 102 с.

**ISBN 978-966-379-957-5**

У збірнику представлені статті, присвячені теоретичним і експериментальним дослідженням студентів з питань: створення і застосування прогресивних технологій; інформаційних технологій; механізації і автоматизації виробничих процесів; економічної теорії і практики; моделювання, розрахунків і проектування складних технічних систем. Збірник буде корисним для студентів та аспірантів технічних ЗВО, інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, машинобудівних та металургійних підприємств.

### *Редакційна рада*

Ковальов В. Д.	доктор технічних наук, професор, ректор ДДМА, голова ради;
Авдеєнко А. П.	кандидат хімічних наук, професор;
Алієв І. С.	доктор технічних наук, професор;
Акімова О. В.	кандидат економічних наук, доцент;
Єлецьких С. Я.	доктор економічних наук, професор;
Кассов В. Д.	доктор технічних наук, професор;
Клименко Г. П.	доктор технічних наук, професор;
Ковалевський С. В.	доктор технічних наук, професор;
Макаренко Н. О.	доктор технічних наук, професор;
Марков О. Є.	доктор технічних наук, професор;
Миرونенко Є. В.	доктор технічних наук, професор;
Тарасов О. Ф.	доктор технічних наук, професор;
Турчанін М. А.	доктор хімічних наук, професор;
Федорінов В. А.	кандидат технічних наук, професор;
Фесенко А. М.	кандидат технічних наук, доцент.

**Адреса редакції:** 84313, Донецька обл., м. Краматорськ,  
вул. Академічна, 72, каб. 1322,  
e-mail: [herald@dgma.donetsk.ua](mailto:herald@dgma.donetsk.ua), [nis@dgma.donetsk.ua](mailto:nis@dgma.donetsk.ua)

**Телефон:** (0626) 41-69-42, 41-67-88

**Факс:** (0626) 41-63-15

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради ДДМА, протокол № 2 від 24.09.2020 р.**

**ISBN 978-966-379-957-5**

© Донбаська державна машинобудівна академія, 2020

© Donbass State Engineering Academy, 2020

# РОЗДІЛ 1

# МАШИНОБУДУВАННЯ



---

УДК 621.794.06:435.422.43

Боровий І. Б. (ТМ-18м)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ В ПОСТІЙНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН

*У статті представлений метод мікрівібраційної обробки твердосплавних пластин у постійному магнітному полі. Даний метод спрямований на об'ємне зміцнення та імовірно буде викликати самоочищення матеріалу від злочісних включень, і залишкових напруг, завдяки чому період стійкості ріжучої пластини буде зростати, за рахунок чого ми можемо підвищити швидкість різання що позитивно позначиться на продуктивність.*

*The article presents a method of microvibration treatment of carbide plates in a permanent magnetic field. This method is aimed at increasing the volume and can probably lead to self-cleaning of the material from malignant inclusions and residual stresses, thereby increasing the life of the cutting plate, thereby increasing the cutting speed, which will have a positive effect on productivity*

Підвищення зносостійкості і довговічності деталей сучасних машин нині має велике значення, оскільки скорочується витрата запасних частин і матеріалів на їх виготовлення, знижуються витрати на експлуатацію, підвищується продуктивність праці.

Для підвищення ефективності процесів механічної обробки зростання зносостійкості ріжучого інструменту є актуальним завданням. Підвищення ресурсу працездатності ріжучого інструменту веде до зниження витрат на виготовлення продукції [1].

Стійкість накладає свої обмеження при виборі режимів різання. Вимушене заниження режимів різання веде до втрати продуктивності виконуваних операцій. Крім цього, підвищення стійкості та формостійкості робочих поверхонь ріжучого інструменту дозволяє поліпшити якість продукції, що випускається і скоротити витрати часу на підналадку в процесі обробки [2].

Темпи розвитку машинобудування безпосередньо пов'язані із створенням нових матеріалів і з освоєнням нових технологічних процесів. Одним з нових методів обробки представлений нижче.

В основу статі покладений технологічний процес магнітно-імпульсної обробки суть полягає у тому що дією імпульсного магнітного поля в металі відбувається утворення нової структури, характеристики якої залежать від величини напруженості магнітного поля. Структура зміцненого шару відрізняється високою дисперсністю і поліпшеними експлуатаційними характеристиками [3].

Розглянемо основні аспекти технологічного процесу магнітно-імпульсної обробки. Магнітно-імпульсна обробка (МІО) металів є спосіб пластичної деформації металів, який можливий при прямому перетворенні електроенергії в механічну в оброблюваному виробі.

Основою магнітно-імпульсної обробки є електродинамічні сили, що виникають в провідному тілі виробу, що знаходиться в змінному електромагнітному полі.

Установка магнітно-імпульсної обробки (рис. 1) має зарядний пристрій, батарею конденсаторів - накопичувач енергії, комутуючі пристрій і індуктор. Батарея 3 заряджається через випрямляч 2 від джерела живлення 1. По завершенні зарядки батарея з допомогою комутуючого пристрою 4 замикається на індуктор 6.

Струм створює магнітний потік, який перетинає металевий виріб 5 і створює в ньому вихрові струми.

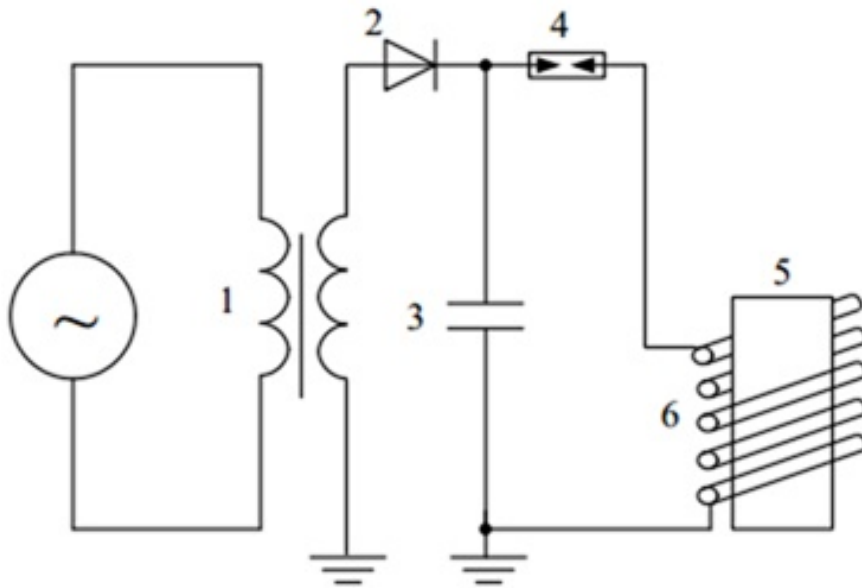


Рис. 1. Принципова схема електричного кола установки для магнітно-імпульсної обробки

При розрядці конденсатора ємністю  $C$  на індуктивну котушку  $L$  імпульс струму має тривалість і форму, що визначаються параметрами розрядного контуру  $R$ ,  $L$  і  $C$ .

Енергія, що виділяється в ланцюзі, йде на нагрів заготовки, механічну роботу деформації заготовки, нагрів провідників ланцюга і частково розсіюється в просторі. Тиск на оброблювану заготовку ( $\text{кг/см}^2$ ) залежить від щільності енергії електромагнітного [4].

Магнітно-імпульсні установки характеризуються високою продуктивністю, можливістю легкої автоматизації та механізації технологічного процесу, широкими технологічними можливостями, відсутністю передавальної середовища, простий і дешевої оснащенням, можливістю отримання високих тисків (до  $108 \text{ Н / м}$  без руйнування індуктора і до  $109 \text{ Н / м}$  при використанні одноразового індуктора), високою культурою виробництва і простотою обслуговування, позитивним впливом на характеристики окремих оброблюваних матеріалів та ін.

Перевагою (МІО) є відносна нескладність обладнання і оснастки (в порівнянні з механічними пресами і верстатами аналогічної продуктивності) і велика технологічна гнучкість (відсутність передавальної середовища, можливість поєднати формоутворення з нагріванням, можливість з'єднання різних матеріалів і т. п.).

Одним з недоліків цього методу є те що доброякісні структури утворюються лише на поверхні обробленого матеріалу. Для вирішення цієї проблеми був розроблений попередній експеримент.

На (рис. 2) наведена схема експерименту. На даній схемі видно що твердосплавна пластина знаходиться між двома магнітами, це дозволяє магнітним полям наведеними цими постійними магнітами безперешкодно проходити через пластину, також до пластини приєднані два джерела які з'єднані з генератором резонансних частот [5].

Суть даного експерименту полягає у тому що при проходженні постійного магнітного поля через твердосплавну пластину у кристалічній решітці матеріалу відбувається самоорганізація доменів даної кристалічної решітки, а додаткова обробка резонансними частотами імовірно допомагає очистити оброблювальний матеріал від шкідливих включень.

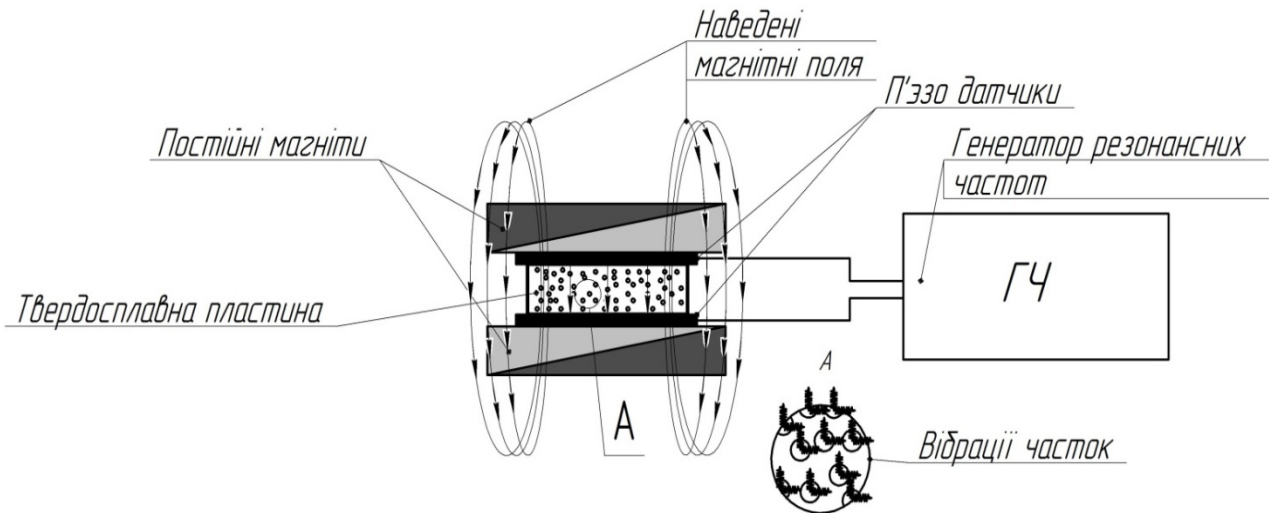


Рис. 2. Схема експерименту

## ВИСНОВКИ

У статті представлений метод мікровібраційної обробки в постійному магнітному полі твердосплавних пластин. Під керівництвом наукового керівника попередні експерименти виявили перспективність цього методу. Для отримання більш точних даних необхідно проводити повномасштабний експеримент.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Скоробогатов В. К., Веселов С. А. Магнитная обработка как способ повышения ресурса пильных цепей лесозаготовительных машин. *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2004. № 9. С. 42–50.
2. Хомич Н. С., Алексеев Ю. Г., Нисс В. С. Обработка поверхностей в магнитном поле: эффективность и экология. *Литье и металлургия*. 2006. № 3. С. 115–120.
3. Водин Д. В. Магнитно-импульсная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента. *Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.)*. Санкт-Петербург : Свое издательство, 2015. С. 67–70. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/126/7969/> (дата обращения: 18.11.2019).
4. Овчаренко А. Г., Козлюк А. Ю. Эффективная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента. *Обработка металлов*. 2009. № 1 (42). С. 4–7.
5. Овчаренко А. Г., Козлюк А. Ю., Курепин М. О. и др. Исследование влияния комбинированной магнитно-импульсной обработки на качество твердосплавного инструмента. *Обработка металлов*. 2011. № 3. С. 95–98.

УДК 621.794.06.538.422.24

Корчма Д. О. (ТМ-18 мн)

## ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПЛАКУВАННЯ СТРУМОПРОВІДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ УНІПОЛЯРНОГО ДВИГУНА

*У статті обґрунтовано та досліджено використання способу та методів плакування технологічних інструментів з використанням ефекту уніполярним приводу для зміцнення поверхневого шару деталі. Теоретично досліджена товщина шару, що наноситься на деталь. Досліджено вплив струму на деталі та нанесення на них нанопокриття з алюмінію, що забезпечує високу зносостійкість деталей та строки експлуатації деталі.*

*This article substantiates and investigates the use of method and methods of cladding technological tools using the unipolar actuator affect to strengthen the surface layer of the workpiece. The thickness of the layer applied to the part is theoretically investigated. Investigation of the effect of the current on the parts and their application on aluminum nanowires, which ensures high wear resistance of the parts and the service life of the parts.*

Підготовкою наукових магістрів є безпосередньо винахідницька складова.

План підготовки передбачає різноманітні дисципліни: к науково дослідницька робота, діагностика технологічних систем у виробництві, технологія функціональних та нанопокриттів та методика організації наукових досліджень. Ефективність освоєння цих дисциплін являється основним фактором винахідницької діяльності й створення нових винаходів.

У якості прикладу освоєння цих дисциплін є стаття, у котрій відображено один з винаходів.

Актуальною задачею вирішення проблеми підвищення міцності робочих поверхонь виробів є процес зміцнення на основі нанесення на робочі поверхні нанопокриття наведеним струмом [3].

Мета статті – обґрунтування способу плакування струмопровідними матеріалами з використанням ефекту уніполярного двигуна.

Метод плакування – нанесення на поверхню металевих листів, плит, дроту, труб тонкого шару ін. металу або сплаву термомеханічним способом.

Плакування є найбільш досконалим методом захисту малостійких металів сплавами або металами, що володіють підвищеною корозійною стійкістю. Для плакування застосовують метали і сплави, що володіють хорошою зварюваністю: вуглецеві і кислотостійкі сталі, дюралюміні, сплави міді. Як захисне покриття для плакування використовують алюміній, тантал, молібден, титан, нікель, неіржавіючі сталі. Товщина плакуючого шару вагається від 3 до 40 % від товщини металу, що захищається. Плакуючу сталь можна піддавати всім видам механічної обробки, у тому числі штампуванню і зварці.

Плакування використовується при виготовленні і ремонті елементів деталей, схильних до впливу агресивних середовищ (бруд, шлаків, пара) з метою економії дорогих матеріалів. Застосовується для отримання біметалу і тріметала, для створення антикорозійного шару алюмінію на аркушах, плитах, трубах з алюмінієвих сплавів, нанесення латунного покриття на листи сталі (замість електролітичного покриття) і т. д. Також використовується в ювелірній справі, наприклад, накладка у вигляді золота накладається на срібло (срібло з золотом). Плакування широко застосовується при виготовленні монет.

У корпусах ядерних реакторів використовують плакування нержавіючої аустенітної сталлю внутрішньої поверхні корпусу, тому що основний матеріал корпусу (перлітна високотемпературна сталь) схильний до корозії при високих температурах.

Металургійна промисловість випускає вуглецеву сталь у вигляді листів марок Ст. 3, 10, 15К, 20К і ін., плаковану хромистими, хромонікелевими та іншими високолегованими сталями (08X17T, 08X13, 10X17H13M2T, 15X25T, 12X18H10T і ін.) різної товщини. Відомі також сплави, плакування міддю, сріблом, алюмінієм. У електрохімічній промисловості знайшли широке вживання біанооди – плаковані електроди, основу яких складає титан або тантал, а захисний шар складається з платини, родію, іридію.

Метод плакування дозволяє економити дорогі метали або високолеговані сплави і знаходить широке вживання в промисловості.

Одним з головних напрямків використання методу плакування є створення виробів з металу з поліпшеними електротехнічними характеристиками. Плакована алюмінієм сталь має кращу в порівнянні з базовим металом провідність і здатність до пайки, зберігаючи при цьому всі свої характеристики.

В якості захисного покриття плакування застосовують при виробництві матеріалів для стінових панелей і дахів, кухонного посуду, масляних радіаторів, контактів електротехнічних приладів в машинобудуванні і багато чого іншого.

Переваги:

- висока швидкість,
- за допомогою технології можна плакувати сталі з особливими фізико-хімічними властивостями.

Недоліки:

- теоретична шкода від хвиль;
- необхідність допуску до роботи тільки висококваліфікованих спеціалістів;
- дуже велика енергоємність процесу;
- неможливість автоматизації процесу зварювання

Плакування потребує підготовки поверхонь перед нанесенням матеріалу, а також чіткої налагодки обладнання. Тому що у разі неточного настроювання всіх факторів нерівність плакування несе на собі вібраційне навантаження й починає руйнуватися.

Також пристрій буде працювати на основі уніполярного двигуна, який буде дозволяти брати ресурси майже без зайвих втрат, але цей пристрій уніполярного двигуна буде модифіковано.

Уніполярний генератор – різновид електричної машини постійного струму. Містить проводить диск, постійне магнітне поле, паралельне осі обертання диска, струмоз'ємник на осі диска і 2-й струмоз'ємник у краю диска.

Конструкцію двигуна можна змінювати і ускладнювати, наприклад, магніт може не бути струмопровідним, досить мати немагнітний диск з струмопровідного матеріалу закріплений зверху на тій же осі так, щоб він був з'єднаний з шурупом. Другий контакт (зволікання) може не торкатися металу безпосередньо, щоб уникнути механічного тертя, наприклад, кругла кришка банки з-під кави (металева або пластикова) з наливою в неї електропровідною рідиною (розчином мідного купоросу, наприклад), розташована між магнітом і шурупом забезпечить чудовий рідинний контакт практично без тертя.

У дослідженні було виявлено, що новий пристрій повинен володіти наступними характеристиками:

- енергозберігаючими властивостями;
- відсутність приводу;
- адаптивність;
- відносна простота конструкції;
- можливість нанесення будь-яких струмопровідних матеріалів.

На основі принципової схеми може бути створено гамм – розмірний ряд уніполярних інструментів зі змінними струмопровідними дисками, де диск і являє собою технологічний інструмент, котрий витрачається по мірі нанесення плакованих покриттів із різноманітних матеріалів диску.



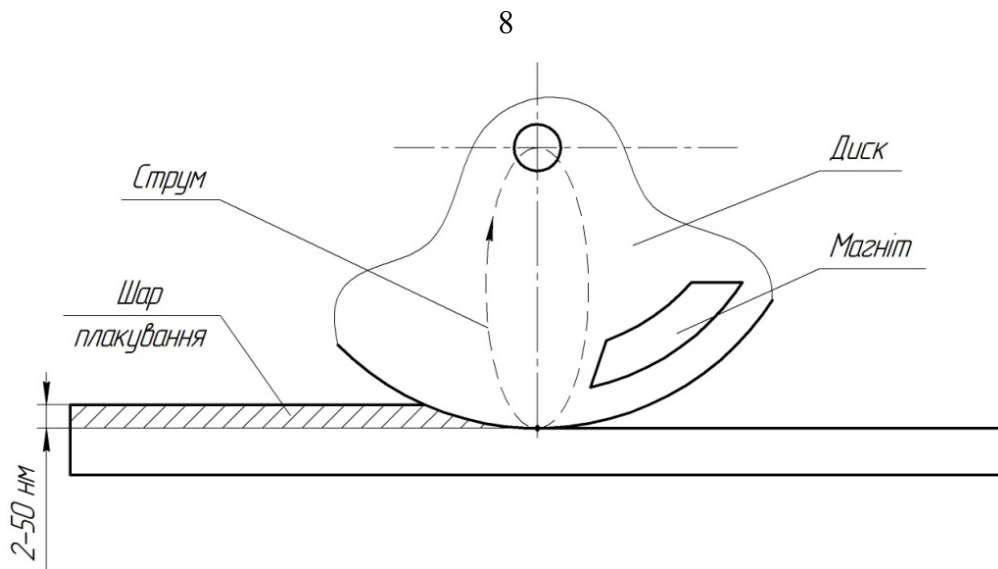


Рис. 1. Принципова схема плакування

Ці інструменти використовують енергію наведеного струму в струмопровідних дисках, контактна точка знаходиться на вході диску в зони рівномірного магнітного поля. Обертання диску в постійному магнітному полі може створювати технологічний струм для виконання плакування.

У дослідженнях було виявлено, чим вища швидкість обертання диску у магнітному полі, тим покриття стає більш стабільним й максимально рівномірним з урахуванням часу обробки та частоти обертання.

Перевагою розглянутого методу є нанесення найтонших шарів нанопокриття від 2 до 50 нм.

Сила струму, яка використовується таким способом плакування, 3–5 А, однак щільність струму у точці контакту в десятки або сотні разів перевищує це значення.

## ВИСНОВКИ

В результаті застосування енергії наведених струмів в струмопровідному інструменті з'являється можливість розширити технологічні можливості операцій виготовлення відповідальних деталей, які володіють підвищеними експлуатаційними властивостями.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалевский С. В., Стародубцев И. Н. Исследование механизмов формирования упорядоченности рабочих поверхностей деталей машин. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2012. № 2 (27). С. 43–47.
2. Степанова Т. Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-техн. ун-т, 2009. 64 с.
3. Михайлюк А. И., Житару Р. П. Особенности механизма пластической деформации электроискровых покрытий и пути повышения их прочностных характеристик при трении. *Електронная обработка материалов*. 2008. № 3 (54). С. 49–56.
4. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. Москва: Машиностроение, 1989. 200 с.
5. Надольский В. О., Дудкина Н. Г., Яковлев С. А., Наумичев С. Б., Павлов А. В. Технологии электромеханической обработки и её новые варианты. *Материалы междунар. конф. "Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций"*. Санкт-Петербург : СПбГУ, 2007.

*Стаття надійшла до редакції 03.12.2019 р.*

УДК 621.793.06:539.422.24

Ларіонов М. О. (ТМ-18мн)

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОАМПЛІТУДНО-ВІБРАЦІЙНОГО ВИГЛАДЖУВАЧА

*У статті представлено теоретичне обґрунтування нового методу зміцнення робочих поверхонь виробів при зміцнювальній обробці з використанням електромагнітного вигладжувача, спрямованих на підвищення стійкості та поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Обґрунтовано переваги застосування обробки поверхонь змінюючи дислокацію частин поверхневого шару, завдяки чому утворюється наночастинка. Викладені в статті підходи сприяють підвищити час використання, та підвищити міцність робочих поверхонь деталей, сприяючи збільшенню виробництва, зменшення затрат часу на ремонт та експлуатацію оброблених та зміцнених деталей.*

*The article presents the theoretical substantiation of a new method of hardening the working surfaces of products in a hardening treatment using an electromagnetic smoother, aimed at increasing the stability and improving their performance properties. The advantages of surface treatment by changing the dislocation of parts of the surface layer are substantiated, thus forming a nanolayer. The approaches presented in the article help to increase the time of use, and to increase the strength of the work surfaces of parts, contributing to the increase of production, reducing the time spent on repair and operation of machined and strengthened parts.*

Термін «нанослой» є збірним і використовується для позначення великої групи протяжних двовимірних і квазідвумірних нанооб'єктів різної фізико-хімічної природи, від мембран ліпосом і клітин до графена і чеськ УЄК шаруватих подвійних гідроксидів. Нанослой в мікроелектроніці зазвичай являє собою суцільну плівку завтовшки від одиниць до декількох десятків нанометрів, що отримується методами електронно-променевого та лазерного випаровування, магнетронного напилення, молекулярно-променевої епітаксії. Наявність суцільного нанометрового шару, що розділяє шари феромагнетиту істотно більшої товщини, принципово важливо для реалізації ефектів тунельного і гігантського магнітоопору [1–3].

Освіта нанорозмірних моношарів є ключовим елементом технології синтезу наноструктур методом молекулярного нашарування, в основі якого лежить хімічну взаємодію функціональних груп на поверхні матеріалу-підкладки парами підводяться з зовні активних реагентів з утворенням стійкої плівки (наночастинами) продуктів реакції. Для здійснення шарового нанесення необхідно, щоб утворюється продукт також містив активні атоми або функціональні групи, здатні реагувати з напругою, що підводиться реагентом з утворенням необхідного з'єднання. Метод дозволяє створювати багатошарові нанопокриття на поверхнях складної форми і окремих частинках [4–6].

Метою роботи є розробка інструмента та утворення наночастинок на робочих поверхнях деталей машин, щоб призвести до підвищення як продуктивності обробки, так і їх якості, яка забезпечує довгу та якісну експлуатацію деталей машин.

Метод молекулярного нашарування має багато спільного з синтезом само збирається моношарів (self-assembled monolayer, SAM), в якому хемосорбція компонентів на поверхні твердої фази супроводжується їх само організацією, яка через деякий час призводить до утворення кристалічної упорядкованих структур адсорбата на поверхні.

Споріднені з ними наночастинами амфільних компонентів, що формуються за методом Ленгмюра-Блоджетт на поверхні рідин з подальшим перенесенням на тверду поверхню, відізняються від само збирається моношарів менш міцним зв'язуванням наночастинами з поверхнею підкладки, зазвичай заснованому на фізичній адсорбції. Використовуючи функціоналізованих наночастинок, можна створювати з них багато шарові структури і без участі підкладки.

Так, наприклад, створивши моношар наночастинок золота на кордоні розділу води і толуолу, можна з одного боку приєднати до нього шар гідрофільних часток телуриду кадмію, а з іншого – моношар гідрофобізованих наночастинок срібла [7–9].

Розглянемо теоретичні підходи до формування наноструктурного стану матеріалу поверхневого шару. Вигладжування являє собою метод обробно-зміцнюючої обробки деталей поверхневим зміщенням дислокації зерен. Завдяки генератору резонансних частот який приєднаний до інструмента утворюється електромагнітне поле, завдяки електромагнітному полю інструмент вібрає, а індентор резонує та оброблює поверхню коловими рухами поверхневі шари деталі, а також змішуванням поверхневого шару деталі й утворення середнього шару, який називається наношар.

Наноструктурні вигладжування сферичним індентором керуються п'ятьма технологічними параметрами: силою вигладжування, подачею, швидкістю ковзання, радіусом і кількістю робочих ходів інструмента, також швидкістю обертів індентора. Вплив технологічних параметрів на навантаження поверхневого шару узагальнено інтегральними параметрами: контактним тиском, шару тертя і кратністю навантаження елементарних обсягів деформованого матеріалу визначається як відношення довжини зони контакту до величини подачі індентора інструменту [4, 8].

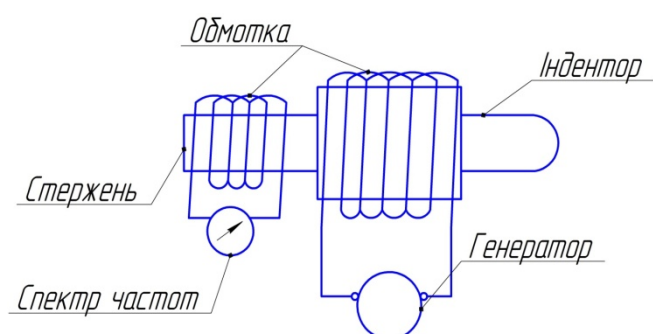


Рис. 1. Схема розташування елементів інструменту

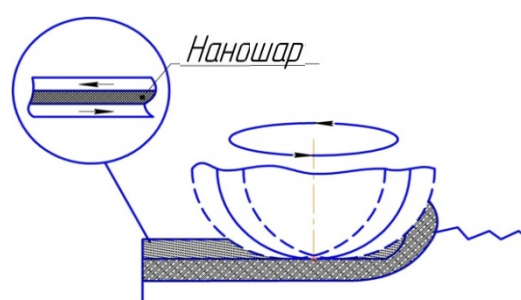


Рис. 2. Схема утворення наношару

## ВИСНОВКИ

Представлено в роботі пристрій, який дозволяє оброблювати поверхневий шар деталей машин, утворюючи наношар. Наношар дає змогу підвищення як продуктивності обробки, так і їх якості, яка забезпечує довгу та якісну експлуатацію деталей машин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Губанов В. Ф. Вигладжування: якість, технології та інструменти : монографія. Москва : Видавничий дім Академії природознавства, 2013. 70 с.
2. Губанов В. Ф. Модернізована технологія обробно-зміцнюючої обробки вигладжуванням. *Автоматизація та сучасні технології*. 2012. № 2. С. 10–12.
3. Толстой В. П. Реакции ионного наслаивания. Применение в нанотехнологии. *Успехи химии*. 2006. Т. 75, № 2. С. 183–199.
4. Gandhi D. D., Lane M., Zhou Yu et al. Annealing-induced interfacial toughening using a molecular nanolayer. *Nature*. 2007. Vol. 447. P. 299–302.
5. Малыгин А. А. Химическая сборка твердых тел методом молекулярного наслаивания. *Соросовский образовательный журнал*. 1998. № 7. С. 58–64.
6. Wang Bo et al. Stepwise interfacial self-assembly of nanoparticles via specific DNA pairing. *Chem. Phys*. 2007. Vol. 9. P. 6313.
7. Урусовская А. А. [и др.]. Эффекты магнитного воздействия на механические свойства и реальную структуру немагнитных кристаллов. *Кристаллография*. 2003. № 5. С. 855–872.
8. Альшиц В. И. [и др.]. Магнітопластинчатий ефект: основні властивості та фізичні механізми. *Кристаллография*. 2003. № 5. С. 826–854.
9. Гольдштейн Л. Д., Зерно Н. В. Электромагнитные поля и волны. Москва: Радянськерадіо, 1971. 664 с.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2019 р.

УДК 621-128

Хо́да Я. А. (ТМ-18-1мн)

## ДІАГНОСТИКА НАДІЙНОСТІ ЗАТИСКАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ МАЛОЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

*Розглядається метод контролю кріплення за рахунок визначення геометричної форми профілю мікронерівностей, завдяки чому можна збільшити точність позиціонування.*

*The method of control of fastening by determining the geometric shape of the profile of micro-irregularities is considered, which makes it possible to increase the positioning accuracy.*

Незважаючи на велику різноманітність і кількість методів контролю закріплення пристосувань на обладнанні спостерігається різна ступень зношення поверхні сполучення як обладнання, так і самого пристосування. Це свідчить про те, що хоч як би не відбувався контроль і за яким методом не здійснювався – стабільність закріплення і знос неминучий.

Існує велика різноманітність пристосувань. Всі вони призначені для різних видів робіт при різних умовах. Виходячи з цього можна точно сказати, що всі вони будуть відрізнятися за хімічним складом і структурою з сполучаються тілами. Тобто одні будуть твердіше інших і навпаки.

Розробка теми дослідження включає обсяг робіт, аналіз яких показав, що існують ознаки ідеї в роботах [1–8].

Головна перевага в тому, що не відбувається руйнування контролю на всіх етапах механічного процесу, що впливає на надійність закріплення особливо у змінюючихся умовах.

У багаторазовому збільшенні видно, що, як і притаманне будь-якому тілу, на поверхні є мікро нерівності, які мають свій довільний профіль (рис. 1).

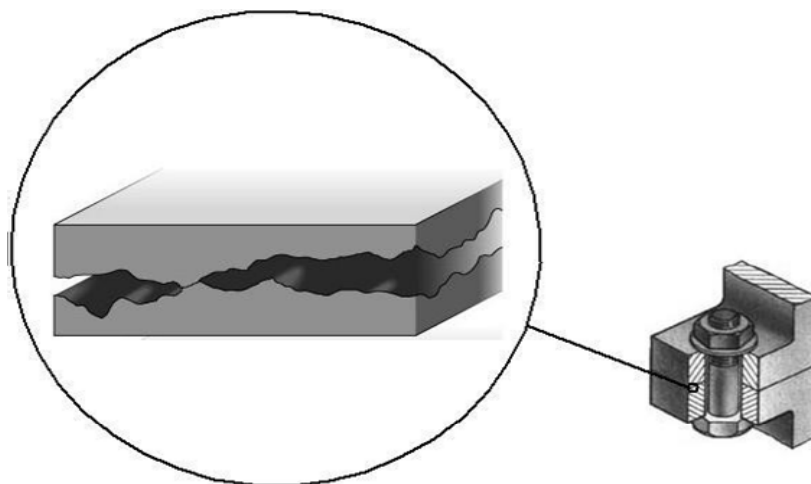


Рис. 1. Мікронерівності

Коли поверхні різних тіл стикаються, то відбувається накладення мікронервностей. В дію вступають сили, такі як: сила тертя, сила опору, сила стискання, що більш наглядно зображено на рис. 2. Ці сили можуть дуже сильно і по-різному впливати на місця контакту. Опіраючись на вище наведені матеріали дослідження, маємо висновок, що саме завдяки діагностики є можливість контролювати стан вершин гребенів мікронервностей, як показано на рис. 3. Існує сила стискаюча та змінююча. Якщо  $P$  невелика, то і  $F$  теж буде не велика та через мікронервності вона не дорівнює 0.

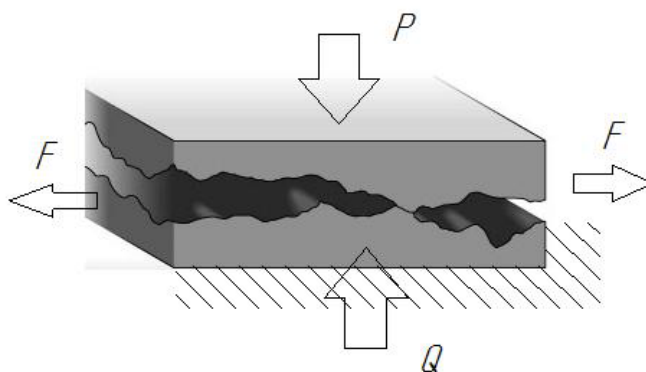
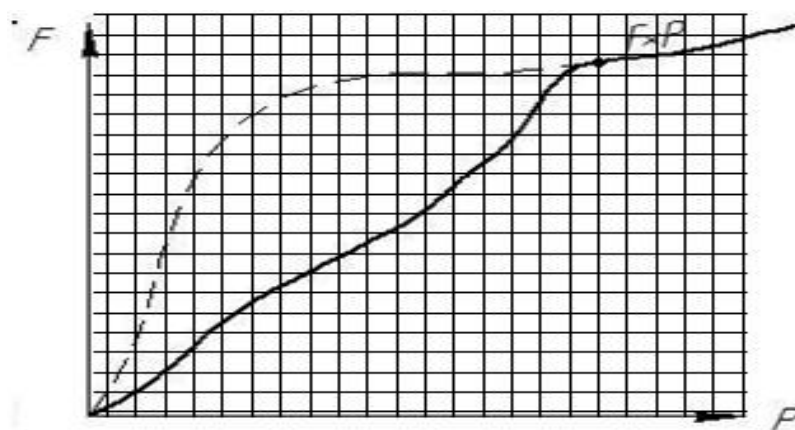


Рис. 2. Сили впливу на контакт мікронерівностей

Рис. 3. Залежність  $F$  від  $P$ 

Ділянка між основною лінією та пунктирною це ділянка невизначеності.

Ділянка невизначеності характеризується якістю обробки поверхні та вносить невизначеність у якість закріплення. Це все дуже важливо для виробів, які мають тонку оболонку, і для деталей з малою жорсткістю.

В ідеалі мікронерівності повинні спрягатись по профілю і повторювати один одного, але цього досягти неможливо. Тому невизначеність залежить від того, як щільно притискаються поверхні мікронерівностей, якщо щільніше притискається, тим краще проходить звук, а також зменшується ризик на розсіювання звуку.

Методика діагностики. Контакт по різному проводить, по різному розсіює при передачі сигналу з однієї частини в іншу, з'являється спектр. Та раз з'являється спектр, то ми можемо судити о якості закріплення. Якщо поганий стик, то існує розсіювання, яке характеризується дисперсією (рис. 4).

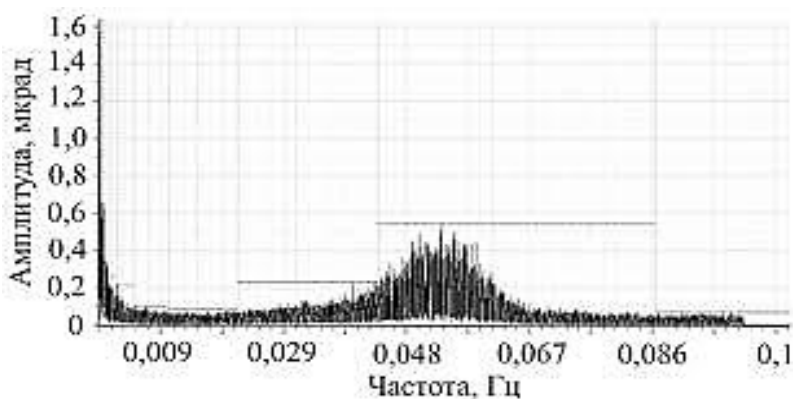


Рис. 4. Дисперсія

Розраховується за формулою:

$$D_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

Де  $X$  – Відхил;  $n$  – кількість

Із цього слідує, що середнє значення дисперсії – це мірила закріплення, а саме той невизначеності, яка була показана вище. Та також можемо діагностувати, як оброблена поверхня, з якою якістю і т. д.

Діагностика частоти спектру пропускної здібності контактної поверхні затискання дозволяє діагностувати надійність закріплення.

Експериментальна схема буде виглядати таким чином, рис. 5.

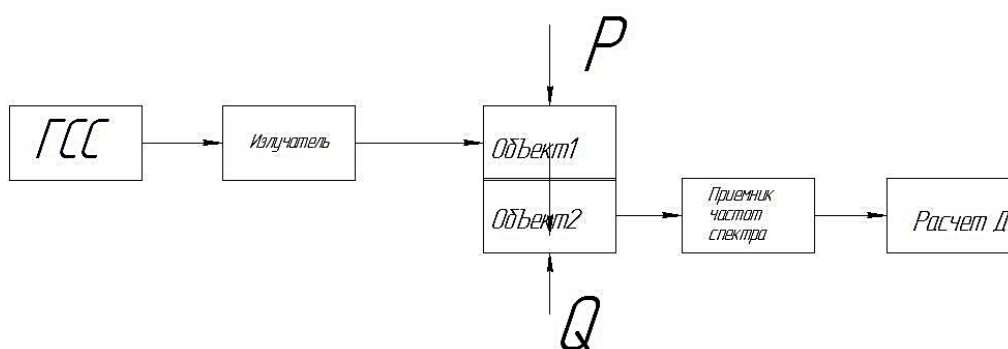


Рис. 5. Схема експериментальної установки

Від генератора стандартного сигналу, який передає сигнал на випромінювач (п'єзоелемент). Випромінювач прикріплений до об'єкту 1 та приймач до об'єкту 2. Після приймача сигнал передається на розрахунок дисперсії частоти спектру.

## ВИСНОВКИ

Розроблено метод контролю кріплення елементів, шляхом діагностування поверхні мікронерівностей. В результаті цього досягається точність позиціонування оснащення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулик Р. Ю. Акустическая диагностика качества сборки многоболтовых соединений. *Студентський Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. Краматорськ: ДДМА, 2016.
2. Ковалевський С. В., Ковалевська О. С., Євсюков Є. Ю., Кошовий А. О. Нейросетевое прогнозирование стойкости упрочненных режущих пластин. *Нейромережні технології та їх застосування: збірник наукових праць всеукраїнської науково-технологічної конференції з міжнародною участю*. Краматорськ: ДГМА, 2017. С. 56.
3. Ковалевський С. В., Кулик Р. Ю. Застосування нейромережевого моделювання для діагностики якості складання виробів машинобудування. *Нейромережні технології та їх застосування: збірник наукових праць всеукраїнської науково-технологічної конференції з міжнародною участю* – Краматорськ: ДДМА, 2016.
4. Назолін А. Л. Оцінка можливості виявлення дефектів статора турбогенератора по спектру віброакустичного сигналу. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. Том 83, № 4.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2019 р.

УДК 621.81: 621.791

Пустовіт Р. М., Сичков А. В. (ЗВ-18-1м)

## ВПЛИВ ПОЗДОВЖНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОЗПЛАВЛЕННЯ ДРОТУ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

*У статті розглянуті питання впливу подовжнього магнітного поля при дуговому зварюванні під флюсом на розподіл компонент індукції цього поля і на продуктивність розплавлення дроту. Досліджені магнітні характеристики зварювального дроту і основного металу.*

*In the article the questions of influence of a longitudinal magnetic field at arc welding under flux on distribution of components of induction of this field and on productivity of melting of a wire are considered. The magnetic characteristics of welding wire and base metal have been studied.*

Застосування керуючого подовжнього магнітного поля (ПВМП) і поперечного магнітного поля (помпи) при електродуговій наплавці і зварюванні дротом під флюсом забезпечує ряд технологічних переваг, короткий огляд яких наведено в роботах [1, 2]. Застосування ПВМП і помпу при дуговому наплавці і зварюванні дротом під флюсом дозволяє збільшити коефіцієнт розплавлення дроту, управляти глибиною і площею зони проплавлення основного металу, подрібнювати структурні складові наплавленого металу (шва) [1–5].

Продуктивність процесу дугового наплавці і зварювання під флюсом визначається інтенсифікуванням процесу розплавлення дроту.

Застосування керуючих комбінованих магнітних полів при дуговому зварюванні відображено в роботах [6, 7].

При зварюванні сталей і сплавів, які є феромагнетиками, а також в разі, коли електрод (зварювальний, наплавочний дріт), є також феромагнетиками, магнітне поле в зоні зварювання значно спотворюється [1]. При зварюванні таврових з'єднань з таких матеріалів відбувається шунтування магнітного поля феромагнітними пластинами таврового з'єднання, послаблюючи подовжню компоненту індукції ПВМП в корені шва тавра в 2 рази в порівнянні з випадком зварювання стикових з'єднань таких же матеріалів [3], що ускладнює використання сприятливого впливу ПВМП на формування швів при зварюванні таврових з'єднань.

Метою роботи є визначити можливість використання ПВМП для управління формуванням шва таврових з'єднань з листових конструкцій феромагнітних сталей.

Розподіл індукції ПВМП в зоні сполучення пластин визначено експериментальним шляхом. Використовувався соленоїд з зовнішнім діаметром сердечника  $d_n = 50$  мм і діаметром внутрішнього отвору в ньому –  $d_{вн} = 12$  мм.

Число витків в одношаровій обмотці з мідного дроту діаметром 2,0 мм становило  $W = 20$ . За обмотці пропускали струм величиною  $I = 42$  А. Через отвір в осерді уздовж осі  $Z$  мали електродний дріт Св-08А діаметром  $d_e = 5$  мм (феромагнетик). Вимірювання індукції в досліджуваних точках виконані Мілітесламетри з датчиком Холла з вимірювальною базою  $4 \times 4$  мм. Тавр розміщували в позиції для зварювання «у човник». Виміряні компоненти індукції  $B_z$  і  $B_x$  уздовж електрода (уздовж осі  $OZ$ ), а вздовж поверхні пластин тавра – компоненти індукції  $B_z$  і  $B_n$ .

Зіставлення розподілів індукції  $B_x$  і  $B_z$  уздовж осі  $OZ$  (рис. 1) у поверхні електрода при наявності феромагнітного виробу у вигляді пластини товщиною 20 мм зі сталі 09Г2С (криві 1) та у вигляді тавра з цього ж матеріалу (криві 2) показало, що для таврового з'єднання компонента індукції  $B_x$  (горизонтальна) значно більше, а компонента  $B_z$  (вертикальна) – менше.

Це свідчить про те, що, незважаючи на можливе шунтування магнітного поля в зоні, де відстань від пластин тавра до феромагнітного сердечника соленоїда мінімально, компонента індукції  $B_x$  не зменшується в порівнянні з випадком, коли під електродом перебувала пластина.

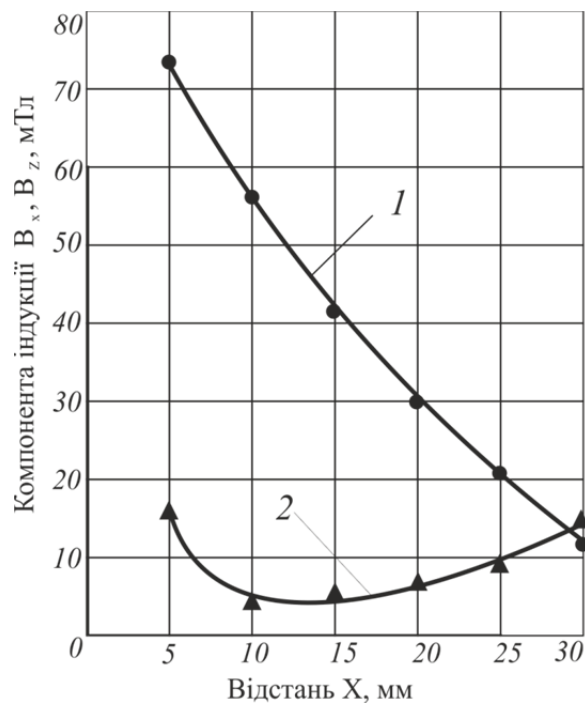


Рис. 1. Розподіл компонент індукції  $B_x$  і  $B_z$  у поверхні електрода уздовж осі  $OZ$ :  
1 –  $B_x$ ; 2 –  $B_z$

Для тавра  $B_x$  максимальна біля поверхні електрода, а  $B_z$  незначно збільшується в напрямку  $X$ , зростаючи в області  $X = 20 \dots 25$  мм (що пов'язано з мінімальною відстанню пластин тавра від поверхні соленоїда) (рис. 2).

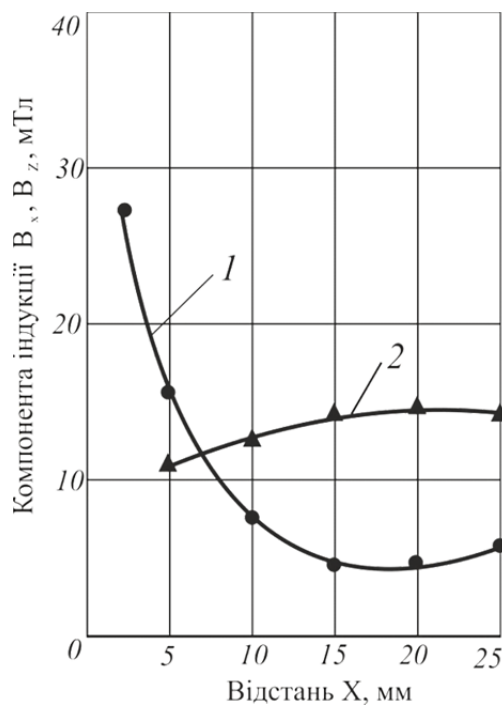


Рис. 2. Розподіл компонент індукції  $B_x$  і  $B_z$  уздовж осі  $OX$  в перетині  $Z = 20$  мм:  
1 –  $B_x$ ; 2 –  $B_z$



При зварюванні таврових з'єднань дротом Св-08А під флюсом АН-348А пластин (товщина 20 мм) без впливу і з впливом ПВМП і сила, що намагнічує котушки 3000 ампер витків (виміряна повздовжня компонента індукції ПВМП у виробі п електродом – 50 мТл) продуктивність розплавлення дроту вище з впливом ПВМП (рис. 3).

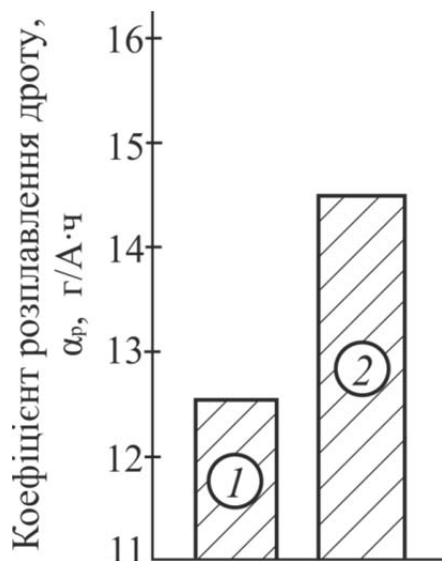


Рис. 3. Коефіцієнт розплавлення електродного металу  $\alpha_p$  при зварюванні під флюсом: 1 – без впливу магнітного поля; 2 – з впливом ПРМП

Магнітні характеристики ферромагнітного дроту, сердечника соленоїда і виробу залежать від хімічного складу сплавів на основі заліза, мікроструктури і розмірів зерна і вони не є лінійними. Магнітні характеристики зварювального (наплавочного) дроту впливають на продуктивність процесу його розплавлення.

Криві індукції  $B$  (Н) отримували за допомогою відомого методу вольтметра і амперметра [8].

Для визначення магнітних властивостей наплавлювальних дротів і основного металу використовувалася вдосконалена методика вольтметра і амперметра, описана вище.

Для дослідження були виконані тороїди з дроту Св-08Г2С. Було виготовлено також тороїди з пластин з сталей Ст. 3 і 09Г2С.

Наведені на рис. 3., а, б дані показують, що для ферромагнітного дроту суцільного перерізу в області значень до  $Hm = 5000$  А/м величини  $Bm$  і  $\mu$  максимальні для дроту Св-08Г2С, а мінімальна – для сталі Ст. 3. Ці дані про вплив легуючих елементів на магнітні властивості матеріалів [8] знаходяться у відповідності з відомими даними [8]. Зразки з листової сталі мають більш низькі магнітні властивості (криві 2 і 3 на рис. 4), ніж досліджений дріт.

Це пов'язано з тим, що в сталі після прокатки значно деформована її кристалічна решітка [8]. При приблизно однаковому хімічному складу дроту Св-08Г2С і пластини зі сталі 09Г2С остання, внаслідок зазначених причин, має більш низькі значення індукції  $Bm$  і  $\mu$  (при рівних значеннях  $Hm$ ). Характерно також те, що в зразках (навіть при значній напруженості поля  $Hm = 12000$  А/м) не досягнуто стан магнітного насичення.

У реальному процесі наплавлення виліт електрода нагрівається до значних температур (до 600 ... 700 °С), для дротів і звичайних значеннях вильотів і струмів зварювання, необхідно досліджувати залежності  $Bm$  ( $Hm$ ) для зазначених матеріалів в діапазоні температур  $T = 20$  ... 700 °С.

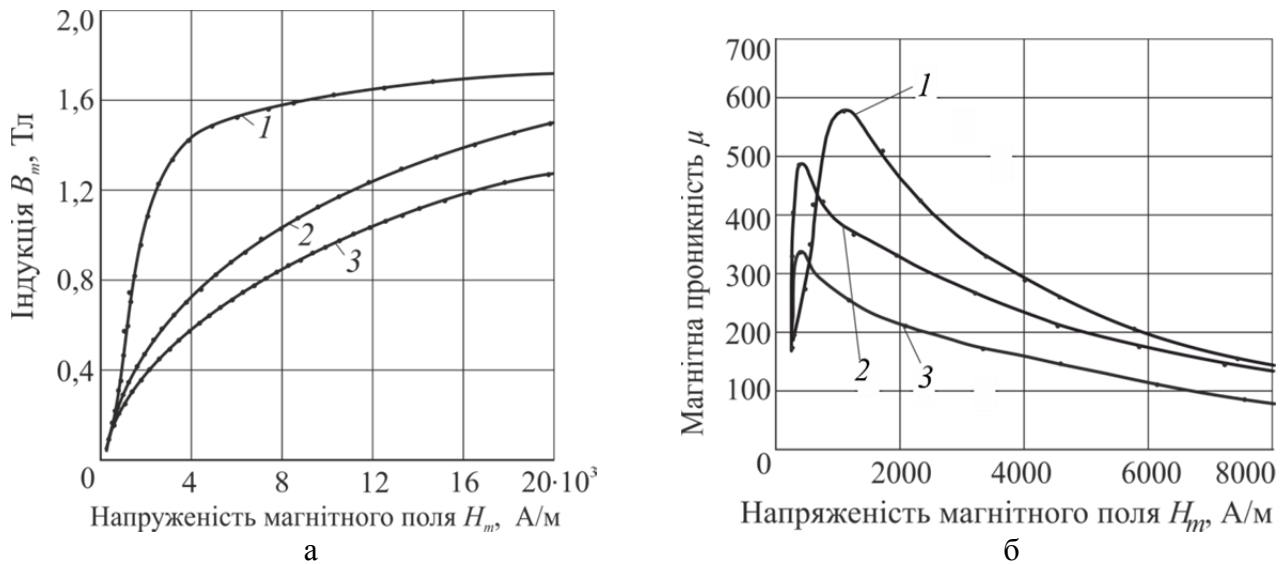


Рис. 4. Криві намагнічування для досліджених матеріалів (а) і залежність  $\mu(H)$  (б) при частоті намагнічування  $f = 50$  Гц:

1 – Св-08Г2С; 2 – 09Г2С; 3 – Ст. 3

### ВИСНОВКИ

Продуктивність розплавлення дроту при дугового зварювання під флюсом таврових з'єднань вище з впливом ПВМП на 15 %. Для феромагнітної дроту суцільного перерізу в області значень до  $H_m = 5000$  А / м величини  $B_m$  і  $\mu$  максимальні для дроту Св-08Г2С, а мінімальна – для стали Ст. 3, що пов'язано з тим, що в стали після прокатки значно деформована її кристалічна решітка .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Размышляев А. Д., Миронова М. В. Магнітне управління формуванням валиків і швів при дугового наплавленні і зварюванні: монографія. Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2009. 242 с.
2. Размышляев А. Д., Видмиш П. А., Агеева М. В. Автоматичне електродуговое зварювання під флюсом з впливом зовнішнього магнітного поля: монографія. Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2017. 209 с.
3. Razmyshlyayev A. D., Mironova M. V. Efficiency of the process of penetration of the parent metal in submerged-arc surfacing. *Welding International*. 2012. Vol. 26, № 11. P. 862–866.
4. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Chernykh A. V. Special features of melting electrode metal when welding in an external longitudinal magnetic field. *Welding International*. 1992. Vol. 6, № 10. P. 812–814.
5. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Martynenko A. I. Examination of the effect of the alternating axial magnetic field on the process of melting of electrode wire. *Welding International*. 2009. Vol. 23. № 3. P. 223–224.
6. Рижов Р. М. Застосування комбінованих електромагнітних впливів для поліпшення якості швів при зварюванні неплавким електродом. *Автоматичне зварювання*. 2005. № 7. С. 59–61.
7. Рижов Р. М., Кузнецов В. Д. Магнітне керування якістю зварних з'єднань. Київ: Екотехнологія, 2010. 284 с.
8. Преображенський А. А., Бішард Є. Г. Магнітні матеріали і елементи. Москва: Вища школа, 1986. 352 с.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2019 р.

## РОЗДІЛ 2

## М Е Т А Л У Р Г І Я



---

УДК 621.982: 669.295

Стегостенко О. М., Семенова В. Б. (ОТП-18м)

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХПРОЦЕСУ КУВАННЯ  
ПОКОВКИ «ДНИЩЕ»

*У статті проведений аналіз технологічних процесів, оснащення, методів розрахунків і якості заготовок для виробництва крупних поковок та аналіз літературних джерел щодо пріоритетних напрямків виготовлення великогабаритних днищ. Розроблена методика й спроектоване оснащення для реалізації нового технологічного процесу, а також рекомендації з розробки нового пустотілого злитка.*

*The article analyzes the technological processes, equipment, methods of calculations and the quality of workpieces for the production of large forgings and the analysis of literary sources on the priority areas of manufacturing large bottoms. Methods and equipment for the implementation of the new technological process, as well as recommendations for the development of a new hollow ingot, have been developed.*

Метою роботи є висвітлення основних проблем при виготовленні заготовок великогабаритних днищ атомних реакторів, пропозиція їх вирішення за допомогою теоретичних і експериментальних досліджень, порівняння отриманих результатів, а також економічне обґрунтування нової технології виготовлення подібних поковок.

В останні роки кількість крупних поковок відповідального призначення зростає, що пов'язано зі збільшенням потужностей та кількості енергетичних установок та важких машин. Серед виробів заводів важкого та енергетичного машинобудування значну кількість представляють обичайки та днища. Такі поковки відносяться до відповідальних і до них висувуються високі вимоги за ізотропністю механічних властивостей, внутрішньої структури та ін. Технологічні процеси кування таких поковок передбачають застосування операції розкочування.

У зв'язку зі збільшенням потужності енергетичної промисловості удосконалюються технології виробництва елементів реакторів, а саме корпусів реакторних блоків, які складаються з днищ змінюваної товщини. Зростають вимоги щодо якості отримуваних виробів, а разом з цим і якості злитків, з яких вони куються. Що стосується таких кованих деталей, як великогабаритні днищ або обичайки для судин під тиском, то для їх виготовлення відливаються унікальні злитки масою від 100 до 400 т. Найбільші з відлитих для кування обичайок злитки мали вагу понад 600 т [1].

Ковані корпуси можуть бути виготовлені як зі звичайних злитків з застосуванням технологічної операції прошивання, так і з пустотілих [2, 3]. Через необхідність осаджування та прошивання звичайного злитка необхідна більша кількість матеріальних та енергетичних ресурсів, що є достатньо неефективним методом виробництва таких деталей. Для зниження витрат металу та ваги злитків, які йдуть на виготовлення кільцевих поковок, був розроблений пустотілий злиток, завдяки якому значно спрощується послідовність кування та зменшується кількість нагрівань [4].

Основним завданням розвитку машинобудування є висування його на принципово нові ресурсозаощаджувальні технології, які забезпечують підвищення продуктивності праці, економію матеріальних і енергетичних ресурсів. В значній мірі вирішення цих завдань сприяє впровадженню в промисловість прогресивних технологій кування пустотілих поковок [5].

Критеріями оптимальності в даному випадку служать висока якість і прийнятна собівартість деталей відповідального призначення.

Аналіз технологічних процесів виготовлення великих поковок обробкою тиском дозволив встановити, що 80...90 % всіх технологічних процесів кування припускають застосування енергомісткої операції осаджування. Цю операцію призначають для збільшення площі поперечного перерізу заготовки та можливості отримання необхідних розмірів деталей. Оптимізація технологічних процесів виготовлення великих заготовок полягає у виключенні або в заміні неефективних енергомістких операцій такими, які не призводять до збільшення витрат, і водночас гарантують отримання заданої якості [6]. Виключити операцію осадження можна застосовуючи пустотілі злитки. Через те що пустотілий злиток не потрібно осаджувати та прошивати, ці операції виключаються, не потрібне енергомістке та тривале нагрівання злитка. Це значно заощаджує енергоресурси, скорочує загальний цикл виготовлення виробів і знижує нормо-години та в цілому сприяє зниженню собівартості виробу та підвищенню конкурентоспроможності продукції. Використання пустотілих злитків замість звичайних злитків має також безпосередній вплив на продуктивність виробництва:

- термін виготовлення скорочується до 3-х разів через меншу кількість операцій кування при отриманні великогабаритних корпусів в порівнянні з виготовленням зі звичайних злитків, які потребують більшої кількості довгих нагрівань для осаджування та прошивання;
- підвищується вихід придатного металу (внаслідок наявності отвору на початковій стадії кування знижується вага злитка на 35 %);
- покращуються екологічні переваги та зменшуються енергетичні витрати (скорочення викидів CO<sub>2</sub> газу до 50 % у зв'язку зі зменшенням операцій кування і зниженням ваги) [7].

З ростом потужностей енергетичних установок виникає потреба у виробництві великогабаритних кувань високої якості, які повинні відповідати таким характеристикам, як безпека й надійність. Одна з основних завдань конструкторів – удосконалювання експлуатаційних характеристик і технічного обслуговування реакторних блоків. Також необхідно знижувати загальну вартість виготовлення й продовжити експлуатацію атомного реактора. У даній роботі розглядаються існуючі технології виробництва днищ, зокрема куванням і штампуванням, а також аспекти розвитку енергетичних установок.

О. Е. Марков і співавтори запропонували новий спосіб кування великих днищ, який полягає у використанні операції білетування, опади, не повному прошиванню заготовки, протягання й остаточної роздачі конусної й сферичної плити, у якому протягання заготовки проводиться на конусну східчасту форму з різною товщиною стінки вирізними бойками без оправлення, а роздача здійснюється на нижній увігнутій сферичній плиті з осьовим отвором [8].

Є. Л. Мельников зі співавторами розробили спосіб штампування сферичних, еліптичних і інших куполоподібних днищ [9], у якому з метою підвищення продуктивності праці, на першому переході одночасно зі штампуванням центральної частини днища на вільних ділянках заготовки штамнують концентричні кільцеві ребра жорсткості із кривизною в поперечному перерізі заготовки, що зменшується від периметра, до центру. Потім переміщенням пуансона в напрямку матриці роблять штампування другого переходу. Даний спосіб дозволяє збільшити продуктивність, знизити силу штампування, однак необхідність притиску заготовки обмежує його застосування.

Аналіз досвіду виготовлення великогабаритних деталей відповідального призначення, дозволив виявити переваги й обмеження існуючих способів. Використання даних способів дозволяє зменшити повний цикл виготовлення продукції, крім зварювальних і знижуючи механообробні операції. У той же час підвищуються показники якості одержуваних виробів відповідального призначення. Наведені способи вже успішно зарекомендували себе на виробництві, але усе ще потребують подальшого вивчення й розвитку. У літературі мало інформації про кування обичайок зі значною різницею поперечного перерізу (ступінчасті обичайки). Виробництво подібних поковок з фланцем часто відбувається на машинах або автоматах для кільцевого розкочування [10, 11]. Виготовлення поковок з буртом супроводжується дефектами на торці уступу або на внутрішній поверхні з боку виступу [12]. Тому отримання куванням поковок типу обичайка зі значною різницею поперечного перерізу, які найбільш наближені за формою до заданої деталі, є актуальною проблемою для сучасного виробництва.

Встановлено, що існує велика кількість способів розкочування поковок профільованим інструментом, які забезпечують раціональне використання металу та кращу структуру металу. Однак ці способи мало вивчені, для них відсутні рекомендації щодо режимів деформування, параметрів заготовки для розкочування, прогнозування кінцевих розмірів та геометрії інструменту.

Огляд літературних джерел дозволив встановити, що відсутні рекомендації щодо геометрії інструменту. В цьому випадку важливою є інформація щодо профілю робочої частини, перепадів між робочими поверхнями, кутів їх нахилу, можливості уникнення дефектів при використанні зазначеного інструменту.

## МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КУВАННЯ ДНИЩ

Розвиток наукових основ покращення якості та зниження витрат під час виготовлення крупних поковок і у такий спосіб підвищення конкурентоспроможності підприємств, що виготовляють деталі відповідального призначення, вимагає проведення спеціальних теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на розробку нових та удосконалення наявних технологічних процесів кування, ковальського оснащення та заготовок. Це вимагає застосування інтегрованого підходу, який враховує складний ланцюг всієї технологічної послідовності від виготовлення злитків до подальшого їх кування та механообробки. Розробка нових технологічних процесів кування крупних поковок з одночасним підвищенням їх якості вимагає розробки нових схем деформування, виготовлення та застосування нового ковальського оснащення та інструменту. Ефективним методом дослідження, в цьому випадку, є використання сучасних методів моделювання НДС, які характеризуються високою точністю одержуваних результатів.

Пріоритетним напрямком розвитку вітчизняного промислового комплексу є розробка енергоощадних технологічних процесів виготовлення виробів відповідального призначення для енергетичного машинобудування, що пов'язано із впровадженням нових наукомістких технологій, які сприяють підвищенню якості продукції внаслідок використання нових способів деформування з інтенсивними пластичними деформаціями (ІПД) в тілі заготовки. На сьогодні на підприємствах енергетичного машинобудування України не вистачає досліджень та науково обґрунтованих рішень з розробки сучасних технологічних процесів кування

поковок, які призначені для виготовлення деталей відповідального призначення. Продукція, яка на сьогодні виготовляється на вітчизняних підприємствах, не завжди відповідає Європейському стандарту SEP 1921 з УЗК. Тому підприємства важкого машинобудування вимушені виготовляти продукцію переважно для внутрішнього ринку.

Реактори повинні відповідати таким характеристикам як безпека та надійність. Одна з основних задач конструкторів – удосконалення експлуатаційних характеристик та технічного обслуговування корпусів реакторних блоків. Для цього інженерами-технологами розробляються нові технологічні процеси термомеханічної обробки. До того ж необхідно знижувати загальну вартість виготовлення та збільшити термін експлуатації реактора. Все це потребує додаткових досліджень формозміни та механічних властивостей.

На сьогодні більшість елементів реакторного блоку зі змінюваним поперечним перерізом поєднуються шляхом зварювання окремих елементів. Це ускладнює та збільшує час виготовлення, знижує експлуатаційні характеристики елементів і, як наслідок, конструкції в цілому. Ці операції можуть бути усунені шляхом кування поковок, які поєднували б в собі кілька деталей. В більшості випадків складний профіль деталі накривається напуском. При подальшій обробці відбуваються втрати металу, значний об'єм яких видаляється механічно, через що значна його кількість потрапляє у відходи. Крім відходів збільшується час виробництва та кількість енергетичних ресурсів, які йдуть на обробку виробу. В результаті відбувається збільшення собівартості виготовлення поковок, які мають складний профіль.

Промисловий процес виготовлення таких деталей є дуже складним. Він включає виплавку сталі, розливання її у злитки, потрібної форми, маси та розміру, подальше їх кування, їх термічну та механічну обробку. На сьогодні вже розроблена достатня кількість матеріалів та ще розробляється багато нових матеріалів, з яких виробляють деталі для реакторів. Однак технології обробки цих матеріалів, а саме технології кування, які передбачають використання складних профільованих інструментів, ще потребують додаткового вивчення для впровадження у виробництво. Ці технології розробляються з метою зменшення собівартості виготовлення деталі та підвищення конкурентоспроможності підприємства або компанії. Одним зі способів вирішення даних задач є наближення форми поковки до форми заданої деталі, завдяки чому знижується кількість металу, яка іде у відходи та зменшується використання різального інструменту.

Мета теоретичного дослідження – встановлення впливу геометричних параметрів заготовки на формозміну та деформований стан в процесі деформування.

МСЕ це один з найбільш універсальних і потужних методів для виконання теоретичного аналізу процесів ОМТ. Він дозволяє вирішувати плоскі, вісесиметричні та складні об'ємні задачі та широко використовується в даний час. Скінчено-елементні рішення застосовуються для вирішення задач значних деформацій, прирощення деформацій, осьового вигину, усталеної та несталі течії металу та ряду інших проблем.

У наведеній роботі для розрахунків МСЕ використовувалося програмне забезпечення «Deform 3D» (ліцензія ДДМА). Завдяки даному програмному забезпеченню можна враховувати температуру кування, розподіл температурних полів та теплообмін між інструментом, заготовкою та навколишнім середовищем, швидкість деформування, враховувати особливості конструкції інструменту, обирати тип обладнання. Також завдяки йому у дослідника мається багато вихідної інформації про процес кування – ступінь, швидкість, напрямок деформації, кінцева температура, доволі точна форма та розміри поковки, структурна будова поковки, сила деформування та сила, яка діє на інструмент.

Для верифікації результатів формозміни при роздачі отриманих із застосуванням теоретичного дослідження необхідно зробити експериментальне дослідження. Проведення експерименту на натурних зразках економічно не доцільно, тому в якості заготовки (моделі) використовуються зменшені зразки, які мають властивості подібним натуральних зразків. Лабораторні дослідження, проведені з використанням законів геометричної й фізичної подоби, дозволяють найбільше повно досліджувати процеси обробки металів тиском. Метою даного дослідження є експериментальне вивчення формозміни й силових параметрів при роздачі глухдонної пустотілої заготовки кінчною й сферичною плитами.

У результаті моделювання повинні бути отримані значення зусилля на кожній стадії роздачі й геометричні розміри заготовки після деформування конічною й сферичною плитами.

Розроблена методика теоретичного дослідження процесу роздачі днища, яка полягає в застосуванні МСЕ на основі програмного продукту Qform, дозволяє встановити НДС, силові параметри, формозміну в процесі роздачі пустотілої конічної заготовки сферичною плитою. Розроблена методика дозволяє скоротити об'єм експериментальних досліджень в 3–5 разів. Параметром оптимізації була обрана відносна різнотовщинність заготовки  $\Delta s_{\text{в}}/t$ , яка оцінює можливість одержання поковки необхідної форми. Для перевірки результатів теоретичного дослідження розроблена методика експериментального дослідження із застосуванням свинцевих моделей.

### ВПЛИВ ПРОЦЕСУ РОЗДАЧІ ЗАГОТОВКИ НА ФОРМОЗМІНУ Й НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ДНИЩА

Була встановлена оптимальна геометрія пустотілої конічної заготовки, яка після роздачі сферичною плитою одержала мінімальну різнотовщинність у верхній частині поковки. У результаті дослідження була встановлена товщина стінки заготовки у верхній частині, яка після роздачі сферичною плитою гарантувала одержання поковки заданих розмірів по товщині стінки й висоті.

На підставі цього, було прийняте рішення вдосконалити технологічний процес роздачі днища, з метою одержання більш технологічної конструкції злитка яка, підвищить рівень накопичених деформацій при роздачі конічною й сферичною плитами. Поставлену мету передбачається досягти за рахунок розробки нової конструкції пустотілого злитка й введення у технологічний процес кування днища додаткової операції роздачі конічною плитою.

Роздача конічною плитою буде приводити до потоншення стінки у верхній частині злитка. У цьому зв'язку проведено додаткове дослідження, яке дозволить установити вплив операції роздачі конічною плитою на потоншення стінки заготовки, а, отже, на раціональну геометрію вихідної заготовки (злитка) до роздачі конічною плитою (рис. 1).

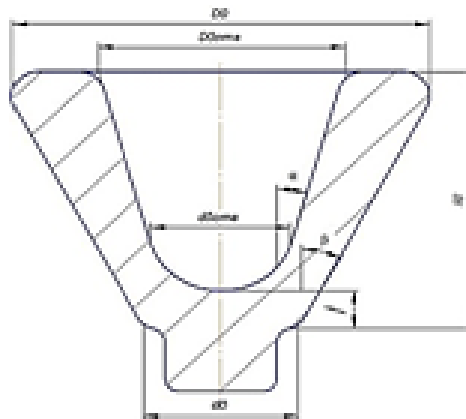


Рис. 1. Ескіз злитка до роздачі конічною плитою

Для визначення геометричних параметрів заготовки необхідно виходити з технологічних можливостей одержання злитка. Для можливості витягування стрижня зі злитка необхідно забезпечити кут конусності  $\alpha = 15^\circ$ . Діаметр  $d0_{\text{отс}}/D_{\text{сф}}$  рекомендується прийняти 0,2, параметр  $d0/D_{\text{сф}}$  приймаємо 0,25. Параметри  $D0$  і  $D0_{\text{отв}}$  знаходять виходячи з відомих кутів  $\alpha$  і  $\beta$ . Для знаходження кута  $\beta$  необхідно провести додаткове моделювання в програмі Qform 2D для різних кутів. Параметр приймав значення 22; 26; 27,5; 29 і 32°. Даний діапазон вибирався виходячи з умови одержання різних товщин стінки. Досліджувався вплив кута  $\beta$  на відносний зовнішній діаметр пустотілої заготовки  $D/D_{\text{сф}}$  після роздачі конічною плитою. На підставі отриманих результатів була встановлена графічна залежність  $D/D_{\text{сф}}$  від кута

конусності злитка  $\beta$ . Знаючи необхідний проміжний відносний зовнішній діаметр  $D/D_{cf}$ , знаходимо кут  $\beta$ . Як показує попереднє моделювання, висота не значно впливає на різнотовщинність заготовки, тому параметр  $H_0$  підбираємо виходячи з сталості об'ємів.

За результатами моделювання був запропонований новий технологічний процес одержання днищ із попередньою роздачою пустотілої заготовки конічною плитою з остаточною роздачою сферичною плитою.

У процесі попереднього моделювання були використані різні конфігурації заготовки. Варіювання параметрів поковки тривало доти, поки не вийшло поковки без дефектів (відсутність складок і потоншення стінки у верхній частині поковки. У першій схемі використовувався пустотілий злиток отриманий на підставі даних моделювання в програмі Qform 2D. У результаті моделювання процесу роздачі запропонованим інструментом були отримані результати по формозміні й НДС.

Результати деформованого стану у процесі роздачі заготовки конічним і сферичним інструментом дозволили встановити характерні для даної схеми дефекти. Так при роздачі конічною плитою у стінці поковки утворюється затиск, а на проміжній стадії роздачі сферою у донній частині поглиблення, яке при подальшій деформації також приводить до затиску в донній частині сфери. На кінцевій стадії роздачі було отримано поковки зі збільшеною товщиною стінки у верхній частині.

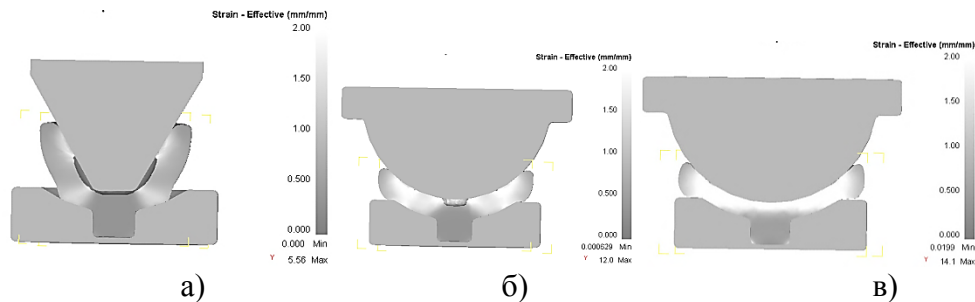


Рис. 2. Формозміна заготовки при роздачі за схемою № 1

а – роздача конічною плитою; б – роздача сферичною плитою (проміжна стадія); в – роздача сферичною плитою (остаточна стадія)

Після проведення теоретичного дослідження була обрана ефективна схема роздачі, яка забезпечує мінімальну різнотовщинність у процесі кування днища.

Установлена оптимальна геометрія заготовки після роздачі конічною плитою, на підставі якої визначена раціональна геометрія злитка до роздачі конічною плитою. Ці параметри відповідають:  $domb/D = 0,2$ ;  $d/D = 0,25$ ;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $\beta = 28^\circ$ .

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДАЧІ ДНИЩА КОНІЧНОЮ Й СФЕРИЧНОЮ ПЛИТАМИ

Завданням експериментального дослідження було підтвердити або спростувати отримані раніше дані по формозміні заготовки при роздачі отримані чисельним моделюванням. Перевірялася можливість одержання днищ роздачею конічної й сферичної плитами. Варіювалася також геометрія заготовки, а саме досліджувався процес роздачі заготовки із циліндричним паском у нижній частині для встановлення впливу цього паска на зниження зусилля роздачі.

Теоретичне дослідження методами МСЕ дозволило дати уявлення про оптимальну геометрію заготовки для роздачі й раціональної форми інструмента. На підставі цих даних було проведено експериментальне дослідження на свинцевих зразках, метою якого було підтвердити або спростувати результати теоретичного дослідження. Результуючими параметрами були формозміна в процесі роздачі, різнотовщинність і зусилля деформування.



### 1. Роздача конічної пустотілої заготовки сферичною плитою.

Моделювання проводилося на свинцевих зразках. У якості заготовки була обрана заготовка тип 1 отримана у виливниці. Роздача проводилася сферичним бойком як показано на рис. 3. Отримана заготовка після роздачі представлена на рисунку. У ході проведення експерименту виконувалися виміри розмірів заготовки. У результаті експериментального дослідження була отримана заготовка з потоншеною стінкою й не повністю сформованою зовнішньою поверхнею. У внутрішній частині заготовки утворюється дефект – складка, що підтверджує результати моделювання.



Рис. 3. Вихідна заготовка до роздачі сферичною плитою (а), поковка після роздачі (б) і вид зверху (в)

### 2. Роздача конічної пустотілої заготовки із циліндричним паском

Процес роздачі при куванні днищ за новою технологією закінчується доштампуванням для формування необхідної геометрії кування. При цьому доштампуванні зростає площа контакту заготовки з інструментом, що приводить до значного росту зусилля деформування. Зниження зусилля деформування можна забезпечити за рахунок зменшення площі контакту заготовки з інструментом при одержанні необхідних розмірів поковки. Для цього в дослідженні було запропоновано призначити циліндричний пасок у нижній частині заготовки. Запропонований розв'язок дозволить зменшити площу контакту заготовки з інструментом за рахунок збільшення товщини дна при призначенні циліндричного паска в нижній частині заготовки й утворення зазору  $z$  між заготовкою й інструментом. Експериментальні дослідження проводилися на зразку 2 типу. Роздача проводилася конічним, а потім сферичним бойком. Заготовки до й після роздачі представлено на рис. 4.

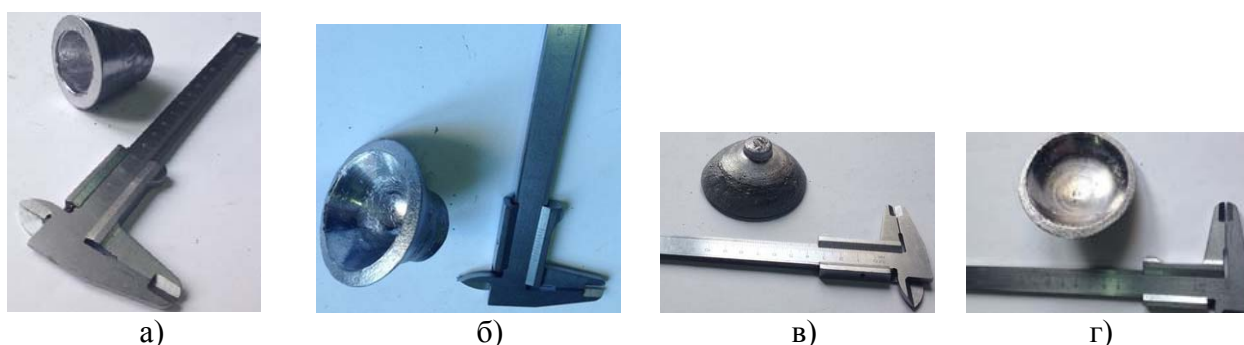


Рис. 4. Заготовки (а), після роздачі конічною плитою (б), після роздачі сферичною плитою (в, г)

У результаті експерименту було відзначене зменшення площі контакту заготовки з нижньою плитою, а відповідно, не остаточне формування зовнішньої поверхні. Також частина металу затікає в отвір нижньої плити, що необхідно враховувати в процесі розрахунків об'єму заготовки.

### 3. Роздача конічної пустотілої заготовки конічною й сферичною плитами

Виключити складкоутворення при роздачі пустотілої заготовки сферичною плитою можна за рахунок застосування попередньої роздачі її конічною плитою. Роздача конічною плитою дозволяє збільшувати діаметр отвору вихідної пустотілої заготовки й поступово наблизити форму заготовки до форми днища. Завдання даного дослідження є перевірка даної гіпотези.

Було проведено 3 експерименту з однаковими розмірами вихідної заготовки, для підтвердження результатів теоретичних досліджень. У результаті роздачі конічним бойком заготовки (тип 1) була отримана пустотіла заготовка. Після деформування сферичною плитою, була отримана поковка. Дана поковка має гладку поверхню, поковочні розміри відповідають необхідним розмірам креслення.

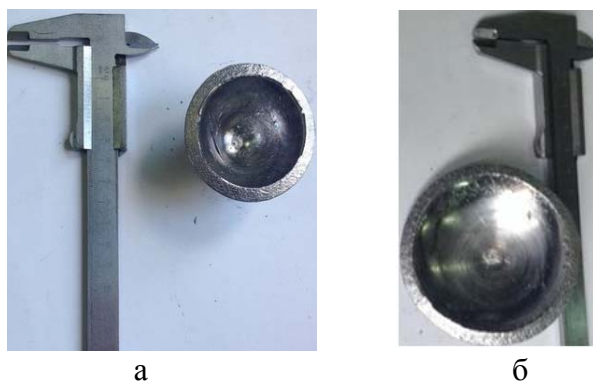


Рис. 5. Заготовка після роздачі конічним (а) і сферичним (б) бойком

Отримані результати експериментального дослідження підтверджують попередньо отримані дані теоретичного дослідження. Стінка в процесі роздачі стоншується, що підтверджують графічні залежності.

Було встановлено, що зі зменшенням товщини стінки зусилля зростає, а застосування операції роздачі конічним бойком дозволяє знизити зусилля деформування на 20..30 %.

Результати експериментальних досліджень підтверджують результати теоретичного дослідження, з погрешністю 5..10 %.

#### УДОСКОНАЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ Й ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ КУВАННЯ ДНИЩ РОЗДАЧОЮ

Новий технологічний процес одержання поковок типу днищ включає: одержання пустотілого злитка з дном, підігрівання злитка до кувальної температури, роздача конічною плитою, роздача сферичною плитою. Ескіз нижньої плити представлений у додатку.

Для проектування нового технологічного процесу необхідно визначити вихідні розміри злитка до роздачі конічною плитою. Для цього виходячи з відомих розмірів одержуваної сфери ( $S_k/D_{сф}$ ) визначаємо розміри проміжної заготовки після роздачі конічною плитою. Маючи співвідношення  $S_k/D_{сф}$  заданого поковки, при перетинанні із кривою, яка відповідає за відносний внутрішній діаметр заготовки  $D_{овв}/D_{сф}$  визначаємо відносний зовнішній діаметр заготовки  $D/D_{сф}$ . Для попередження утворення складок рекомендується прийняти  $d_{овв}/D_{сф} = 0,2$ , параметр  $d/D_{сф}$  рекомендується прийняти 0,25. Висота заготовки розраховується виходячи з рівності об'ємів  $V_{пок} = V_{пр.заг.} = V_{сл}$ .

Як показують результати моделювання, так само в якості заготовки можна вибирати злиток із циліндричним паском для зниження сили роздачі.

Використання даного злитка дозволяє зменшити зусилля роздачі за рахунок зниження площі контакту заготовки з інструментом, за рахунок збільшення товщини дна при призначенні циліндричного паска в нижній частині заготовки й утворення зазору з між заготовкою й інструментом.

## ВИСНОВКИ

На підставі літературного огляду було встановлено, що в цей час із розвитком атомної енергетики, виникла необхідність виробництва великогабаритних безшовних днищ високої якості.

Теоретичні дослідження дозволили встановити ефективну схему роздачі, за допомогою якої була визначена раціональна геометрія заготовки (злитка) і інструмента. Ці параметри відповідають:  $d_{\text{ome}}/D_{\text{сф}} = 0,2$ ;  $d/D_{\text{сф}} = 0,25$ ;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $\beta = 28^\circ$ .

У результаті комплексу теоретичних досліджень була розроблена методика проектування технологічного процесу кування днища конічним і сферичною плитою з вирізами.

Дані рекомендації із проектування технологічного процесу кування днищ із використанням пустотілого глуходонного злитка. Установлені закономірності для визначення параметрів заготовки після роздачі конічною плитою й для визначення розмірів вихідної заготовки (злитка). У результаті порівняння нового технологічного процесу з існуючим, можна зробити висновок, що з економічної точки зору даний спосіб ефективний і дозволяє заощаджувати метал на 16 % більше, у порівнянні із традиційною технологією.

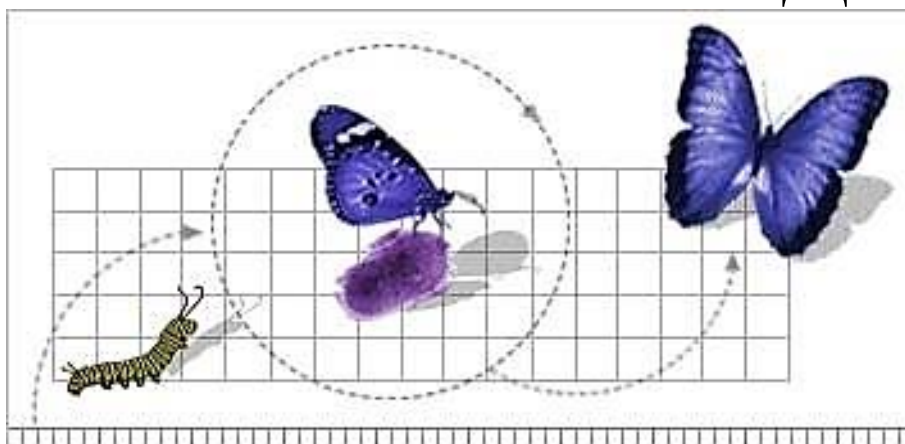
## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Suzuki K., Sato I., Tsukada H. Manufacturing and material properties of ultra large size forgings for advanced BWRPV. *Nuclear engineering and design*. 1994. № 151. P. 513–522.
2. Balcar M., Zelezný R., Sochor L. [et al.] The development of a chill mould for tool steels using numerical modeling. *Materials and technology*. 2008. № 42. P. 183–188.
3. Lee S., Lee Y., Moon Y. Effect of deformation and heat treatment on fabrication of large sized ring by mandrel forging of hollow ingot. *Materials research innovations*. 2011. № 1. P. 458–462.
4. Pastore A., Guyot E., Dairon J., Lemoine M. Forging of heavy products for nuclear fuel containers. *19th International forgemasters meeting, 29 September – 3 October 2014, Makuhari*. 2014. P. 244–247.
5. Алиев И. С., Маркова М. А., Злыгорев В. Н. Исследование процессовковки бойками выпуклой геометрии с интенсивными пластическими деформациями. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2015. № 3. С. 125–130.
6. Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Ячмень Ю. О. Формоизменение и напряженно-деформированное состояние заготовки при ковке с применением профилирования заготовки. *Научный вестник ДГМА*. 2015. № 3. С. 214–219.
7. Raz K., Vaclav K. Using of a hydraulic press in production and manufacturing of large rings. *Procedia engineering*. 2014. № 69. P. 1064–1069.
8. Марков О. Є., Маркова М. О. Спосіб кування крупних днищ: пат. 86882 Україна: МПК В21J 5/00. № 09699; заявл. 5.08.2013; опубл. 10.01.2014; Бюл. № 1.
9. Мельников Э. Л., Головин В. С., Буренков В. В. (СССР). Способ штамповки сферических, эллиптических и других куполообразных днищ: пат. 545406 СССР: МПК В 21 D 22/02. № 2160561/27; заявл. 04.08.75; опубл. 5.02.77; Бюл. № 5.
10. Пархомчик П. А., Рудый В. В., Антонюк В. Е. Особенности кольцераскатки в условиях мелкосерийного производства профильных колец. *Литье и металлургия*. 2013. № 71. С. 92–98.
11. Пархомчик П. А., Рудый В. В., Антонюк В. Е., Шипко А. А. Особенности использования кольцераскатного комплекса в производстве деталей ОАО «БелАЗ». *Актуальные вопросы машиноведения*. 2012. № 1. С. 354–358.
12. Cleaver C., Allwood J. Incremental profile ring rolling with axial and circumferential constraints. *CIRP Annals – Manufacturing technology*. 2017. № 66. P. 285–288.

Стаття надійшла до редакції 27.12.2019 р.

# РОЗДІЛ 3

## ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ



УДК 681.5:629.3

Казакевич Д. О. (АВП-18-1м)

### РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВОХДВИГУННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

*У статті вирішена актуальна науково-технічна задача дослідження процесу управління багатодвигунним електроприводом конвеєра в перехідних режимах пуску і гальмуванні тягового органу. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу, який складається з головного і хвостового двигунів. Проведено аналіз функціонування об'єкта, за яким встановлені параметри процесу управління. Удосконалена математична модель частотного регулювання швидкості взаємозв'язкового електроприводу, яка відрізняється тим, що враховує пружні взаємозв'язку між двигунами. Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму запуску і зупинки конвеєра із заданими умовами експлуатації, що дозволить знизити енергетичні втрати при транспортуванні сипучих матеріалів.*

*The article resolves the actual scientific and technical problem of studying the process of controlling a multi-motor electric drive of the conveyor in transient modes of starting and braking the traction unit. A study of the features of the technological process of controlling the speed of a twin-motor electric drive consisting of the head and tail engines has been conducted. The analysis of the functioning of the object, which set the parameters of the management process. An improved mathematical model of frequency regulation of the speed of an interconnected electric drive, which is distinguished by the fact that it takes into account the elastic relationships between the engines. The developed mathematical model should be used to adapt the algorithm for starting and stopping the conveyor with the specified operating conditions, which will reduce energy losses during transportation of bulk materials.*

**Актуальність.** Відмінною особливістю сучасних стрічкових конвеєрів є використання для їх приводу двохшвидкісних асинхронні електродвигунів, які не потребують застосування гідродинамічних муфт. Типовим прикладом таких машин є розроблені інститутом «Дондніпровуглемаш» енергоозброєність (400–700 кВт) конвеєри типового ряду КСД. Відсутність ненадійною і складною в обслуговуванні гідромуфти підвищує експлуатаційні якості таких конвеєрів, однак при цьому виникають проблеми, пов'язані з роботою багатодвигунного електроприводу в перехідних режимах пуску і стопоріння тягового органу.

Пускові режими багатопровідних конвеєрів передбачають певну послідовність включення електродвигунів головного і хвостового приводу на першу і другу швидкість. В даний час ця послідовність встановлена емпірично і не враховує особливості експлуатації конвеєра в конкретному очисному заборі: довжину лави, кут і напрямок транспортування, ступінь завантаження і ін. Для оптимальної адаптації режиму пуску конвеєра до роботи в заданих умовах необхідно створити математичну модель, яка дозволить дослідити процес формування пускових навантажень в приводах і тяговому органі [1].

Розробка автоматизованої системи управління конвеєра забезпечить:

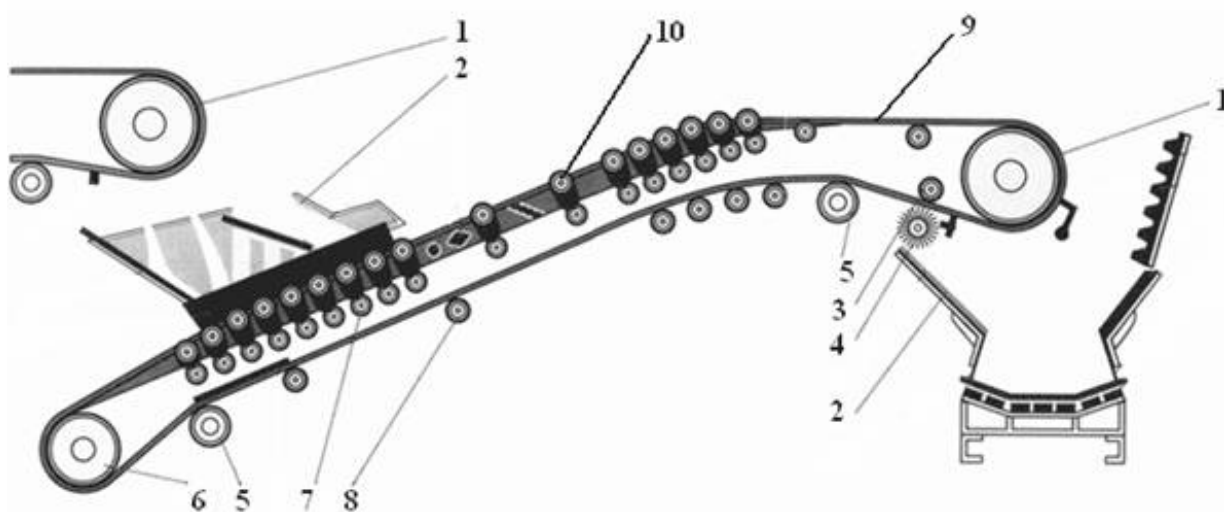
- процес транспортування вугілля,
- обслуговуючий персонал комплексною і достовірною інформацією про хід технологічного процесу в зручній для сприйняття формі,
- скорочення часу пошуку та усунення несправностей, поліпшить умови праці персоналу, підвищить культуру виробництва.

У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання пускових режимів багатодвигунного конвеєра, а також алгоритмів управління є актуальною науково-технічною задачею.

**Предмет дослідження.** Зниження енерговитрат процесу транспортування вугілля шляхом розробки системи автоматичного регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу конвеєра з використанням математичних методів, алгоритмів, інформаційного та програмного забезпечення.

**Мета дослідження** – Зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу транспортування вугілля шляхом впровадження автоматизованої системи керування двохдвигунним електроприводом конвеєра.

Стрічкові конвеєри є основним видом транспорту в конденсаційних ТЕС. Застосовуються також в заборях підготовчих виробок і в шахтному будівництві. Конвеєр складається з трьох основних частин: приводний станція, натяжна станція і лінійні секції, кількість яких залежить від довжини конвеєра (може досягати декількох кілометрів). Несучим і тяговим органом є гумовотканинна стрічка, яка має гладку поверхню. Стрічкові конвеєри комплектуються жолобчастими роликоопорами, що надає жолобчастість верхньої гілки стрічки, і оберігає від прокидання вантажу. Так само в комплектацию входить завантажувальний лоток, розташований перед натяжною станцією і коробка що скидає на приводній станції. Якщо є необхідність у проміжного розвантаження, конвеєр комплектується розвантажувальної візком або плужковом скидачем. Схематичне зображення конвеєра наведено на рис. 1.



1 – приводний барабан; 2 – загрузочний лоток; 3 – притискної ролик; 4 – очисний пристрій; 5 – барабан, що відхиляє; 6 – кінцевий барабан; 7 – амортизуючи роликоопори; 8 – нижні роликоопори; 9 – стрічка; 10 – верхні роликоопори

Рис. 1. Загальний вигляд стрічкового конвеєра

Конвеєрна установка буде експлуатуватися в умовах, це призводить до появи ряду специфічних вимог до її електроприводу, а саме забезпечення:

- плавного пуску і гальмування конвеєра. При цьому обмежити максимально прискорення до  $0,1 \text{ м/с}^2$  (розгін і гальмування в перебігу 73–77 с);
- синхронізоване за швидкістю управління приводними електродвигунами.

Для приводу стрічкових конвеєрів широко використовуються двохшвидкісні асинхронні електродвигуни.

Проектований електропривод складається з наступних структурних елементів:

- двох частотна регульованих електродвигунів головної АД1 і хвостової АД2 частини конвеєра;
- частотних перетворювачів напруги живлення (ЧП);
- двох приводних ланцюгів, які є механічною частиною і приводять в безпосередній рух стрічки конвеєра;
- регуляторів швидкості обертання ротора приводних електродвигунів (РШ);
- датчиків кутової частоти обертання ротора приводних електродвигунів (ДШ).

При розробці математичної моделі тяговий орган з вантажем представлений як зосереджена маса, а його пружно-дисипативні властивості розглядаються в лінійній постановці.

Динамічна розрахункова схема двохланцюгового приводу, що враховує пружні дисипативні властивості приводу і тягового органу, а також можливі зазори, представлена на рис. 2.

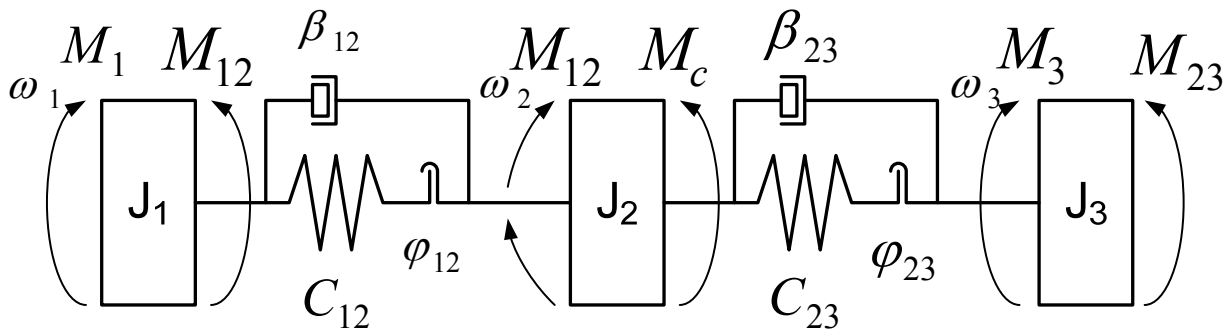


Рис. 2. Розрахункова схема електромеханічної системи двохприводного конвеєра

З урахуванням прийнятих припущень динаміка механічної частини двохприводного конвеєра описується наступною системою рівнянь (1) [3]:

$$\begin{cases} M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = J_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2}, \\ M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2}, \\ M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) = J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = J_3 \frac{d^2\varphi_3}{dt^2} \end{cases} \quad (1)$$

де  $\varphi_i$ ,  $\omega_i$  – відповідно, кути повороту і кутові швидкості  $i$ -ої маси,  $M_c$  – момент сил опору руху тягового органу,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{23}$  – коефіцієнти опору руху, відповідно, робочої і холостої вітки тягового органу,  $M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)$ ,  $M_{23} = c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)$  – пружний момент.

В системі рівнянь (1) моменти інерції окремих ланок приведені до частоти обертання двигуна. Параметри ротора асинхронного двигуна для кожної з частот обертання приведені до статора двигуна.

Систему рівнянь (1) в операторній формі Лапласа має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{1}{J_1}(M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2)) = \omega_1 p, \\ \frac{1}{J_2}(M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c) = \omega_2 p, \\ \frac{1}{J_3}(M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3)) = \omega_3 p, \\ M_{12} = \frac{c_{12}}{p}(\varphi_1 - \varphi_2), \\ M_{23} = \frac{c_{23}}{p}(\varphi_2 - \varphi_3). \end{cases} \quad (2)$$

На підставі системи рівнянь (2) розроблено математичну модель механічної (незмінної) частини конвеєра. Реалізація моделі здійснена за допомогою МПП Matlab і приведена на рис. 3.

Математичний опис електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні виконано на системи рівнянь, що описують поведінку, двигуна для однієї частоти обертання, й має вигляд [4, 5]:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi'_{x1}}{dt} = U'_m - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \Psi'_{y1} \\ \frac{d\Psi'_{y1}}{dt} = 0 - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{y1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot k'_r \cdot \Psi'_{y2} - \omega'_0 \cdot \Psi'_{x1} \\ \frac{d\Psi'_{x2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{x1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{y2} \\ \frac{d\Psi'_{y2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{y2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{y1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{x2} \\ M'_1 = \frac{3}{2} p' \cdot \omega'_0 \cdot \frac{k'_r}{x'_s \cdot \sigma'} (\Psi'_{x2} \cdot \Psi'_{y2} - \Psi'_{x1} \cdot \Psi'_{y2}) \end{cases} \quad (3)$$

де  $\Psi'_{x2}, \Psi'_{y1}, \Psi'_{x1}, \Psi'_{y2}$  – потокозчеплення статора і ротора відповідно по осях  $x, y$  для узагальненої двохфазної машини;

$\alpha'_s, \alpha'_r, k'_s, k'_r$  – коефіцієнти зв'язку статора і ротора;

$p'$  – число пар полюсів обмотки;

$U'_m$  – амплітудне значення величини напруги живлення;

$\omega'_0$  – кутова швидкість ідеального холостого ходу;

$\omega'_1$  – поточна кутова швидкість ротора двигуна;

$M'_1$  – електромагнітний момент двигуна.

Верхній індекс  $I$  означає, що зазначені параметри відповідають низькій швидкості (НС). Аналогічно записується система рівнянь для роботи двигуна на високій швидкості ВС (індекс  $II$ ).

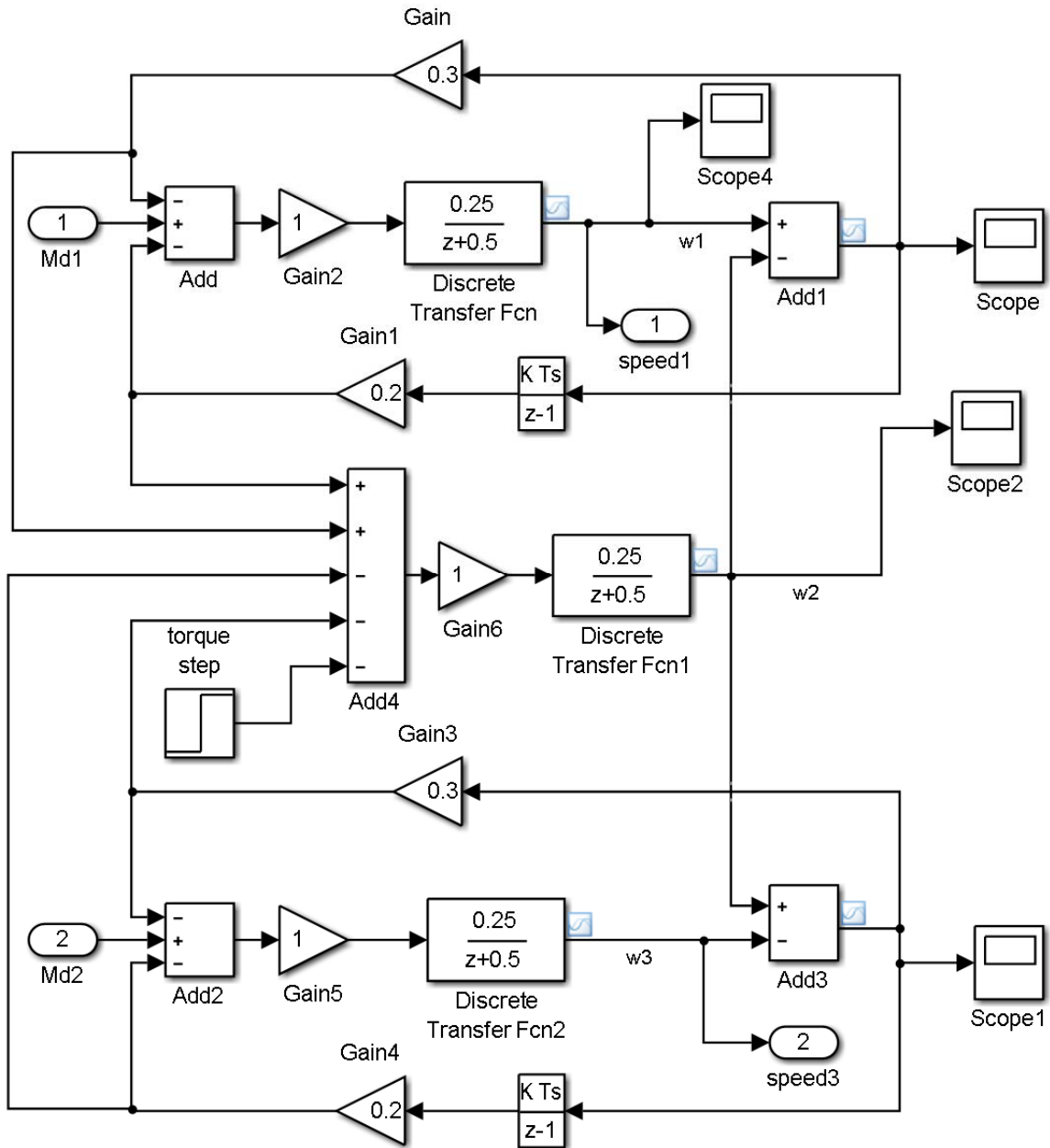


Рис. 3. Математична модель механічної (незмінної) частини конвеєра в МПП Matlab

У відповідності до системи рівняння (3) і результатами розрахунку коефіцієнтів і постійних часу передаточних функцій у пакеті MatLAB. При синтезі параметричного регулятора отримана дискретна передавальна функція (ДПФ) ПІД-регулятора швидкості:

$$W_p(\lambda) = K_p \left[ \frac{(\tau_2 + T_{я})}{\tau_1} + \frac{T_0}{\tau_1} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{2\tau_2 T_{я}}{\tau_1 T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1} \right]. \quad (4)$$

Відповідно до розробленої структурної схеми (див. рис. 2) та розглянутої система рівнянь (1) яка вирішувалася спільно з системами диференціальних рівнянь, що описують перехідні процеси в електродвигунах (3) синтезована математична модель АСУ конвеєром. Загальний вигляд блок-схеми математичної моделі частотно-регульованого електроприводу двохдвигунного конвеєра в МПП MatLab [1] наведено на рис. 4.



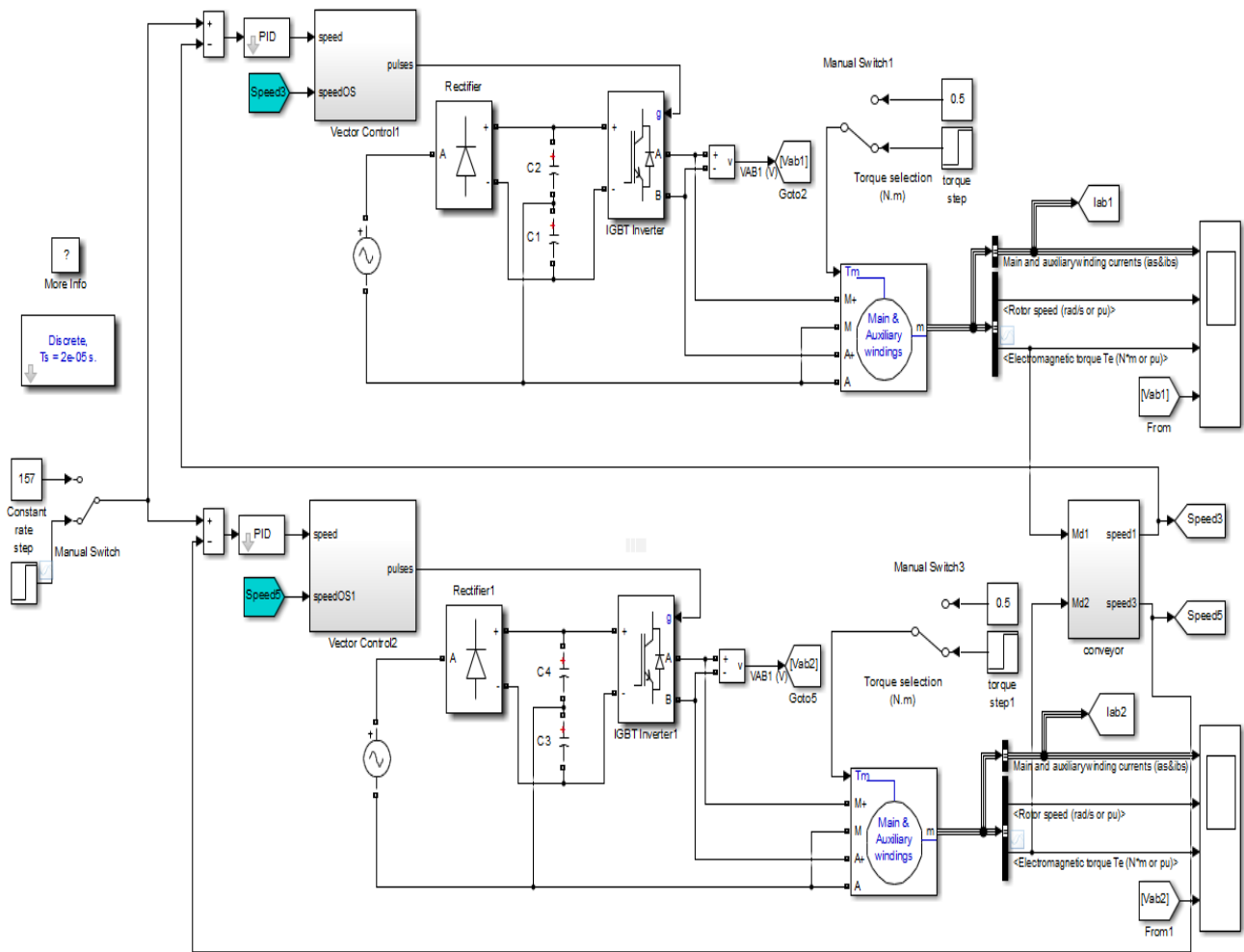


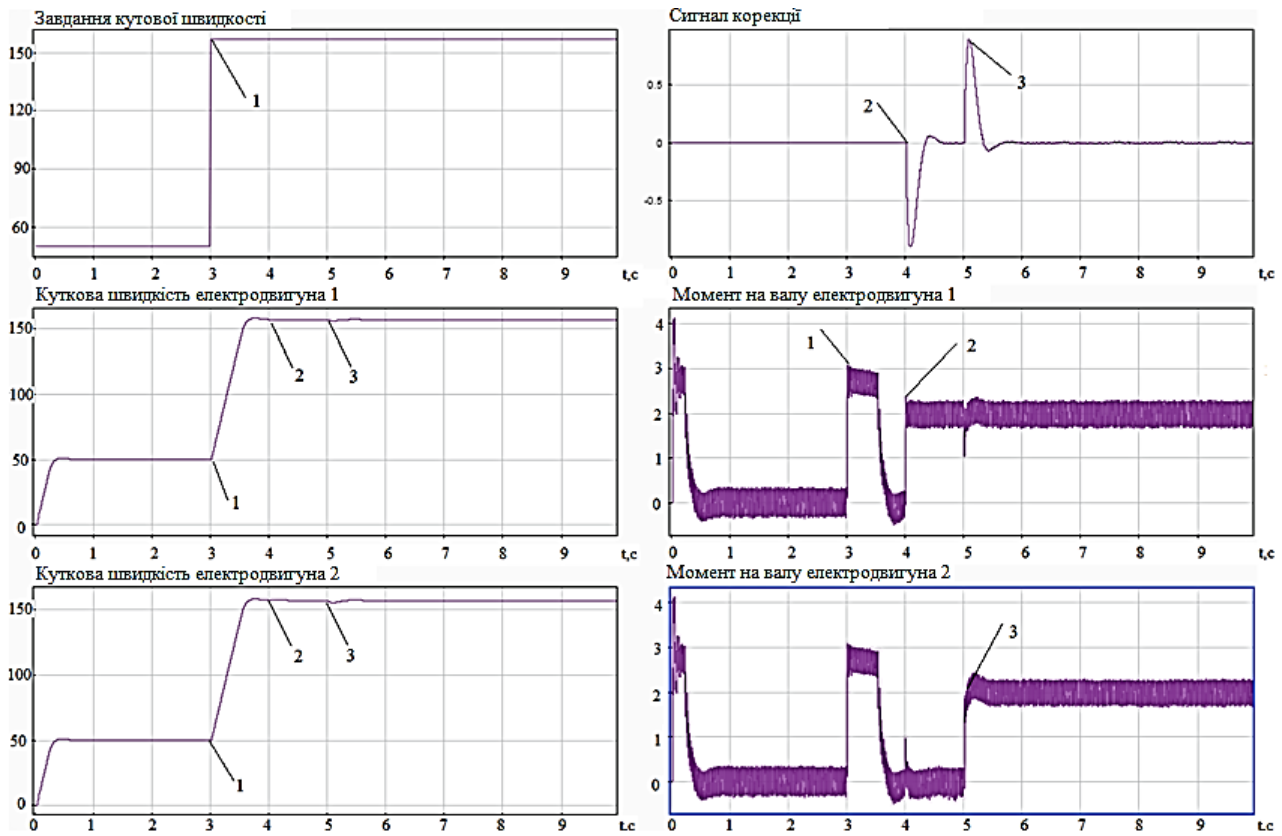
Рис. 4. Математична модель АСУ електроприводом конвеєра

Розроблена система задовольняє вимогам по швидкодії і точності. Час перехідного процесу складає:  $t_{nn} = 1,7$  с. Результати математичного моделювання наведені на рис. 5. Моделювання показало, що АСУ електроприводом має швидкісну помилку, яка становить  $0,035 \text{ м/с} < 0,05 \text{ м/с}$ . Час перехідного процесу становить не менше 1,7 с, що забезпечує максимальну швидкість при допустимому прискоренні.

Аналіз результатів моделювання дозволяє зробити висновок про те, що у всіх випадках в період пуску навантаження запуск першого хвостового приводу істотно більше, ніж головного. При частих пусках це буде призводити до його перегріву, що прискорить накопичення втомних пошкоджень в редукторі в порівнянні з головним приводом. Радикально вирішити проблему мінімізації і вирівнювання навантаження при пуску можна за рахунок одночасного пуску двигунів.

У зв'язку за доцільне змінити алгоритм відключення приводних електродвигунів при зупинці конвеєра таким чином, щоб хвостовий привід відключався від мережі на 1,5 с пізніше головного. В цьому випадку слабке місце ланцюга у головного приводу в процесі вибігу при відключенні конвеєра буде вибиратися. Тим самим, створюються передумови для подальшого пуску конвеєра з одночасним включенням приводів на НС.

Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму запуску і зупинки конвеєра до заданих умов експлуатації.



1 – вихід на номінальну кутову швидкість; 2 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 1; 3 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 2

Рис. 5. Графіки перехідних процесів

## ВИСНОВКИ

У статті вирішене актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування багатодвигунного електроприводу конвеєру в перехідних режимах пуску і стопоріння тягового органу. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу, встановлення параметрів процесу керування. Удосконалена математична модель регулювання частотного регулювання швидкості взаємозв'язкового електроприводу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман-Галкин С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК: учебное пособие. Санкт-Петербург: Корона-Век, 2008. 368 с.
2. Андреев Г. В., Косарев И. В., Лелека И. Т., Довженко В. И. Конвейеры нового технического уровня. *Уголь Украины*. 2003. ЛГ<sup>09</sup>. С. 36–38.
3. Кондрахин В. Г., Мельник А. А., Косарев В. В., Стадник Н. И., Косарев И. В. Экспериментальные исследования распределения нагрузки между приводами конвейера с двухскоростными асинхронными электродвигателями. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електромеханічна*. Донецьк: ДонНТУ, 2006. Вип. 113. С. 131–138.
4. Войтех А. А., Попович А. Н. Моделирование переходных процессов в полюсопереключаемых асинхронных двигателях. Киев: Наук. думка, 1989. 152 с.
5. Кондрахин В. П., Борисенко В. Ф., Мельник А. А., Косарев В. В., Стадник Н. И., Косарев И. В. Моделирование пусковых режимов двухдвигательного привода на базе двухскоростных асинхронных электродвигателей. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип. 99. С. 104–110.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2019 р.

УДК 681.5:621.77

Калінін В. А (АВП-18-1зм)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЛАВКОЮ

*У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування нагрівом розплаву у індукційній печі за рахунок впровадження системи автоматизованого управління стабілізації температурного режиму. Досліджені особливості технологічного процесу нагріву розплаву у індукційній печі, встановлення параметрів процесу керування. Удосконалена математична модель і алгоритм температурного нагріву розплаву. Створена автоматизована система керування режимом теплообміну у індукційній печі шляхом регулювання частоти сили струму на індукторі. Розроблена структура і алгоритм функціонування автоматизованої системи керування. Здійснено формування інформаційного забезпечення системи автоматизації та інтегрування її у базову систему обліку параметрів технологічного процесу.*

*In the master's qualification work, the urgent scientific and technical problem of studying the process of controlling the heating of the melt in an induction furnace due to the introduction of an automated control system for stabilizing the temperature regime was solved. The features of the technological process of heating the melt in an induction furnace, the settings of the control process parameters are investigated. Improved mathematical model and algorithm for temperature heating of the melt. An automated control system has been created for the heat transfer regime in an induction furnace by regulating the frequency of the current strength at the inductor. The structure and functioning algorithm of an automated control system is developed. The formation of information support for the automation system and its integration into the basic system for recording process parameters.*

Відмінною рисою електromеталургійного виробництва є те, що основним джерелом тепла для здійснення технологічних процесів є електроенергія. Вона характеризується відносно високою вартістю. Тому з виникненням електроплавки металу прагнуть зменшити витрату електроенергії автоматичним підтриманням заданого електричного режиму. Одним із способів зменшення енергетичних витрат плавки стали є точне дотримання температурного режиму відповідно до встановленого температурного графіка, що забезпечує необхідне протікання технологічного процесу. Крім цього відхилення температурного режиму від графіка плавки більш ніж на  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  веде до втрати заданих фізико-хімічних властивостей готового продукту, а отже і до технологічного браку.

У статті здійснюється розробка системи автоматичного управління температурним режимом індукційної печі ІЛК-1,6 шляхом розробки засобів постійного контролю температури рідкого розплаву і регулювання температурного режиму плавки шляхом зміни величини теплової енергії що підводиться від індуктора.

Ціль дослідження є підвищення економічної ефективності нагріву розплаву в індукційній печі за рахунок впровадження системи автоматизованого управління стабілізації температурного режиму.

Принцип індукційного нагріву полягає в перетворенні енергії електромагнітного поля, що поглинається електропровідним об'єктом що нагрівається. В установках індукційного нагріву електромагнітне поле створюють індуктором, що представляє собою багатовиткову циліндричну котушку (соленоїд). Через індуктор пропускають змінний синусоїдальний електричний струм, в результаті чого навколо індуктора виникає в часі змінне магнітне поле. Перетворення енергії електромагнітного поля, що описується першим рівнянням Максвелла (закон повного струму) [1]:

$$\operatorname{rot} H = J_{\text{ПЕР}} + J_{\text{СМ}} = J_{\text{ПР}} + \partial D / \partial \tau = (\sigma + j\omega \varepsilon_a) E, \quad (1)$$

де  $H$  та  $E$  – комплексні вектори напруженості магнітного і електричного поля відповідно;  $J_{\text{ПЕР}}$ ,  $J_{\text{ПР}}$  і  $J_{\text{СМ}}$  – комплексні вектори щільності струму перенесення, провідності і зміщення відповідно;  $D = \varepsilon_a E = \varepsilon_0 \varepsilon_r E$  – комплексний вектор електричного зміщення (електричної індукції);

$\varepsilon_a$  та  $\varepsilon_r$  - абсолютна і відносна діелектрична проникність;  $\varepsilon_0 = 1/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)$  – електрична постійна, Ф/м [1];  $\sigma$  – питома електрична провідність;  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота коливань електромагнітного поля;  $f$  – частота струму.

Теоретичні дослідження дозволили здійснити розрахунок фізичних параметрів індукційної печі ІЛК6/1,6, тобто:

– Розрахунок енергетичний параметрів індукційної печі

– Електричний розрахунок індукційної сталеплавильної печі. За результатами розрахунку обґрунтована з використанням рівнянь (2-4) потужність  $P_m$ , яка виділяється в металі і технічно доцільною тривалості плавки  $\tau_{пл}$  і енергетичного періоду  $\tau_э$  проведемо шляхом аналізу залежності  $M = f_m(P_m)$ . Приймавши частку простоїв  $\Pi_p = 10\%$  складемо необхідні аналітичні рівняння:

$$\tau_э = \frac{W_{пол}}{P_m - P_{mn}} = \frac{312}{P_m - 49.4}; \quad (2)$$

$$\tau_{пл} = \tau_m + \tau_n + \frac{W_{пол}}{P_m - P_{mn}} = 0.4 + \frac{312}{P_m - 49.4}; \quad (3)$$

$$M = m_0 T_{зод} \frac{1 - \Pi_p / 100}{\tau_{пл}}. \quad (4)$$

Графіки функцій  $\frac{\Delta P_m}{P_m} = f_{\Delta P}(P_m)$  та  $\frac{\Delta M}{M} = f_{\Delta M}(M)$  показані на рис. 1.

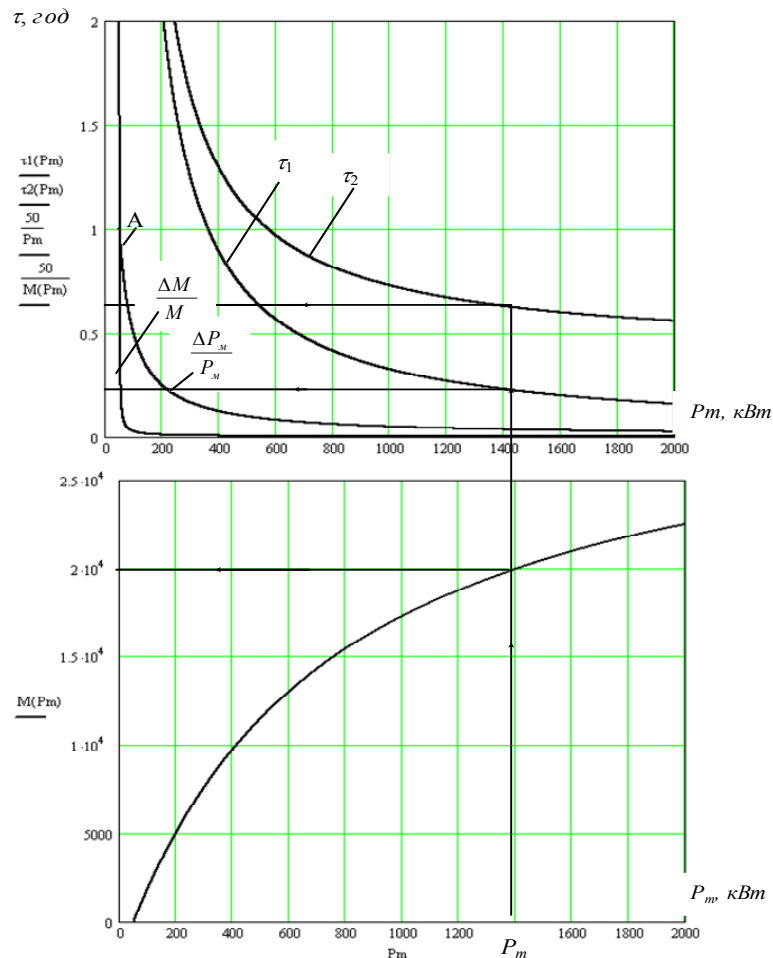


Рис. 1. Зміна показників роботи індукційної печі в залежності від потужності, що виділяється в металі

Умова  $\frac{\Delta P_M}{P_M} > \frac{\Delta M}{M}$  забезпечується правіше точки А. Для зразкового розрахунку з ура-

хуванням сучасної тенденції збільшення єдиної потужності індукційних печей приймаємо  $P = 1420 \text{ кВт}$ , що дозволяє зробити розплавлення твердої металошихти за  $\tau_m = 0.18 \text{ ч}$ . З урахуванням проведених розрахунків теплової ККД проєктованої індукційної печі з підвищенням частоти струму індуктора місткістю 1,6 тонни складе:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_{mn}}{P} = 1 - \frac{49.4}{1420} = 0.96. \quad (5)$$

– Складання енергетичного балансу індукційної печі. За результатами розрахунку складено схему енергетичного балансу індукційної тигельної пічної установки ІЛК -6 / 1,6, яка приведена на рис. 2.

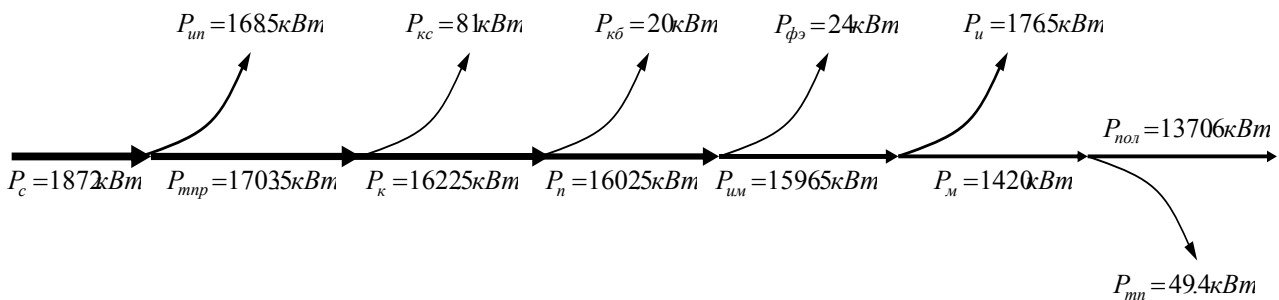


Рис. 2. Структура енергетичного балансу індукційної печі ІЛК-1.6 з підвищеною частотою

Індукційний нагрів є досить складний процес взаємодії електромагнітних і теплових явищ, що важко піддається точному математичному опису. Тому при аналітичних розрахунках зазвичай використовують різні спрощені математичні моделі, засновані на різних гіпотезах.

Для побудови математичної моделі були зроблені наступні дмуть допущення

1. Тепловий вузол має циліндричну симетрію, азимутними градієнтами нехтуємо.
2. Технологічний процес прогріву форми в печі достатнє але тривалий, тому розподіл температури в тепловому вузлі стаціонарний.
3. У першому наближенні нехтуємо поглинанням випромінювання зважаючи на малу щільності парів в камері [3, 4].
4. Температура стінки камери постійна і відома.
5. Температура шторки різна зовні і всередині, але не через змінюється по радіусу.
6. Нехтування градієнтами теплофізичних властивостей при наявності градієнтів температури всередині технологічних об'єктів.

Такі припущення дозволяють використовувати на кожному етапі лінійне рівняння теплопровідності з постійними коефіцієнтами. Зокрема, якщо виріб, що нагрівається має форму суцільного циліндра радіуса  $R$  з висотою, що значно перевершує його діаметр, то з достатньою для практики точністю процес теплопровідності на  $i$ -му етапі можна описати рівнянням:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - a_i \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} - \frac{a_i}{r} \frac{\partial r}{\partial t} = \frac{a_i}{\lambda_i} u, 0 < r < R, \quad (6)$$

де  $a_i$ ,  $\lambda$  – температуропровідність і теплопровідність виробу на  $i$ -му етапі;

$u(t, r)$  – щільність внутрішніх теплових джерел.

При цьому граничні умови беруться у вигляді:

$$\frac{\partial T(t, R)}{\partial r} = h_i [T_R - T(t, R)],$$

$$\frac{\partial T(t, 0)}{\partial r} = 0,$$
(7)

де  $h_i$  – коефіцієнт теплообміну; а  $T_R$  – температура зовнішнього середовища.

Вихрові струми, що наводяться в мідному шаблоні, і розігрівають його, а розплав при безпосередньому контакті передає тепло футеровки індуктора. Для розрахунку розподілу тепла в обсязі шаблону і індуктора вирішувалося рівняння теплового балансу в розрахунковому обсязі щодо температури  $T$ .

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}q = Q,$$
(8)

$$q = -k \text{grad}T,$$
(9)

де  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $k$  – щільність, теплоємність і теплопровідність матеріалу;  $q$  – потік тепла за рахунок теплопровідності,  $Q = Q_{\text{eddy}} + Q_{\text{water}}$  – додаткові джерела тепла, що включають нагрів розплаву вихровими струмами  $Q_{\text{eddy}}$  і охолодження шин і футерування при протіканні води через трубки  $Q_{\text{water}}$ .

Рівняння для розрахунку температурного поля в об'ємі футерованого індуктора має вигляд:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - k \Delta T = Q_{\text{eddy}} + Q_{\text{water}}.$$
(10)

Для дослідження впливу частоти обурення на динаміку процесу плавки металу в середовищі Simulink пакету MatLab розроблена імітаційна модель індукційної печі, яка представлена на рис. 3. З метою спрощення в моделі випадковим чином варіювався період коливань  $n$ , обернено пропорційний частоті.

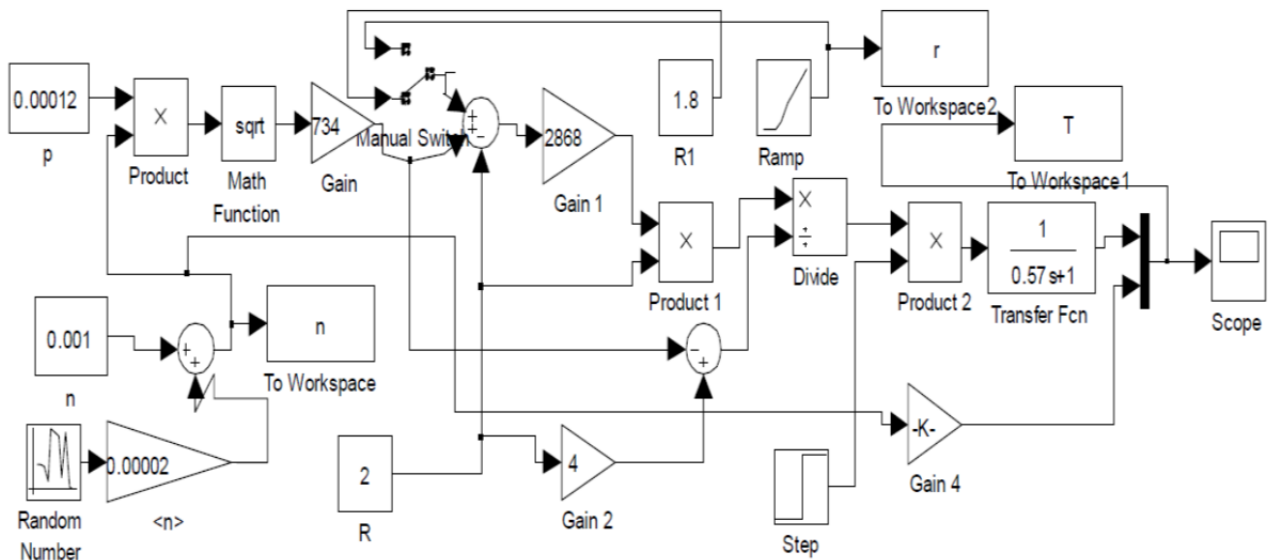


Рис. 3. Математична модель системи управління індукційною піччю

Аналіз результатів моделювання в вигляді графіків перехідних процесів зображено на рис. 4 дозволив зробити висновок, що відхилення робочої частоти на 2 % викликає приблизно таке ж відхилення збільшення температури на глибині в  $0,2R$  від зовнішнього радіусу  $R$ .

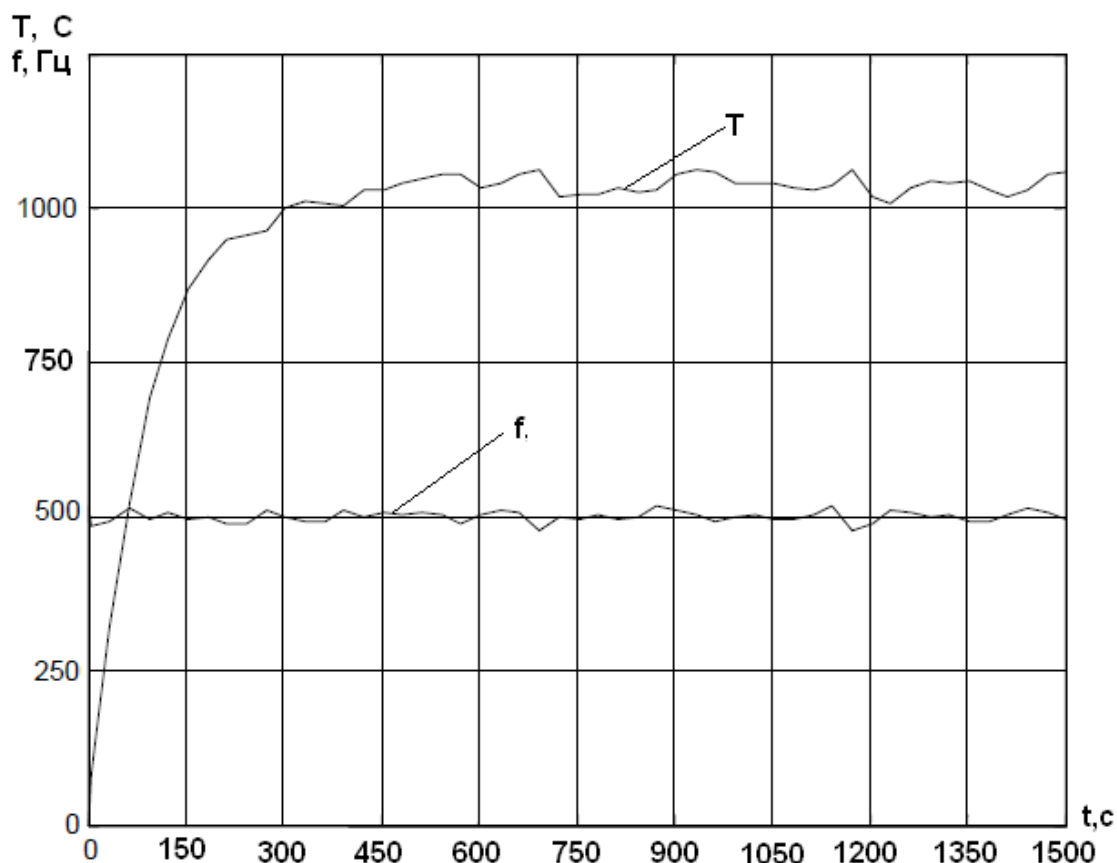


Рис. 4. Залежність зміни температури в шарі металу від обурення частоти індуктора

### ВИСНОВКИ

У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування нагрівом розплаву у індукційній печі за рахунок впровадження системи автоматизованого управління стабілізації температурного режиму:

1. досліджені особливості технологічного процесу нагріву розплаву в індукційній печі, встановлення параметрів процесу керування;
2. удосконалена математична модель і алгоритм температурного нагріву розплаву;
3. створена автоматизована система керування режимом теплообміну в індукційній печі шляхом регулювання частоти сили струму на індукторі;
4. розроблена структура і алгоритм функціонування автоматизованої системи керування;
5. здійснено формування інформаційного забезпечення системи автоматизації та інтегрування її у базову систему обліку параметрів технологічного процесу.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Золотарев В. М., Беянин Р. В., Подольцев А. Д. Анализ электромагнитных процессов в индукционной канальной печи, используемой в кабельной промышленности. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2016. Вип. 44. С. 110–115.
2. Щерба А. А., Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н., Ушаков В. И. Компьютерное моделирование электротепловых процессов и термомеханических напряжений при индукционном нагреве движущихся медных слитков. *Техн. електродинаміка*. 2013. № 2. С. 10–18.
3. Щерба М. А. Закономерности распределения электрического поля в диэлектрической среде при изменении размеров и формы проводящих включений. *Техн. електродинаміка*. 2012. № 2. С. 19–20.

УДК 681.5:629.3

Колесник О. В. (АВП-18-1зм).

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНУ

*У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування електроприводом сушильного барабану в перехідних режимах. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості електроприводу, встановлення параметрів процесу керування. Розроблена математична модель електромеханічної системи ПЧ – АД – сушильний барабан. Удосконалена математична модель і алгоритм регулювання частотного регулювання швидкості електроприводу. Запропонована практична реалізація автоматизована система керування швидкістю обертання електроприводу сушильного барабану. Розроблена структура і алгоритм функціонування автоматизованої системи управління сушильним барабаном.*

*In the article solved the actual scientific and technical problem of studying the process of controlling the electric drive of a drying drum in transient conditions. A study of the features of the technological process of controlling the speed of the electric drive has been carried out, the control parameters have been established. A mathematical model of the electromechanical system IF - AD - dryer drum was developed. Advanced mathematical model and algorithm for regulating the frequency control of the speed of the electric drive. The proposed practical implementation of an automated system for controlling the speed of rotation of the electric drive of a drying drum. The structure and algorithm of functioning of the automated control system of the drying drum*

Розвиток виробництва будівельної індустрії нерозривно пов'язане зі збільшенням попиту на продукцію при одночасному підвищенні вимог до якості товару. Зважаючи на це, прагнення модернізувати діючі виробництва і знизити собівартість товару сприяє розвитку виробництва цементу. Одним із способів зменшення собівартості продукції є скорочення найбільш істотних статей витрат на виробництво, тому з науково-практичної точки зору найбільший інтерес представляють енергоємні процеси [1].

Одним з таких технологічних процесів в цементній промисловості є сушка в барабанних сушарках, на режим якої впливає безліч факторів, які по-різному впливають на енерговитрати. Оскільки на випаровування рідини витрачається значна кількість теплоти, відповідно, потрібні значні енерговитрати, то проблема оцінки роботи існуючого обладнання та вибору режиму сушіння, що забезпечує підвищення ефективності використання сушильної установки, є актуальним завданням [2, 3].

У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання швидкості обертання сушильного барабана, а також алгоритмів управління є актуальною науково-технічною задачею.

Ціль дослідження – зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу сушки цементу завдяки впровадженню автоматизованої системи керування електроприводом сушильного барабану.

Об'єкт дослідження. Процес керування електроприводом сушильного барабану в перехідних режимах пуску, стопоріння і завантаження.

У цементній промисловості для сушіння добавок (доменний шлак, опока, і ін.), що вводяться в цемент, в основному застосовують сушильні барабани. У зв'язку з фізичними властивостями добавок для їх сушки застосовують сушильні барабани прямого типу, тобто такі, в яких топкові гази і висушуваний матеріал рухаються в одному напрямку [4, 5].

Схема процесу сушіння в сушильному барабані наведена на рис. 1.

Математичні моделі сушильного барабана будуються на основі визначальних рівнянь, що протікають в них фізичних процесів, а їх достовірність – від прийнятих у вихідних рівняннях припущень.

Обертання сушильного барабану здійснюється частотно-регульованим електроприводом, тобто АСУ електроприводом сушильного барабану структурно має наступні послідовні елементи: ПЧ-АД, як приводна система обертання та сушильний барабан як об'єкт управління.



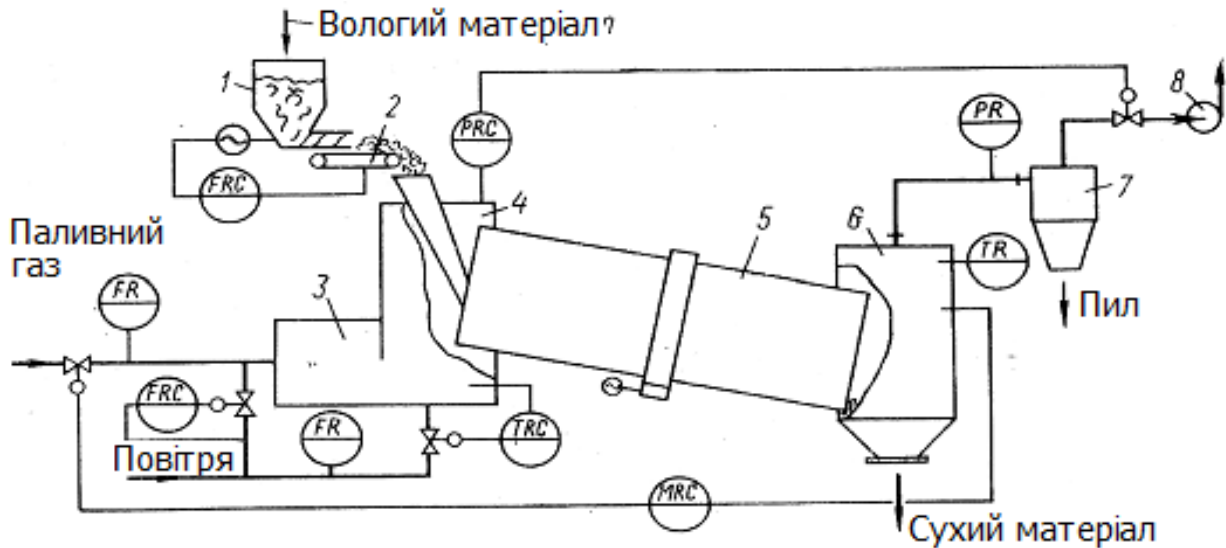


Рис. 1. Схема процесу сушіння в сушильному барабані:

1 – бункер вологого матеріалу; 2 – дозатор; 3 – топка; 4 – змішувальна камера; 5 – сушильний барабан; 6 – бункер сухого матеріалу; 7 – циклон; 8 – вентилятор

Структурна схема системи ПЧ-АД з зворотним зв'язком за швидкістю має вигляд, як представлено на рис. 2.

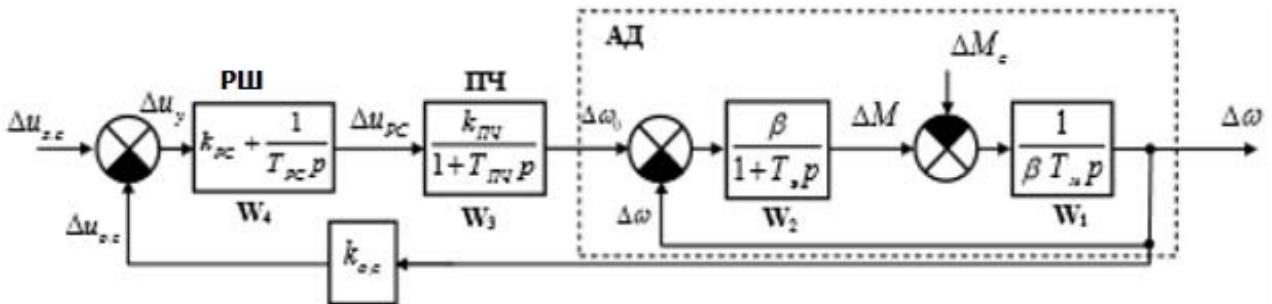


Рис. 2 Структурна схема системи ПЧ-АД зворотним зв'язком за швидкістю

Математичний опис модель ПЧ-АД зі зворотним зв'язком за швидкістю – сушильний барабан має вигляд [6]:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_n p} (\Delta M - \Delta M_c); \\ T_s \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega); \\ T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = K_{ПЧ} \Delta U_{пу}; \\ T_{пу} \frac{d\Delta U_{пу}}{dt} = \Delta U_y - \frac{d\Delta\omega_0}{dt} K_{пу} T_{пу} K_{зз} - K_{пу} T_{пу} K_{зз} \Delta\omega; \\ T_n \frac{dz}{dt} + z = h_0 \omega^2 + b \omega. \end{cases} \quad (1)$$

Для синтезу передавальних функції здійснено запис системи рівнянь у формі Коші:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\beta T_m p} (x_2 - A); \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{\beta}{T_s} x_3 - \frac{\beta}{T_s} x_1 - \frac{1}{T_s} x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{K_{ПЧ}}{T_{ПЧ}} x_4 - \frac{1}{T_{ПЧ}} x_3; \\ \frac{dx_4}{dt} = u - \frac{dx_1}{dt} K_{пу} K_{зз} - K_{пу} K_{зз} x_1; \\ \frac{dx_5}{dt} = \left( \frac{2h_0 x_0}{T_n} + \frac{b}{T_n} \right) x_1 + \frac{1}{T_n} x_5. \end{cases}, \quad (2)$$

де  $x_1 = \Delta\omega$ ;  $x_2 = \Delta M$ ;  $x_3 = \Delta\omega_0$ ;  $x_4 = \Delta U_{pc}$ ;  $x_0$  – коефіцієнт лінеаризації змінної  $\omega^2$ .

На основі рівнянь 2 синтезована математична модель системи ПЧ-АД – сушильного барабана, яка зображена на структурній схемі рис. 3.

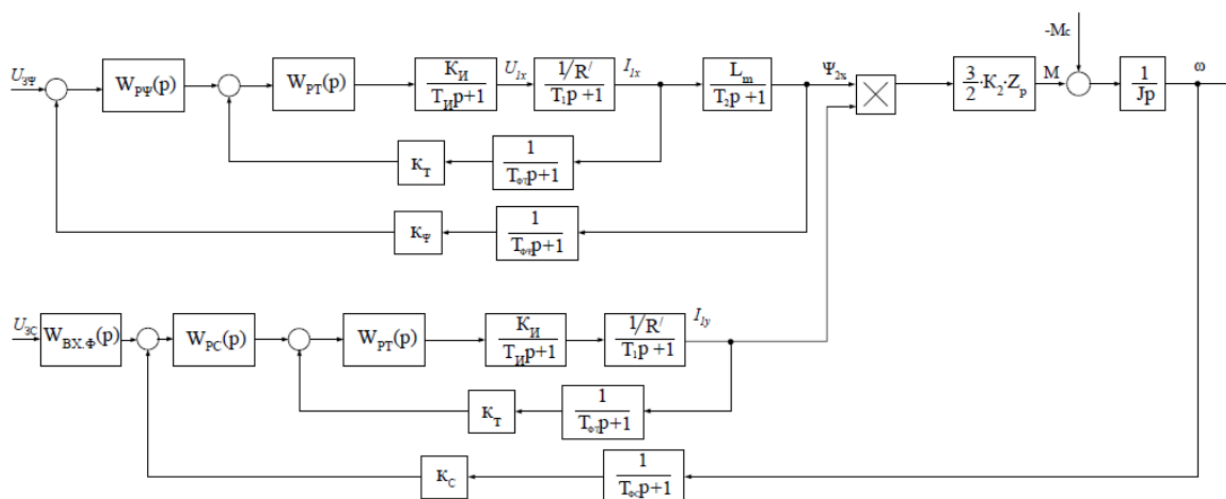


Рис. 3. Структурна схема математичної моделі електромеханічної системи ПЧ-АД – сушильний барабан

Проведено синтез регуляторів струму, поточозчеплення та швидкості системи управління електроприводом з використанням принципу модального оптимуму [7]. Передаточні функції синтезованих регуляторів мають вигляд:

– Контур струму:

$$W_{pc}(p) = K_{pc} \frac{T_{pc} p + 1}{T_{pc} p}, \quad (3)$$

де  $T_{pc} = T_1$  – постійна часу регулятора струму, с;

$$K_{pc} = \frac{T_1 R'}{K_u K_c a_c T_{\mu c}} - \text{коефіцієнт посилення регулятора};$$

$$K_{cx} = \frac{U_{зс.мах}}{I_{ен.мах}} - \text{коефіцієнт зворотного зв'язку по струму, В/А};$$

$a_m$  – коефіцієнт оптимізації контуру струму по модальному оптимуму.

– Контур поточозчеплення:

$$W_{p\psi}(p) = K_{p\psi} \frac{T_{p\psi} p + 1}{T_{p\psi} p}, \quad (4)$$

де  $K_{p\psi} = \frac{K_c T_2}{2K_\psi L_m T_{\mu\psi}}$  – коефіцієнт посилення регулятора потокозчеплення;

$T_{p\psi} = a_m T_{\mu m} + T_\phi$  – постійна часу регулятора потокозчеплення, с.

На вхід контуру потокозчеплення встановлюється фільтр:

$$W_{BX.\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi\psi} p + 1}, \quad (5)$$

– Контуру швидкості

$$W_{p\omega}(p) = K_{p\omega} \frac{T_{pc} p + 1}{T_{pc} p}, \quad (6)$$

де  $K_{p\omega} = \frac{2K_c J_s}{6K_2 Z_p K_{\omega} \Psi_{2x} T_{\mu\omega}}$  – коефіцієнт посилення регулятора швидкості;

$T_{\mu\omega} = a_m T_{\mu c} + T_{\phi c}$  – постійна часу контуру швидкості.  $K_{\omega} = \frac{U_{zc.макс}}{\omega_{макс}}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості;  $T_{p\omega} = \epsilon_c \cdot a_m T_{\mu\omega}$  – постійна часу регулятора швидкості, с.

На вхід контуру швидкості встановлюється фільтр:

$$W_{BX.\phi}(p) = \frac{1}{(4T_{\mu\omega} + T_{\phi\omega})p + 1}, \quad (7)$$

На підставі математичного опису (1-7) та структурної схеми (рис.2) побудована імітаційна модель ПЧ-АД - сушильний барабан, яка наведена на рис. 3.

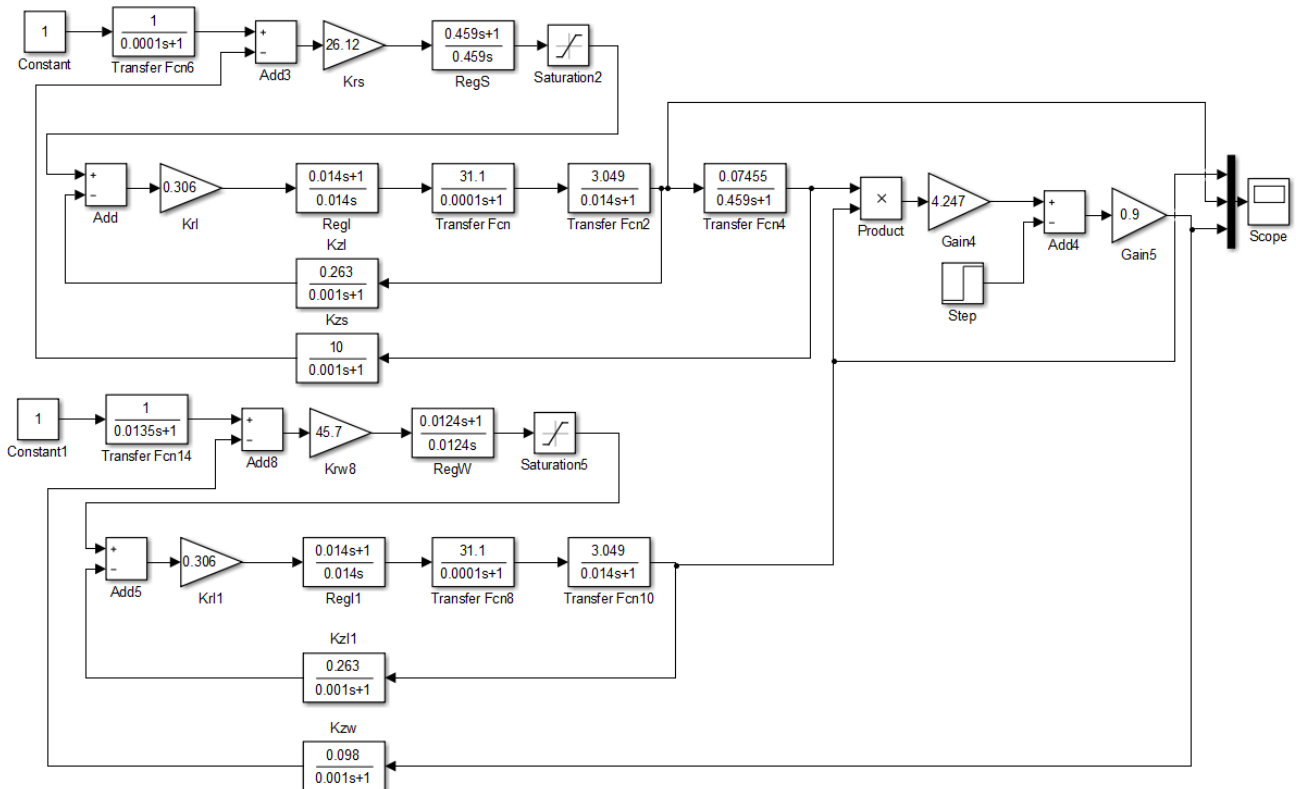


Рис. 2. Імітаційна модель ПЧ-АД-сушильний барабан в МПП MatLab

Результати перехідних процесів при моделюванні контуру швидкості, при відпрацюванні ступеневої вхідного впливу  $U_{зи} = 0,1$  В, представлені у вигляді характеристики  $\omega(t)$  на рис. 12.

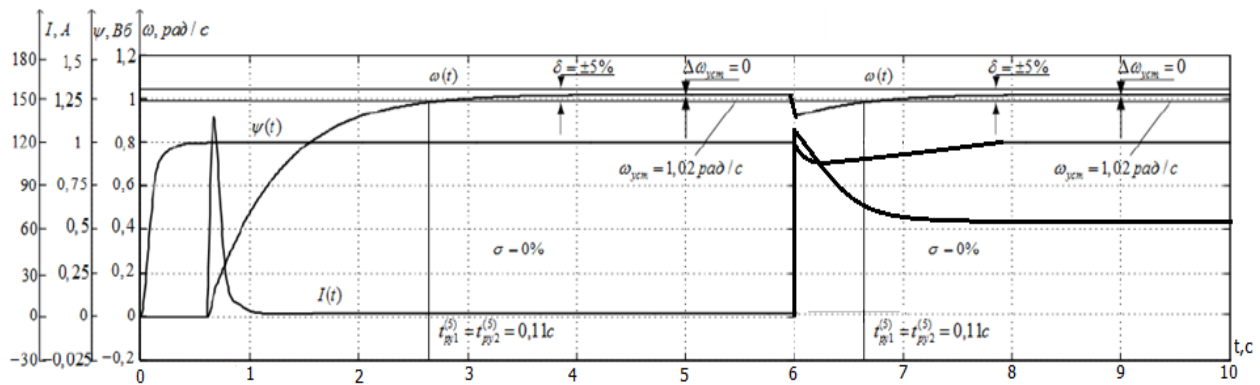


Рис. 3 Перехідні процеси  $\Psi(t)$ ,  $I(t)$  та  $\omega(t)$  контуру швидкості при пуску на холостому ходу та накладенні навантаження

Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму регулювання швидкості обертання сушильного барабану до заданих змінних умов експлуатації, тобто коливання моменту при завантаженні.

## ВИСНОВКИ

Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості електроприводу, встановлення параметрів процесу керування. Розроблена математична модель електромеханічної системи ПЧ – АД – сушильний барабан. Удосконалена математична модель і алгоритм регулювання частотного регулювання швидкості електроприводу. Створена автоматизована система керування швидкістю обертання електроприводу сушильного барабану.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранцева Е. А., Мизонов В. Е., Хохлова Ю. В. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет. Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина», 2008. 116 с.
2. Демин О. В., Смолин Д. О., Першин В. Ф. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2012. Т. 55, № 8. С. 108–111.
3. Дёмин О. В., Смолин О. Д., Першин В. Ф. Оперативное управление процессом смешивания. *Вопросы современной науки и практики*. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2012. № 4. С. 356–366.
4. Демин О. В., Першин В. Ф., Свиридов М. М. Управление технологическим процессом в одновальном лопастном смесителе. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2009. № 7. С. 16–17.
5. Ди Дженнаро А. И., Першина С. В., Першин В. Ф. Определение коэффициента внутреннего трения сыпучих материалов при различных значениях плотности. *Вопросы современной науки и практики*. 2011. № 3. С. 366–368.
6. Москаленко В. В. Электрический привод: учеб. пособ. для студ. учреждений сред. проф. образования – Москва: Мастерство: Высшая школа, 2000. 368 с., ил.
7. Куропаткин П. В. Теория автоматического управления: нач. пос. для электротехн. спец. Москва: Вища школа, 1973. 528 с.

Стаття надійшла до редакції 05.12.2019 р.

УДК 681.5

Купенко А. Б. (АВП-18зм)

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧОЇ ПІДСТАНЦІ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

*Стаття стосується одного з найважливіших компонентів ринку електроенергії – його інструментального забезпечення, яке являє собою сукупність систем, приладів, пристроїв, каналів зв'язку, алгоритмів для контролю і управління параметрами енергоспоживання. Запропонована архітектура побудови АСКОЕ, що створює умови для ефективної енергозберігаючої діяльності промислового підприємства і адаптації його до ринкових перетворень в енергетиці. Її впровадження дозволяє отримати не тільки економічний ефект, а й підвищити відповідальність споживачів за використання енергії, що спонукає їх проводити енергозберігаючі заходи з метою скорочення енергоспоживання.*

*The article concerns one of the most important components of the electricity market - its instrumental support, which is a combination of systems, devices, devices, communication channels, algorithms for monitoring and controlling energy consumption parameters. The architecture of building an automated energy metering system is proposed, which creates the conditions for effective energy-saving activity of an industrial enterprise and its adaptation to market transformations in the energy sector. Its implementation allows to obtain not only an economic effect, but also increase the responsibility of consumers for the use of energy, encourages them to conduct energy-saving measures in order to reduce energy consumption.*

У зв'язку з переходом до ринкової економіки, виникла необхідність підвищити ефективність управління енергоспоживанням, оскільки це відповідає економічним інтересам постачальників і споживачів електроенергії. Одним з напрямків вирішення даної задачі є точний контроль і облік електроенергії. Саме цей напрямок має забезпечити значну частину загального енергозбереження, потенціал якого складає більше 1/3 всього нинішнього обсягу енергоспоживання.

Одним з найважливіших компонентів ринку електроенергії є його інструментальне забезпечення, яке являє собою сукупність систем, приладів, пристроїв, каналів зв'язку, алгоритмів і т. п. для контролю і управління параметрами енергоспоживання.

Використання в складі АСКОЕ персональних ЕОМ зі спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ) надає цим системам додаткову гнучкість. Крім вирішення основного завдання щодо забезпечення функціонування АСКОЕ, ці ЕОМ можуть забезпечувати вирішення низки прикладних задач по оцінці стану електроенергетичних систем і достовірності вимірювань, наприклад, виявлення втрат енергії і локалізацію місць цих втрат.

Тому формування і розвиток інструментального забезпечення автоматизованої системи контролю та обліку споживання електроенергії є досить актуальною задачею.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи розподільчої підстанції шляхом дослідження та розробка автоматичної системи контролю і обліку електроенергії.

Аналіз існуючих систем електропостачання промислових підприємств міста та їх систем обліку електроенергії свідчить, що воно зазвичай здійснюється від закритого розподільчого пристрою ЗРУ-6 кВ підстанції глибокого вводу ПГВ 110/6 кВ. На підприємствах знаходяться силові трансформатори, приєднані до мереж ГРУ ПВС від підстанції 110/6 кВ. Для компенсації реактивної енергії використовуються статичні компенсуючі пристрої. Основні електроспоживаючі агрегати це – електросталеплавильні печі, верстатне обладнання, заводські насосні і компресорні установки та інше обладнання. Для обліку активної енергії на підстанціях підприємств використовуються лічильники типу САЗУ – І670Д. Прилади призначені для обліку активної енергії трифазного струму номінальною частотою 50 Гц [1].

В результаті проведеного глибокого аналізу електрообладнання центральних розподільчих підстанцій підприємства, існуючої системи контролю і обліку електроенергії, релейного захисту та автоматики трансформаторних підстанцій, а також системи електропостачання підприємств в цілому можна зробити ряд висновків [1, 2].

По-перше, на центральних розподільчих підстанціях підприємств знаходяться в експлуатації морально застарілі з виробленим ресурсом маломасляні високовольтні вимикачі типу ВМП - 10 - 1000 - 20 і ВМП - 10 - 630 - 20, що тягне за собою додаткові витрати на їх обслуговування та ремонт. В релейних відсіках встановлені застарілі реле електромагнітного типу, деякі з них давно зняті з виробництва, що створює труднощі з їх обслуговуванням і ремонтом. На вводах центральних розподільчих пунктів (ЦРП) встановлені лічильники активної і реактивної енергії індукційного типу з класом точності 2,0, що виключає точний облік з-за великої похибки.

По-друге, відсутній автоматизований контроль електроенергії.

По-третє, при наявності на центральних розподільчих підстанціях електроприймачів 1-ої категорії, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів і пожеж.

Таким чином, дослідження і модернізація системи електропостачання підприємства з метою підвищення її техніко-економічних показників і точності контролю та обліку електроенергії є актуальною задачею.

Автоматизована система обліку електроенергії (АСКОЕ) представляє з себе багаторівневу інформаційно-обчислювальну систему з централізованим управлінням і функцією виконання вимірювань. Будується система з урахуванням структури і може мати 2-х рівневу архітектуру [3].

Перший рівень – рівень інформаційно-вимірювального комплексу (далі ІВК). Він із себе представляє канали вимірювання і каналоутворювального обладнання, яке підготовлено для передачі інформації з приладів обліку по GSM/GPRS каналу, або Ethernet, Modbus та ін. Основним компонентом вимірювальних каналів є однофазні, трифазні а так же балансові лічильники електричної енергії, а так же пристрій збору і передачі даних (ПЗПД) по каналу або мережі.

Другий рівень – рівень інформаційно-обчислювального комплексу (далі ІОК), складається з сервера збору даних (СЗД) і АРМ диспетчера. Цей рівень містить в собі комплекс програмних, апаратних, каналоутворюючих засобів, які виконують збір інформації з ІОК системи і її обробку.

У структуру АСКОЕ входять пристрої передачі і збору інформації, апаратно-програмний комплекс для збору та обробки інформації.

В Україні вже використовуються системи АСКОЕ БП з використанням PLC-технології. З технології функціонування АСКОЕ природним чином випливає її ієрархічна структура [4]. Нюанси архітектури можуть бути найрізноманітніші, вона може мати дуже велику і складну структуру, але в класичному варіанті система утворює три рівня. Загальна архітектура АСКОЕ наведена на рис. 1.

У підсистему нижнього рівня крім безпосередньо лічильників традиційно включають контролери (зазвичай звані ПЗПД - пристрої збору і представлення даних) і лінії зв'язку контролера з лічильниками.

Контролери збереглися, ще коли використовувалися лічильники з імпульсними виходами, і було потрібно пристрій, що підсумовує ці імпульси. У сучасних системах, які використовують мікропроцесорні лічильники з цифровими інтерфейсами, ПЗПД, (особливо в системах малого масштабу) є надмірною ланкою – його функції перекладаються на ПЕОМ середнього рівня. Контролери на нижньому рівні доцільно застосовувати лише в дуже складних територіально-розподілених системах.

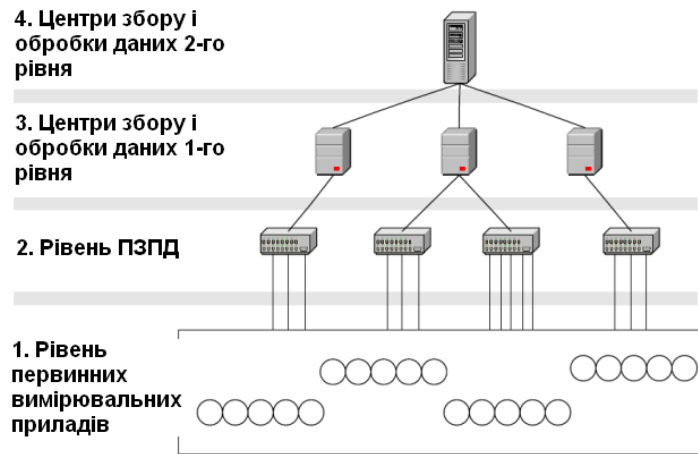


Рис. 1. Загальна архітектура АСКОЕ

Середній рівень являє собою автоматизоване робоче місце – АРМ (одне або декілька фахівця – енергетика, реалізоване на базі робочої станції локальної обчислювальної мережі (ЛОМ) підприємства. На цій робочій станції зберігається база даних і працює інтерфейс з базою і всією системою в цілому. На підприємствах АРМ можна реалізувати на робочій станції загального користування у вигляді окремого завдання. Це завдання може працювати в прихованому режимі весь час, за винятком безпосередніх сеансів поводження персоналу до системи. У системах малого масштабу (невелике кількість компактно розташованих каналів обліку) комп'ютер робочої станції може виконувати функції контролера збору даних.

Верхній рівень – рівень зовнішніх користувачів: постачальників і операторів ринку. Вони отримують доступ до необхідних їм даних по виділених каналах або по лініях загального користування. Інформація їм поставляється тільки відповідно до їх правами доступу.

Всі рівні АСКОЕ пов'язані між собою каналами зв'язку. На сьогоднішній день в АСКОЕ освоєні і активно застосовуються низка технологій для передачі даних: GSM/GPRS – технології; PLC-технології; Radio-технології; Ethernet, Internet – технології та RS-485, RS-232, M-BUS – технології.

Різноманітність інтерфейсів різного виду накладає певні вимоги на апаратуру інтегрованої АСКОЕ, яка повинна відповідати параметрам певного типу локальної мережі та фізичних каналів зв'язку. Часто виникає необхідність в перетворенні інтерфейсів при передачі інформації між апаратурою від різних виробників.

На рис. 2 пропонується варіант побудови архітектури АСКОЕ промислового підприємства з використанням сучасних апаратних і програмних засобів. Така інформаційна система повністю відповідає вимогам концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку. АСКОЕ забезпечує комерційний і технічний облік електроенергії, оперативний контроль поточного навантаження, споживання або відпустки газу, засоби підтримки прийняття рішень при плануванні електроспоживання і вироблення енергозберігаючої політики підприємства. АСКОЕ реалізована в рамках архітектури клієнт-сервер на основі СУБД [2,4].

Система має гнучкість щодо зміни схем підключення і правил проведення розрахунків. Користувачеві надається широкі можливості по формуванню груп обліку (тарифних складових), налаштування вихідних форм, підготовці звітів. При цьому в якості первинних джерел інформації можуть використовуватися лічильники з імпульсним або цифровим (при наявності відкритого протоколу) виходом, експлуатовані на підприємстві.

Використання технології "клієнт-сервер" забезпечує можливість одночасної роботи з системою безлічі користувачів, що виконують як різні, так і однотипні функції, а також підключення до системи в режимі "клієнта" інших автоматизованих систем.

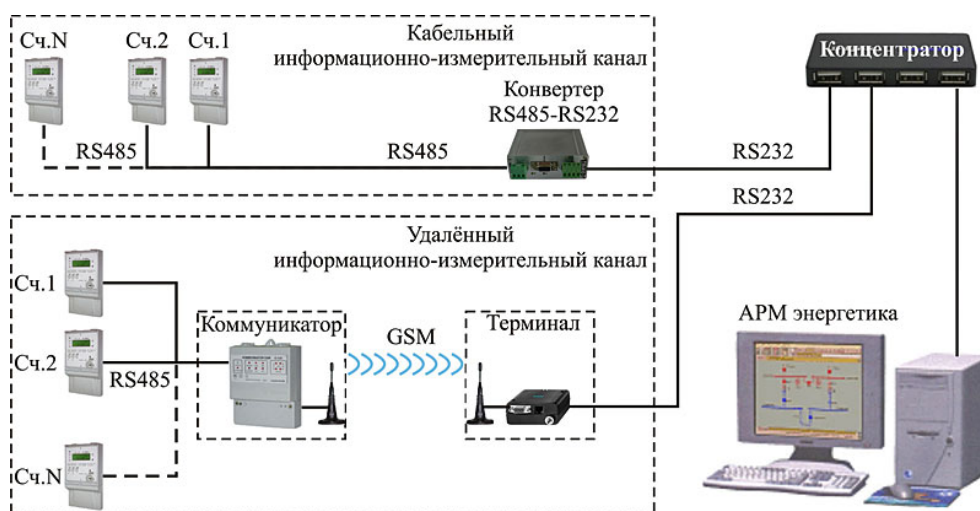


Рис. 2. Архітектура АСКОЕ підприємства з використанням сучасних апаратних і програмних засобів

### ВИСНОВКИ

Використання запропонованої архітектури побудови АСКОЕ створює умови для ефективної енергозберігаючої діяльності промислового підприємства і адаптації його до ринкових перетворень в енергетиці.

На підставі вищевикладеного зроблені висновки про можливості підприємства при створенні АСКОЕ. Впровадження автоматизованих систем контролю і обліку в енергосистемах дозволяє:

- підвищити точність до 2 %, оперативність і достовірність обліку витрати електроенергії і потужності;
- виконувати оперативний контроль за режимами електроспоживання, в тому числі контроль договірних величин електроенергії і потужності;
- оперативно пред'являти санкції підприємствам за перевищення договірних і дозволених величин потужності.

Впровадження АСКОЕ в промислових підприємствах дає можливість енергосистемі:

- вести в автоматизованому режимі жорсткий контроль за споживанням енергії і потужності підприємствами-абонентами;
- організувати відключення порушників режимів;
- здійснювати розрахунки за спожиту енергію і потужність;
- виставляти штрафні санкції підприємствам у разі перевищення ними договірних величин.

Це дозволяє отримати не тільки економічний ефект, а й підвищити відповідальність споживачів за використання енергії, що спонукає їх проводити енергозберігаючі заходи з метою скорочення енергоспоживання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: навч. метод. посіб. Москва: Высш. шк., 1990. 376 с.
2. Стухляк П. Д. Теория информации (информационно-визмерительные системы, похибки, идентификация): навч. посіб. Херсон, 2011. 371 с.
3. Проектирование обліку електроенергії, комерційного обліку. URL: <http://chertezhi.com/modules/files/viewcat.php?cid=105&min=10&orderby=hitsD&show=10&> (дата звернення: 12.09.2019).
4. Поспелов Г. Е., Федин В. Т. Электрические сети и системы. Проектирование: учеб. пособ. Минск: Высшая школа, 1988. 308 с.



УДК 681.5:629.3

Медяников Д. Г. (АВП-18-1зм).

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄМНОЮ ВИТРАТОЮ ВОДИ ДЛЯ ГАЗООЧИСНОЇ СИСТЕМИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

*В статті вирішене актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування витратою води на газоочищення доменного газу. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання газоочищення доменного газу, встановлення параметрів процесу керування. Удосконалена математична модель і алгоритму регулювання витрати води на газоочищення доменного газу з використанням об'ємного регулювання. Створена автоматизована система керування витратою води на газоочищення доменного газу. Розроблені структури і алгоритм функціонування автоматизованої системи керування.*

*In the article, the urgent scientific and technical problem of studying the process of controlling the flow of water for gas purification of blast furnace gas was solved. A study of the features of the technological process of regulation of gas purification of blast furnace gas, the parameters of the control process are established. Improved mathematical model and algorithm for regulating the flow of water for gas purification of blast furnace gas using volume regulation. An automated system for controlling the flow of water for gas purification of blast furnace gas has been created. Developed structure and functioning algorithm of an automated control system.*

**Актуальність.** Охорона повітряного середовища від забруднень промисловими викидами є важливою загальнолюдською завданням, що входить в комплекс глобальних проблем охорони природи і поліпшення використання природних ресурсів, а пилогазоочищення – це практична галузь екології та виробництва.

Природоохоронні органи в усьому світі продовжують посилювати вимоги щодо викидів шкідливих речовин в атмосферу. Україна в цьому сенсі не виняток. Протягом наступних трьох років всі ці виробництва повинні встановити необхідні додаткові газоочисні системи і пройти тестування. Газові викиди від всіх перерахованих виробництв характеризуються високою температурою, високою концентрацією пилу самих різних розмірів, часто липкою пилом, наявністю важких металів і їх компонентів, часто високою концентрацією кислотних домішок.

Необхідно відзначити, що все більше компаній схилиються до мокрих технологій очищення газів.

У металургійній промисловості одним із значущих ресурсів при мокрому способі газоочищення є вода. Вона широко використовується в технологічному циклі газоочищення. Також слід зазначити, що найбільш енерго- і ресурсномісткою, в очищенні доменного газу є система подачі води на зрошення газоочисних апаратів. Отже, економія даного природного ресурсу є однією з основних задач енерго- і ресурсозбереження. У зв'язку з цим виявлення допустимих режимних параметрів, що дозволяють, не знижуючи ступеня очищення газу знизити витрату води на зрошення апаратів системи газоочищення є актуальною науково-технічною задачею.

Мета дослідження – зниження енерговитрат процесу газоочищення доменної печі шляхом впровадження автоматизованої системи керування об'ємною витратою води, що подається в газоочисну систему.

В якості зрошувальної рідини в апаратах мокрого очищення газу, в основному, застосовується вода; в разі одночасного очищення газів від пилу і хімічних газоподібних речовин вибір зрошувальної рідини (абсорбенту) визначається процесом абсорбції. З метою зменшення об'ємної витрати зрошувальної рідини застосовується повна або часткова рециркуляція системи зрошення.

Система мокрого газоочищення включає послідовно розташовані апарати для зниження температури газів до заданих меж (скрубери); апарати для очищення газів (труби Вентури) і апарати для відділення вологи (краплевловлювачі різної конструкції).

Система подачі води на газоочищення доменних газів, яка модернізується є водопровідною системою з дросельним регулюванням тиску і витрати. Функціональна схема існуючої АСУ подачі води на газоочищення доменного газу приведена на рис. 1.

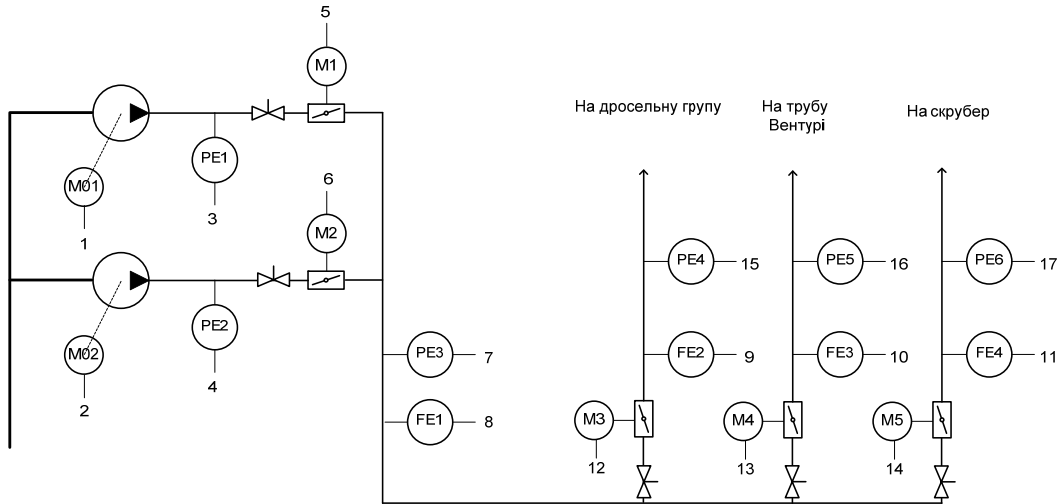


Рис. 1. Функціональна схема існуючої АСУ подачі води на газоочищення доменного газу

Подача води в систему здійснюється насосною станцією, що складається з двох напірних нерегульованих насосів, які приводяться в обертання асинхронними електродвигунами. Насоси за технічними характеристиками має однаковий робочий об'єм. Для забезпечення необхідної витрати води в системі газоочищення на насосній станції реалізований принцип резерву, а саме при недостатньому обсягу витрати води проводиться підключення другого насоса. Підключення другого насоса здійснюється в автоматичному режимі при недостатній витраті води в системі. Контроль витрати проводиться за показаннями витратоміра FE1, включеного в основний розподільчий трубопровід.

Слід зазначити, що даний спосіб регулювання часто призводить до перевищення необхідної витрати води на газоочисне обладнання (дросельна група, труба Вентурі, скруббер). Перевищення витрат в існуючій системі гаситься за допомогою засувки M1 ... M5.

Контроль технологічних параметрів системи водопостачання, а саме тиску і витрати води, здійснюється за допомогою вимірювальних перетворювачів тиску і витрати. Датчики (вимірювальні перетворювачі) встановлені в лініях розгалуження трубопроводу з метою контролю тиску і витрати води, що подається на обладнання системи газоочищення.

Розглянута система управління подачею води побудована за принципом дросельного регулювання витрати. Такий спосіб регулювання витрати дуже частую тягне за собою перевитрату води, що подається в систему, і підвищене споживання електроенергії. З метою усунення даного недоліку проведемо аналіз сучасних АСУ регулювання подачі води в системі газоочищення доменних газів

На першому етапі розробки математичної моделі гідроприводу з об'ємним регулюванням здійснено визначення статичних параметрів гідравлічної апаратури системи газоочищення. За визначеними параметрами побудована математична модель гідроприводу.

Структурна схема математичної моделі гідроприводу представлена на рис. 2.

Розрахункова математична модель гідроприводу має містити всі динамічні ланки приводу.

$$W_y(p) = \frac{I_y(p)}{U_p(p)} = \frac{K_y}{T_y p + 1} = \frac{35 \cdot 10^{-3}}{0,002 p + 1}; \quad (1)$$

$$W_e(p) = \frac{X(p)}{I_y(p)} = \frac{K_e}{T_e p + 1} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,01 p + 1}. \quad (2)$$

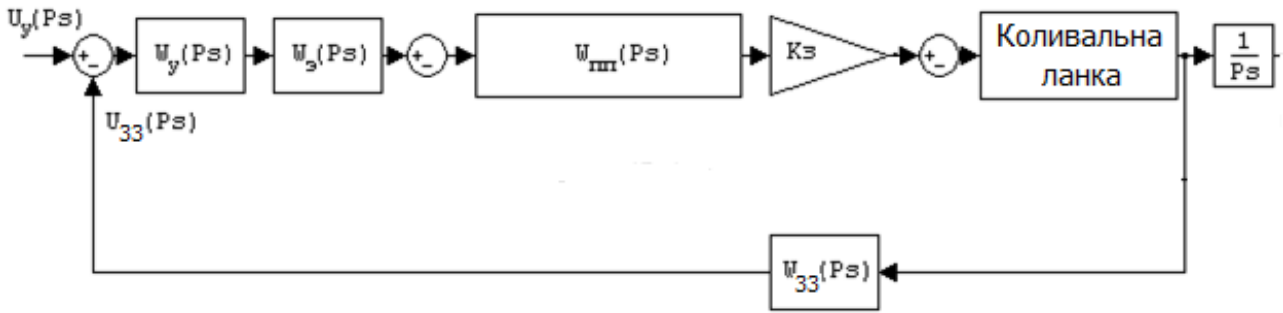


Рис. 2. Структурна схема математичної моделі гідроприводу

Передавальна функція гідравлічного мосту зі зворотним зв'язком:

$$W_{ГМ}(p) = \frac{L_{33}(p)}{X(p)} = \frac{K_{\Pi}}{T_{Г.М.}^2 p^2 + 2\varepsilon T_{Г.М.} p + 1} = \frac{0,82}{0,000049 p^2 + 0,00196 p + 1}, \quad (3)$$

Передавальна функція золотника:

$$W_3(p) = \frac{Q_3(p)}{L_3(p)} = K_3 = 0,2. \quad (4)$$

де  $Q$  – витрата рідини підводиться до витрати дросельного розподільника.

Передавальна функція розподільника з електричним управлінням (електрогідропідсилювач):

$$W_{ЕГП}(p) = \frac{Q_3(p)}{L_y(p)} = \frac{K_e}{T_e p + 1} \cdot \frac{K_{\Pi}}{T_{Г.М.}^2 p^2 + 2\varepsilon T_{Г.М.} p + 1} K_3 = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,01 p + 1} \cdot \frac{0,82}{0,000049 p^2 + 0,198 p + 1} \cdot 0,3. \quad (5)$$

Передавальна функція форсунки може бути представлена:

$$W_{\phi}(p) = \frac{L_{\phi}(p)}{Q_3(p)} = \frac{\dot{L}_{\phi}(p)}{Q_{33}(p)} \frac{L_{zy}(p)}{\dot{L}_{\phi}(p)} = \frac{K_{\phi}}{T_{2\phi}^2 p^2 + 2\varepsilon T_{2\phi} p + 1} \frac{1}{p}. \quad (6)$$

$$W_{\phi}(p) = \frac{65}{17,64 \cdot p^2 + 7,64 p + 1} \cdot \frac{1}{p}. \quad (7)$$

Проведено дослідження перехідного процесу на математичній моделі. Дослідження здійснено за допомогою МПП MATLAB.

Перехідний процес спроектованого регульованого гідроприводу без коригування представлений на рис. 3.

Отриманий перехідний процес не задовольняє вимогам, тобто занадто великий час регулювання, перерегулювання і статична помилка.

Щоб отримати прийнятний перехідний процес, необхідно скоригувати динамічну модель гідроприводу. Для цього синтезуємо цифровий регулятор витрати за допомогою програмного пакета MATLAB.

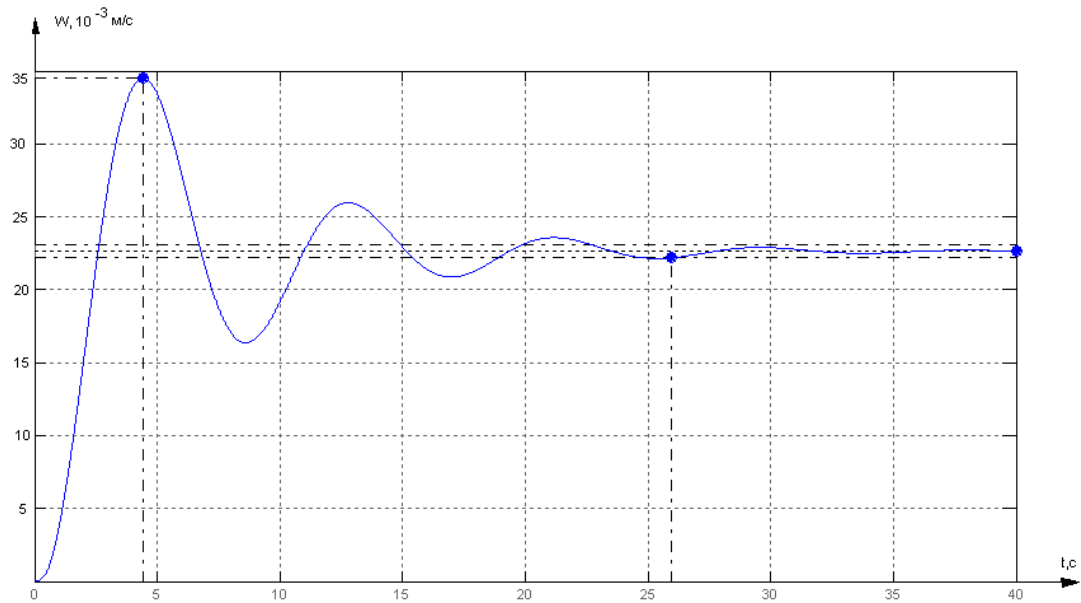


Рис. 3. Перехідний процес спроектованого гідроприводу

Передавальна функція цифрового регулятора витрати набуде вигляду:

$$W = \frac{3581801,8765(z - 0,9708) \cdot (z - 0,9725) \cdot (z - 0,974)}{z \cdot (z - 0,1736) \cdot (z - 0,096)}. \quad (8)$$

Перехідний процес скоригованого регульованого гідроприводу представлений на рис. 5.

Як видно з графіка, представленого на рисунку 4, тривалість перехідного процесу (час за яке система входить в зону 5-ти відсоткової помилки) в системі становить 0,86 с, що не перевищує тривалості перехідного процесу, встановленої в технічному завданні:

Перерегулювання становить:

$$\delta = \frac{(26,7) \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 6,8\%. \quad (9)$$

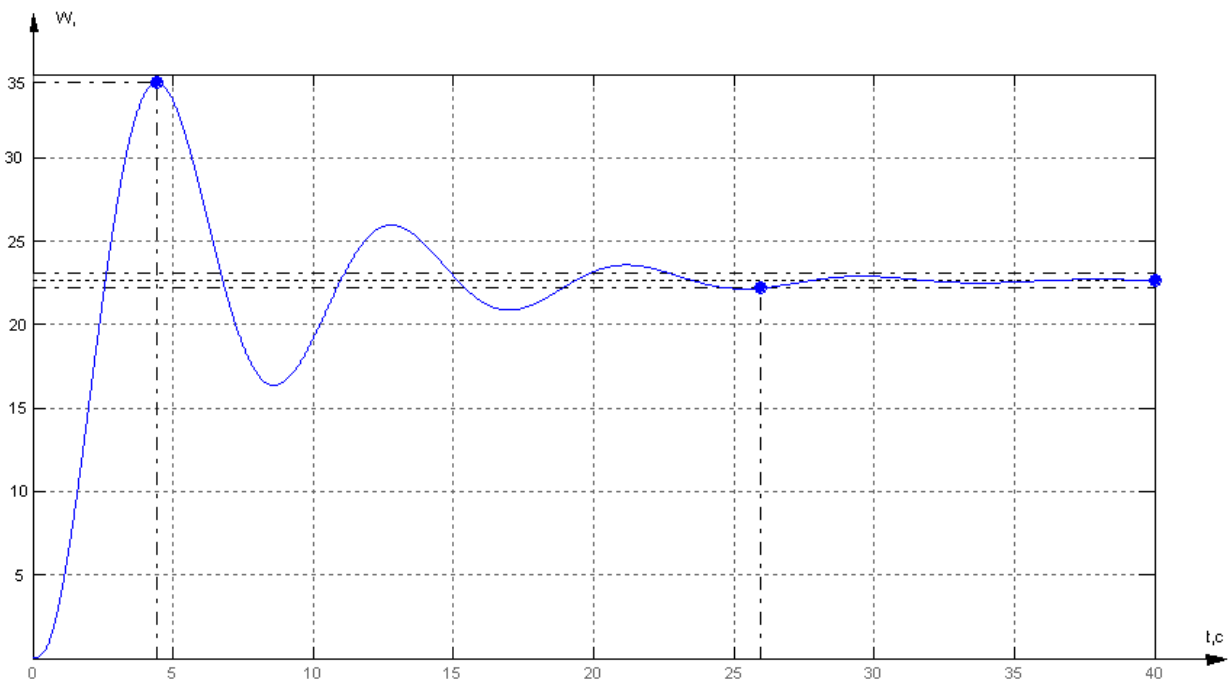


Рис. 4. Перехідний процес скоригованого регульованого гідроприводу

Допустиме перерегулювання 7 %, таким чином, отриманий результат задовольняє допустимому. Статична помилка зі швидкості дорівнює 0,2 %, що задовольняє допустимим значенням помилки.

Для реалізації об'ємного регулювання витрати води, що подається до газоочисного обладнання обрана система перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД), що включає перетворювач частоти і насоси з приводними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.

Вирази для побудови швидкісних і механічних характеристик в математичне моделювання електроприводу в робочих режимах здійснено засобами математичної програми MatLab SimPowerSystems. Частотний спосіб регулювання частоти обертання валу приводних електродвигунів насоса дозволить підвищити діапазон і плавність регулювання швидкості.

На наступному етапі експериментального дослідження на базі математичних моделей регулюемого гідроприводу та частотно-регульованого електроприводу побудована математична модель системи управління по витраті, яка приведена на рис. 5, а графік перехідного процесу на рис. 6.

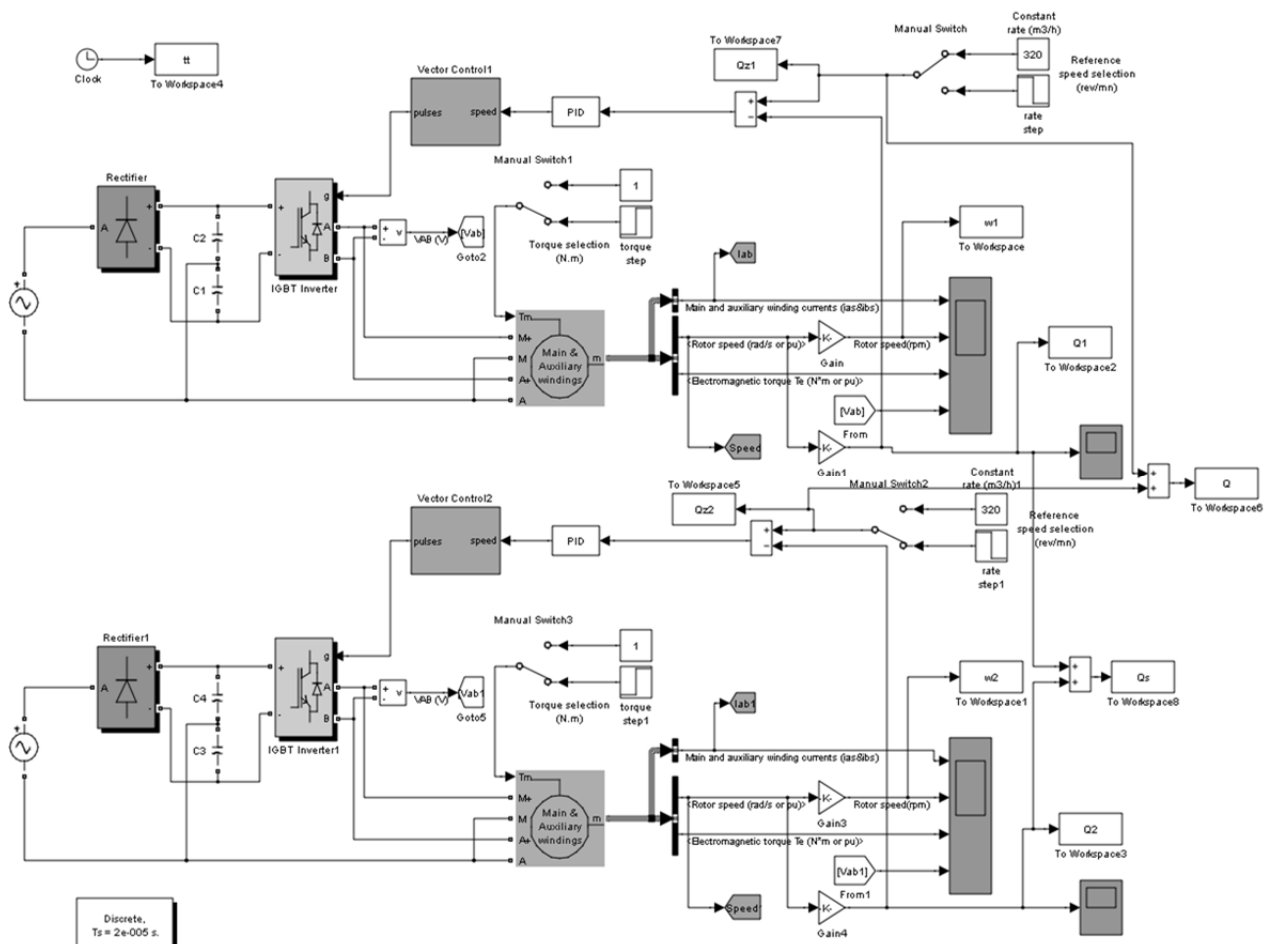


Рис. 5. Математична модель САР подачі води в газоочисну систему

Результати математичного моделювання показали, що САР електроприводом насосної станції має швидкісну помилку, яка становить  $n_{\varepsilon} = 3 \text{ мин}^{-1}$ , при  $n_{\varepsilon} = 3 < n_{z\varepsilon} = 10 \text{ мин}^{-1}$ , що задовольняє завданням. Час перехідного процесу по частоті обертання приводних двигунів становить 1,4 с, що забезпечує максимальну швидкість при допустимому прискоренні.

Проведене математичне моделювання САР показало можливість організації об'ємного регулювання витрати води, яка подається в газоочисну систему.

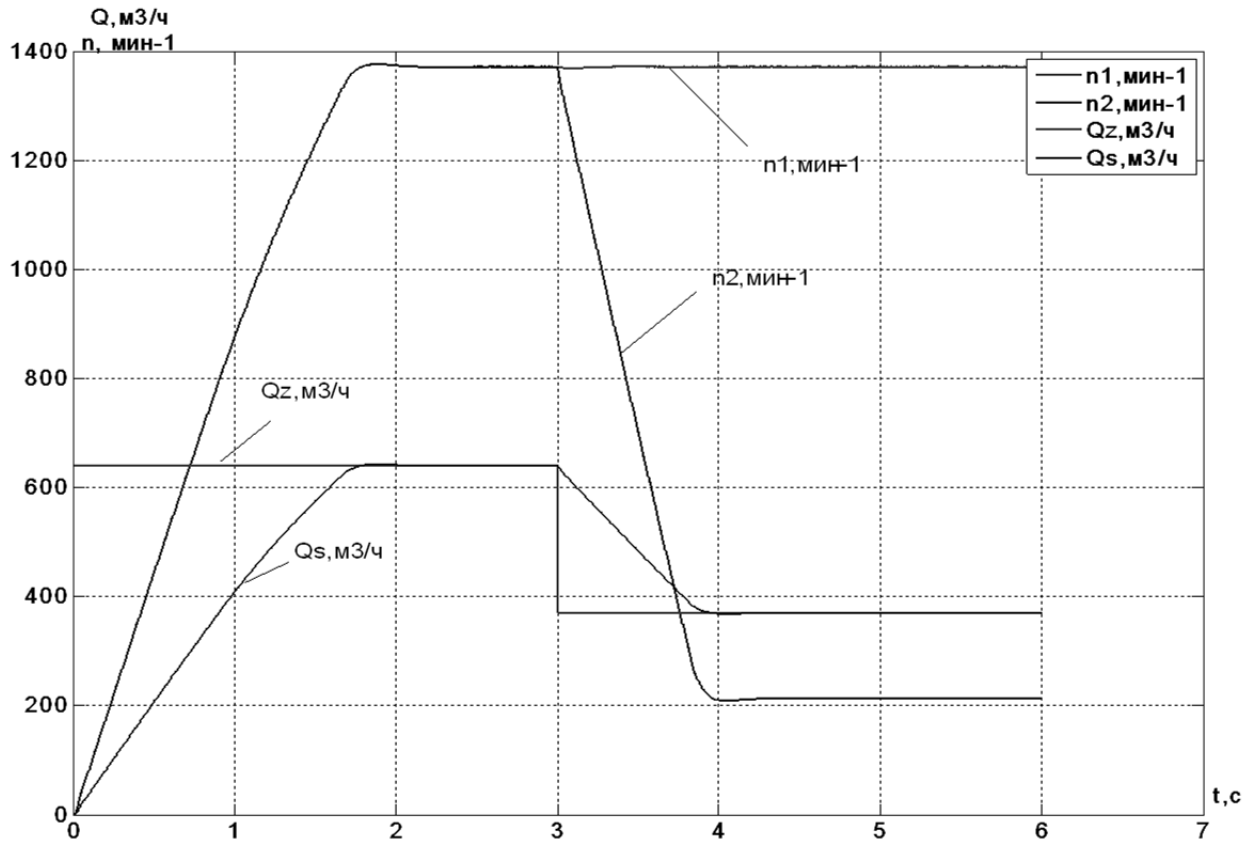


Рис. 6. Графік перехідного процесу при зміні витрати і частоти обертання валу приводних ЕД насосів

## ВИСНОВКИ

У статті вирішене актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування витратою води на газоочищення доменного газу. Вирішені наступні завдання:

- дослідження особливостей технологічного процесу регулювання газоочищення доменного газу, встановлення параметрів процесу керування;
- удосконалення математичної моделі і алгоритму регулювання витрати води на газоочищення доменного газу з використанням об'ємного регулювання;
- створення автоматизованої системи керування витратою води на газоочищення доменного газу якості очищення;
- розроблені структура і алгоритм функціонування автоматизованої системи керування витратою води на газоочищення доменного газу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бугаев К. М. Распределение газов в доменных печах. Москва: Metallurgiya, 1974. 176 с.
2. Товаровский И. Г. Доменная плавка: монография. Днепропетровск: Пороги, 2009. 768 с.
3. Раковский Б. М., Ходак Л. З., Фуфаев Г. Д. Аналитический расчет рациональной формы кривой газораспределения по радиусу колошника доменной печи. *Восстановительно-тепловая обработка железорудного и марганцевого сырья: Научные труды института металлургии им. А. А. Байкова*. Москва: Наука, 1974. С. 112–120.
4. Боклан Б. В. Исследование распределения потока газа в доменных печах большого объема и разработка методов регулирования их хода: дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1970. 154 с.
5. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса. Москва: Metallurgiya, 1990. 216 с.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2019 р.

УДК 681.5

Статива С. О. (АВП-18-1м)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБЕРТОВОЮ ПІЧЧЮ ВИПАЛУ ВАПНА

*У статті вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності температурного режиму випалу вапна в обертової печі за рахунок модернізації системи автоматизованого управління температурним режимом. Розроблена математичні моделі динаміки процесу випалу і теплообміну в печі на основі реальних технологічних параметрів, що характеризують змінні стану об'єкта управління. Здійснена побудова математичної моделі печі як розподіленого об'єкта, що складається з декількох зон перетворення матеріалу, придатної для вирішення задачі теплообміну. Проведена розробка локальних підсистем керування з використанням принципів каскадності і зв'язності. Створена автоматизована система керування режимом теплообміну обертової печі.*

*The article addresses the urgent scientific and technical problem of increasing the efficiency of the temperature of firing lime in a rotary kiln by modernizing the system of automated temperature control. Mathematical models of the dynamics of the firing and heat exchange process in the furnace have been developed on the basis of real technological parameters characterizing the state variables of the control object. The mathematical model of the furnace as a distributed object, consisting of several zones of material transformation, suitable for solving the problem of heat transfer, was carried out. The development of local control subsystems using the principles of cascade and connectivity. An automated system for controlling the mode of heat exchange of a rotary kiln has been created.*

**Актуальність.** Обертова піч для випалювання вапна - основне обладнання для випалу вапняного клінкеру, її можна використовувати в цементній промисловості, металургії, хімічній промисловості і т.д. Обертова піч для випалювання складається з каркаса, опорного пристрою, опорного пристрою з натискним роликком, приводного пристрою, пересувний головки, ущільнювального пристрою в хвостовій частині печі, камери згоряння і т. д. Піч має просту структуру, надійність, і можливість контролювати виробничий процес обертової печі для випалювання вапна.

Технічне переозброєння підприємств будіндустрії, прискорене впровадження нових інтенсифікованих технологічних процесів неможливо без використання високотехнологічного обладнання комплексної автоматизації. Розробка і впровадження на підприємства будіндустрії автоматизованих систем управління (АСУ) дозволяє вирішувати завдання оперативного управління на трьох основних рівнях:

- локальні засоби автоматики;
- автоматизовані системи управління підприємствами (АСУП);
- галузеві автоматизовані системи управління (ГАСУ).

Автоматизація виробництва та використання цифрових засобів автоматизації в сучасних умовах забезпечує подальшу інтенсифікацію процесів, зниження витрат сировини, матеріалів, енергії, спрощення процесу управління, зменшення трудомісткості, зниження витрат на виробництво, підвищення точності різних виробничих систем, а так само підвищує культуру виробництва в цілому.

**Метою статті** є підвищення ефективності температурного режиму випалу вапна в обертової печі за рахунок модернізації системи автоматизованого управління температурним режимом.

Обертова піч, промислова піч циліндричної форми з обертовим рухом навколо поздовжньої осі, призначена для нагріву сипучих матеріалів з метою їх фізико-хімічної обробки. У промисловості будівельних матеріалів є велика кількість технологічних процесів, де необхідно управляти складними багатозв'язними об'єктами, а їх системи регулювання виявляються взаємопов'язаними [1].

Багатозв'язними називаються об'єкти з кількома входами і виходами, взаємно пов'язаними між собою. У тих випадках, коли в рамках одноконтурних АСР не вдається досягти в об'єкті необхідних показників якості регулювання тієї чи іншої технологічної величини вдаються до побудови більш складних систем, наприклад, каскадних, автономних систем, систем зі змінною структурою, систем з нескінченно великим коефіцієнтом посилення та ін.

Одним з таких складних багатозв'язних об'єктів в промисловості будівельних матеріалів є цементна піч випалу вапна. Якщо проаналізувати цементну піч як багатозв'язний об'єкт управління, можна виділити такі значимі керуючі і керовані сигнали які описуються рівняннями [2]:

1. Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho x}{\partial t} + \frac{\partial \rho x u}{\partial l} = -\frac{\rho x}{\tau} \quad (1)$$

де  $x$  – концентрація горючої речовини в суміші ( $0 \leq x \leq 1$ );  $\tau$  - час згорання.

2. Рівняння руху:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} \right) + \frac{\partial P}{\partial l} = 0. \quad (2)$$

3. Рівняння збереження енергії:

$$\rho T \left( \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial l} \right) = \frac{\rho x}{\tau} q - QT + K_1 T_c - T. \quad (3)$$

де  $q$  - теплота згорання палива;  $Q(T)$  - втрати на випромінювання;  $S$  - ентропія, причому  $S = C_v \ln \frac{P}{\rho^\gamma}$  ( $\gamma = 1,0 - 1,4$ , так як для рідин відмінність між  $C_v$  і  $C_p$  незначно);  $K_1$  – коефіцієнт теплопередачі для робочого потоку.

Рівняння (3) після ряду перетворень можна записати як:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 1 - \gamma T \frac{\partial U}{\partial l} - u \frac{\partial T}{\partial l} + \frac{x}{C_v \tau} q - \frac{QT}{C_v \tau} + K_1 T_c - T. \quad (4)$$

5. Рівняння теплообміну:

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} - w \frac{\partial T_c}{\partial l} = K_2 T_c - T. \quad (5)$$

де  $K_2$  – коефіцієнт теплопередачі для стінки печі.

Чисельний аналіз рівнянь (1–5) проведено з застосуванням методів розв'язання диференціальних рівнянь зі звичайними похідними (метод Кутта-Мерсона і ін.) і програмного комплексу COMSOL Multiphysics для систем рівнянь з приватними похідними при невідомих  $x$ ,  $u$ ,  $\rho$ ,  $T$  і  $T_c$ . Для зазначених невідомих були взяті такі вхідні значення:  $x = 47\%$ ;  $u = 4$  м/с;  $\rho = 854$  кг/м<sup>3</sup>;  $T = 530$  °С;  $T_c = 270$  °С [3]. Результати розрахунків наведені на рис. 1 – 5.

Отримані результати дають можливість зробити наступні висновки:

– збільшення щільності потоку на виході з печі відбувається внаслідок зниження швидкості потоку газу і продуктів згорання. З рис. 1, 2 видно, що паливо повністю вигорає. При детальному розгляді процесу за допомогою двовимірних залежностей спостерігається оптимум в області температур поблизу 470 °С;

– виявлено ефект перерозподілу теплообміну між потоком гарячих газів і сировиною по довжині печі (рис. 3–5), що може вплинути на якість одержуваного продукту, отже, змінюючи температуру потоку по довжині печі або задаючи режим роботи, можна отримувати продукт заданої якості.



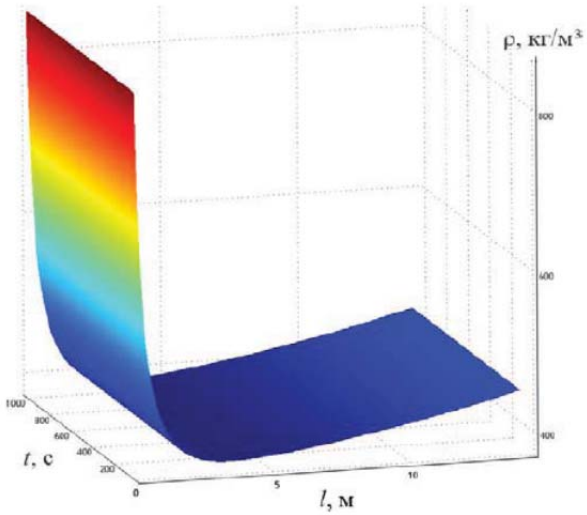


Рис. 1. Розподіл щільності потоку по довжині печі

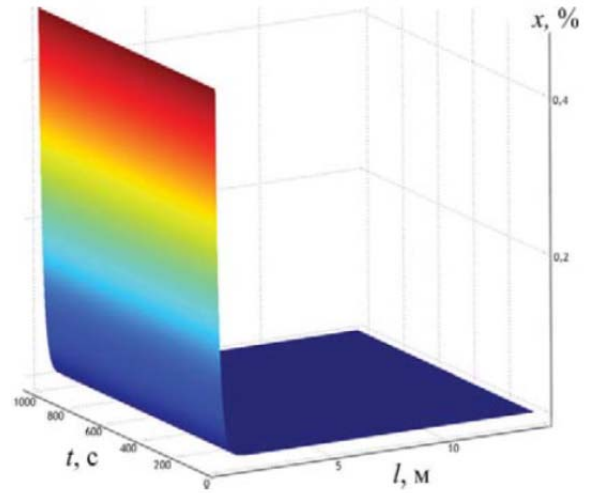


Рис. 2. Зміна концентрації палива

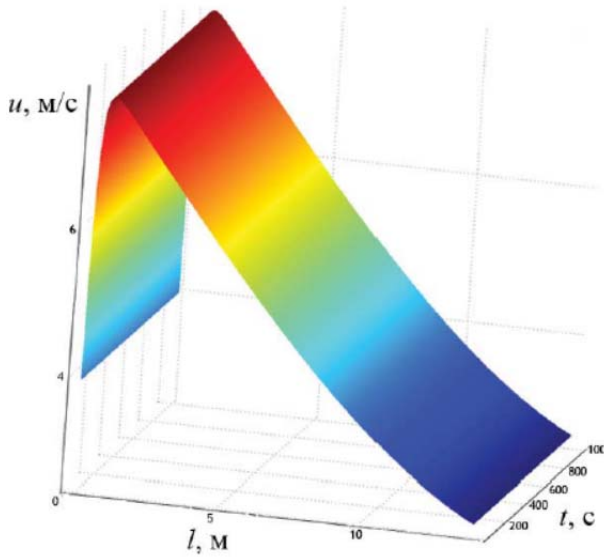


Рис. 3. Зміна швидкості руху потоку

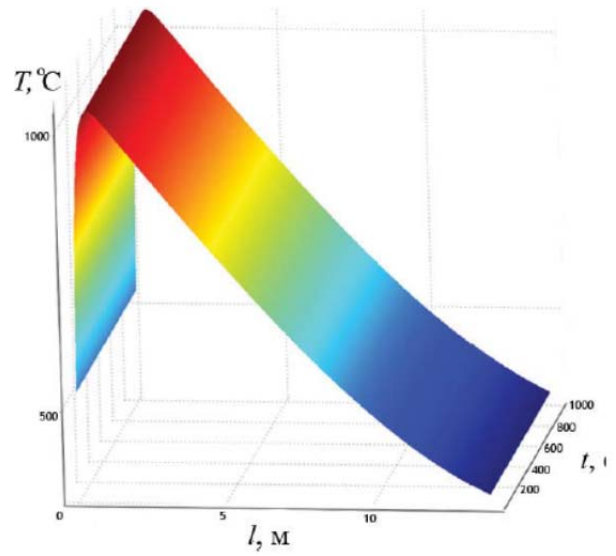


Рис. 4. Розподіл температури потоку по довжині печі

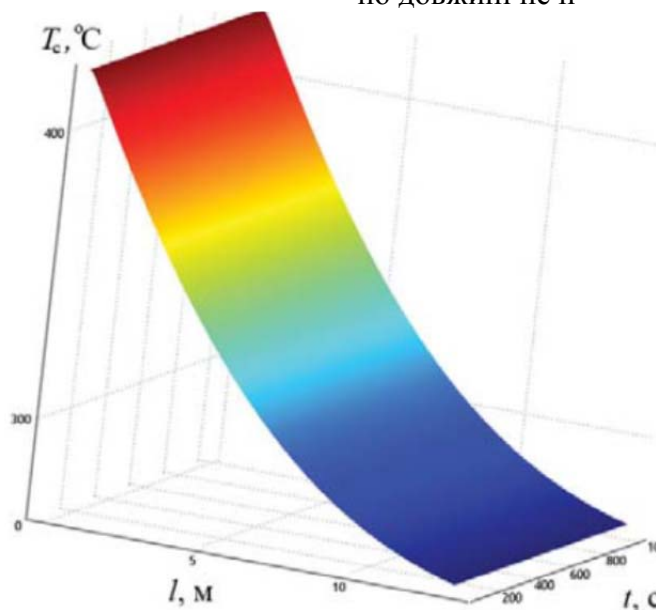


Рис. 5. Поверхня зміни температури сировини (вапна)

На наступному етапі проектування проведено аналіз печі як моделі багатозв'язного об'єкта управління дозволяє виділити наступні значущі керовані і вимірювані параметри (рис.6):  $Q_{gaz}$  – кількість газу (палива), що подається в піч;  $H_1, H_2$  – становище шиберів димососів;  $T_{oz}, P_{or}$  – температура і тиск газів, що відходять;  $CO_2$  – концентрація вуглекислого газу в газах;  $T_1, T_2$  – температура матеріалу в зоні підігріву і кальцинування;  $I_{наз}$  – навантаження на головному приводі печі;  $T_{вт}, P_{вт}$  – температура і тиск вторинного повітря;  $Q_{шл}$  – кількість подаваного вапняного шламу;  $t_{об}$  – час обороту печі.

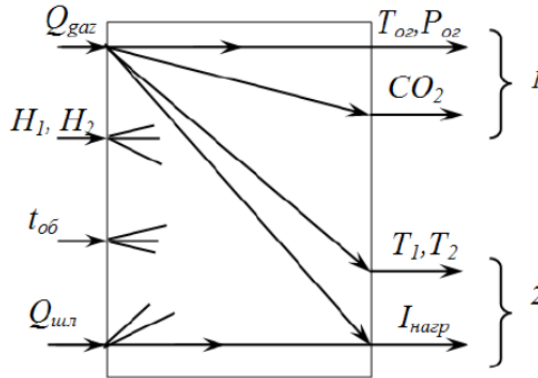


Рис. 6. Подання обертової печі як взаємозв'язаного об'єкта

Були отримані передаточні функції, що відображають взаємозв'язок між вимірюваними та керуючими параметрами.

Передаточна функція по каналу управління шибер  $H1 - CO_2$

$$W_{H1-CO_2}(p) = \frac{7.76}{21.9p^2 + 8.6p + 1} e^{-p}. \quad (6)$$

Передаточна функція по каналу управління витрата газу  $Q_{gaz}$  - зміст  $CO_2$

$$W_{Q_{gaz}-CO_2}(p) = \frac{0.019}{0.92p^2 + 1.149p + 1} e^{-p}. \quad (7)$$

Передаточна функція по каналу управління витрата газу  $Q_{gaz}$  – температура газів, що відходять  $T_{oz}$

$$W_{Q_{gaz}-T_{oz}}(p) = \frac{0.0098}{19.98p^2 + 5.423p + 1} e^{-p}. \quad (8)$$

Передаточна функція по каналу управління шибер  $H1$  – температура газів, що відходять  $T_{oz}$

$$W_{Q_{gaz}-T_{oz}}(p) = \frac{0.00017}{21.37p^2 + 1} e^{-3p}. \quad (9)$$

Далі були синтезовані підсистеми управління піччю на основі принципів автономності та каскадності. Основою побудови систем пов'язаного регулювання є принцип автономності. Стосовно до об'єкта з двома входами і виходами поняття автономності означає взаємну незалежність вихідних координат при роботі двох замкнутих систем регулювання.

Для конструювання багатозв'язної системи випалу вапна в печі були визначені два вхідних параметра ( $Q_{gaz}$  і  $H$ ), в якості вихідних параметрів взяті температура газів, що відходять і зміст  $CO_2$ . Структура автономної системи керування процесом випалювання представлена на рис. 7.

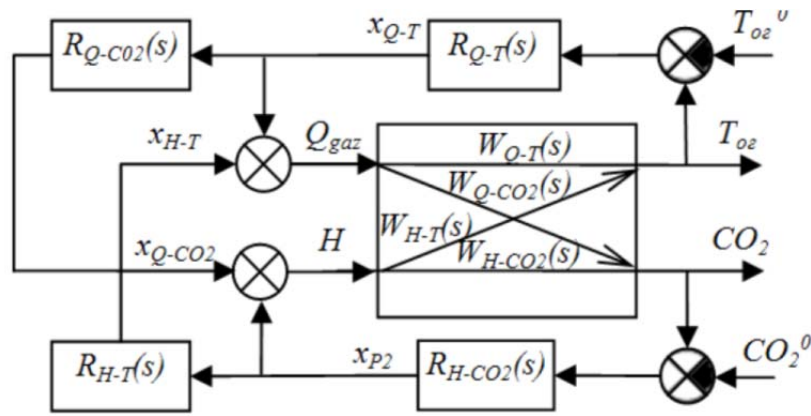


Рис. 7. Автономна система управління печі випалу вапна за двома змінними

Тут передавальна функція  $W_{Q-T}(p)$  відображає взаємозв'язок між вхідним  $Q_{gaz}$  і вихідним параметром  $T_{O_2}$ , а  $W_{H-CO_2}(p)$  - взаємозв'язок між становищем шибера димососа  $H$  і змістом в газах  $CO_2$ . Передавальні функції  $W_{H-CO_2}(p)$  і  $W_{H-T}(p)$  відображають перехресні канали відповідно їх позначенням, також введені регулятори для прямих  $R_{Q-T}(p)$ ,  $R_{H-CO_2}(p)$  і перехресних каналів  $R_{Q-CO_2}(p)$ ,  $R_{H-T}(p)$ . Подальше завдання зводиться до синтезу даних регуляторів по передавальним функціям прямих і взаємозв'язаних каналів.

За основними контурам включені ПІ регулятори, настройки по кожному контуру були отримані за допомогою пакета розширення MATLAB Control System Toolbox.

Передаточна функція ПІ-регулятора  $R_{Q-T}(p)$

$$W_{R_{Q_{gaz}-T_{O_2}}}(p) = K_1 + \frac{K_2}{p} + K_3 p = 80.182 + 8.123 p. \quad (10)$$

Передаточна функція ПІ-регулятора  $R_{H-CO_2}(p)$

$$W_{R_{H-CO_2}}(p) = K_1 + \frac{K_2}{p} + K_3 p = 7,091 + 0,123 p. \quad (11)$$

Моделювання системи управління здійснювалося в середовищі Simulink пакета MATLAB (рис. 8). В основні контури включені ПІ-регулятори, настройки яких по кожному контуру були отримані за допомогою методу ітерацій.

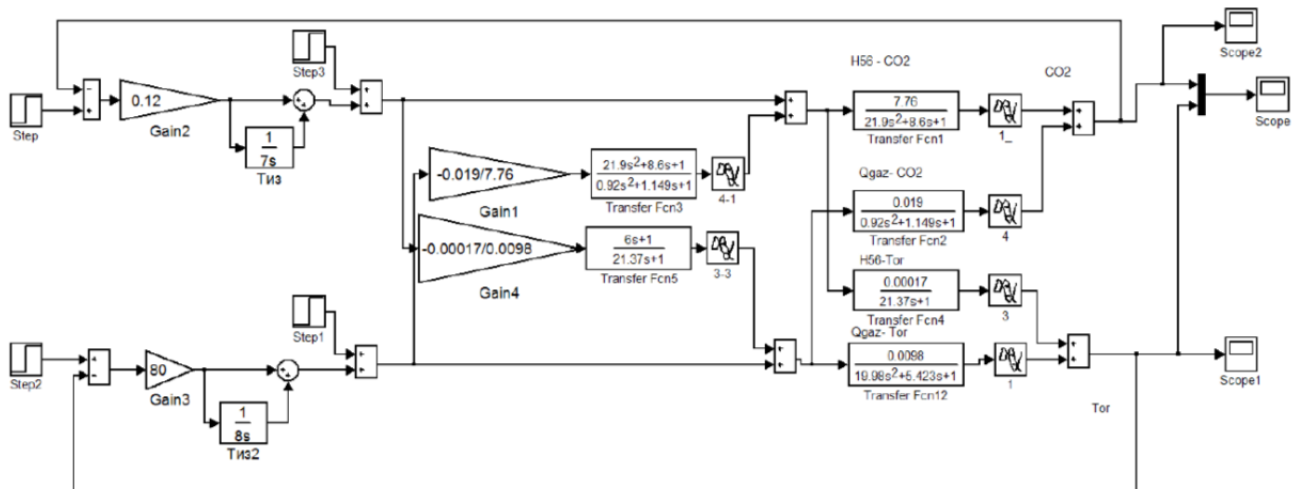


Рис. 8. Математична модель системи управління обертовою піччю в середовищі Simulink пакета MATLAB

Результати моделювання при подачі ступеневої обурення по двох каналах регулювання ( $H_1$  - вміст  $CO_2$  і  $Q_{gaz}$  витрата палива - температура газів, що відходять  $T_{oz}$ ) представлені на рис. 9.

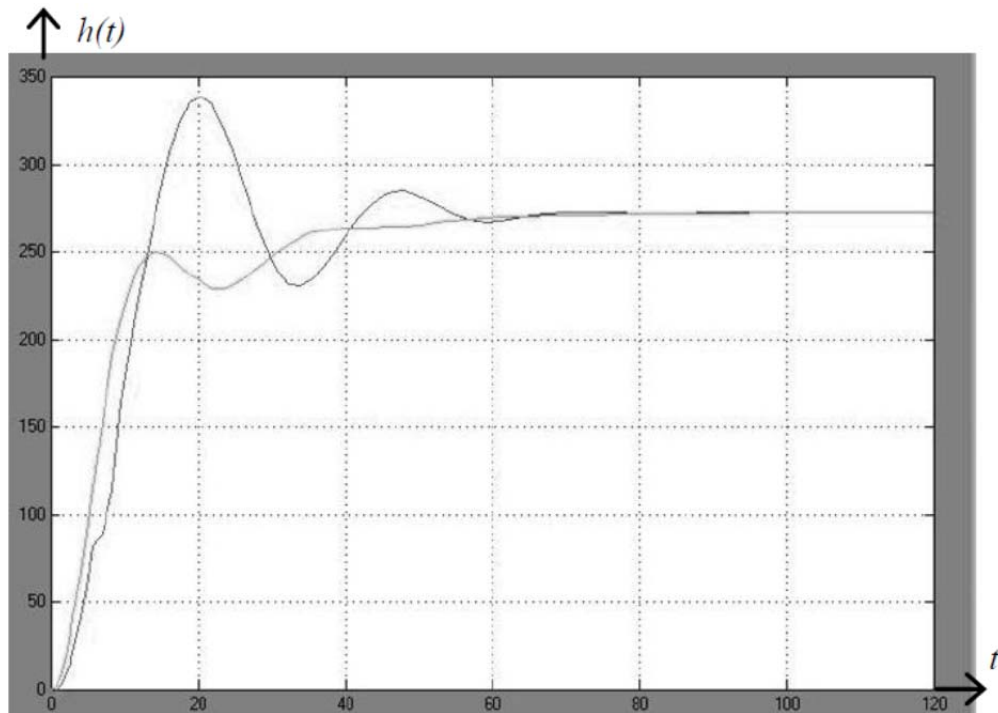


Рис. 9. Графіки перехідних характеристик системи по температурі газів, що відходять  $T_{oz}$  та витрати газів  $Q_{gaz}$

Проектована двохзв'язна система є стійкою, перерегулювання не перевищує 20 %, і забезпечується задовільна компенсація перехресних зв'язків, що ілюструють перехідні процеси. Отримані результати дають нам підставу рекомендувати дану систему для управління випалюванням клінкеру.

## ВИСНОВКИ

У статті вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності температурного режиму випалу вапна в обертової печі за рахунок модернізації системи автоматизованого управління температурним режимом. Математична модель динаміки процесу випалу і теплообміну в печі, побудована на основі методів застосовуваних до реальних технологічними параметрами, які характеризують змінні стану об'єкта управління. Математична модель печі як розподіленого об'єкта, що складається з декількох зон перетворення матеріалу, що допускає можливість оптимізації теплового режиму печі. Розроблена структура автоматизованої системи управління, яка складається з локальних підсистем, побудованих за принципами каскадності і автономності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лелюк О. В. Аналіз особливостей українського ринку видобутку та споживання природного газу. *БІЗНЕС ІНФОРМ*. 2013. № 11. С. 170–179.
2. Фадеев А. С., Галицков С. Я. Математическое описание сжигания газа во вращающейся печи для обжига керамзита. *Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР университета за 2006г.* СГАСУ – Самара, 2007. 564 с.
3. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Книга 1. Москва: Теплотехник, 2004. 688 с.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2019 р.

УДК 004.6

Вовчок В. В. (КН-18-2м)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ FRAMEWORK

*Стаття присвячена практичним аспектам використання WEB-технологій для дослідження методів, моделей та інформаційних технологій соціальних мереж. Наводяться приклади методів ініціалізації, аналізу, методи побудови соціальних мереж, а також послідовне застосування цих методів по відношенню до соціальних мереж. Обґрунтовується необхідність використання методів ініціалізації, аналізу та WEB технологій для їх реалізації. Наводиться приклад розробленого WEB-додатку.*

*The article is sanctified to the practical aspects of the use of WEB – technologies for research of methods, models and information technologies of social networks. Examples of methods of initialising, analysis, methods of construction of social networks, and also successive application of these methods, are made in relation to social networks. The necessity of the use of methods of initialising, analysis and WEB of technologies for their realization is grounded. An example of worked out WEB is made - to addition.*

Вважається, що чим більше інформації про об'єкти дослідження, що характеризує їх властивості (ознаки), тим краще для створення їх моделі. Але надмірний обсяг інформації може погіршити ефективність аналізу даних. Завдяки тому, що соціальні мережі дозволяли швидко знайти людей, дізнатися інформацію про друзів, родичів, освіту, тощо, вони швидко отримали велику популярність і зайняли певне місце у житті людини. Соціальні мережі дозволили у повному обсязі відчуті потужність Інтернету, як джерела інформації так і помічника у повсякденному житті. Незважаючи на такий великий обсяг існуючих соціальних мереж, сучасна людина використовує, зазвичай, декілька з них. Це зумовлено тим, що жодна з соціальних мереж не змогла об'єднати в собі переваги інших. Саме тому, на сьогоднішній день, вони роблять усе, щоб користувачі мережі Інтернет не мали труднощів у використанні декількох соціальних мереж.

Інтенсивний розвиток соціальних мереж і зростання кількості користувачів в останні роки значно підвищили їхню роль в інформаційно-комунікаційному просторі. Саме тому поступово відбуваються зміни у функціонуванні засобів масової комунікації, які почали активно використовувати соціальні мережі у своїй діяльності. Соціальні мережі сьогодні сприяють якісному збільшенню аудиторії інтернет-ЗМІ, забезпеченню зворотного зв'язку із користувачем і таким чином є важливим каналом поширення і генерування медіа-контенту. Поняття «медіа» у мові походження, англійській, має кілька значень: «засіб, спосіб», «посередник», «засоби масової інформації». У науковому середовищі цей термін одним із перших почав використовувати Маршалл Мак-Люен, застосовуючи його в контексті досліджень для позначення різних засобів комунікації [1]. Одне з найбільш узагальнених визначень поняття «медіа» стосується «сукупності технологічних засобів і прийомів, які виконують функцію передачі інформаційного повідомлення в тому чи тому вигляді (друковане слово, музична композиція, радіопередача і т. д.) конкретному користувачеві» [2].

Метою роботи є дослідження програмного комплексу для організації соціальної мережі, з урахуванням базових технологій обміну інформацією та функціональних вимог для сучасної соціальної мережі.

Розвиток соціальних мереж відображає трансформацію інформаційної поведінки користувачів і зумовлює появу нових комунікаційних моделей, які базуються на інтерактивності, багатоканальності, відкритості. Цьому сприяють іманентні особливості таких мережевих платформ: кількісно і якісно глобальне спілкування, різноманітність контенту за формою і змістом, прогресування креативного потенціалу користувачів, емоційна та інтелектуальна залученість публічність, що сприяє соціалізації, приватність, що зумовлює накопичення даних, відомостей про них.

Серед перспектив соціальних мереж у користувацькому аспекті визначають ймовірну нішевізацію платформ, створення груп з чітко окресленими інтересами і стилем поведінки. Прикладом таких тенденцій можуть слугувати дані про зростання популярності месенджерів, типу Telegram, Viber тощо, які створюють конкуренцію Facebook, Twitter через активну міграцію аудиторії.

Але коли потрібна власна розробка, наприклад, у навчальних цілях для студентів, то слід звернути увагу на WEB технології, що зараз стрімко розвиваються. Вивчення останніх тенденцій – необхідна річ для майбутнього розробника.

Мова програмування JavaScript займає лідируючі позиції за популярністю і затребуваністю останні роки і є потужним засобом створення як клієнтської частини веб-додатку, так і серверної. Цією мовою написана дуже велика кількість різноманітних фреймворків і бібліотек, одною з яких є D3.js. D3.js – data-driven JavaScript бібліотека для маніпулювання DOM елементами.

За даними будуються графічні характеристики параметрів – рис. 1 – рис. 2. На підставі даних про основні функції, що повинен мати програмний продукт, вимог до нього, визначаються основні параметри виробу, що будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня.

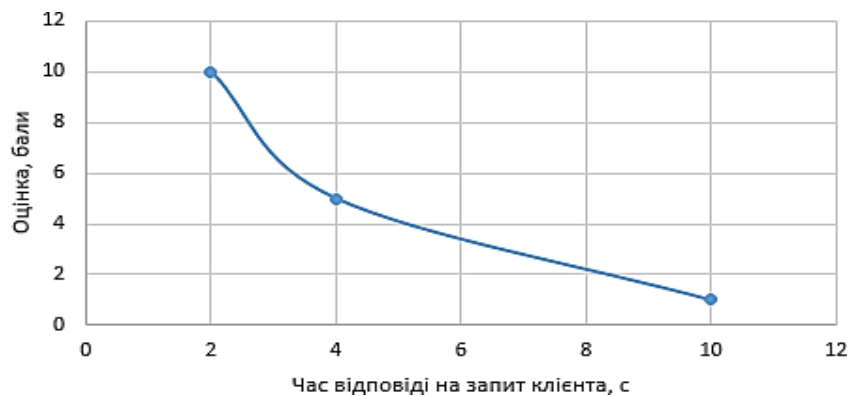


Рис. 1. X1, Час відповіді на запит клієнта

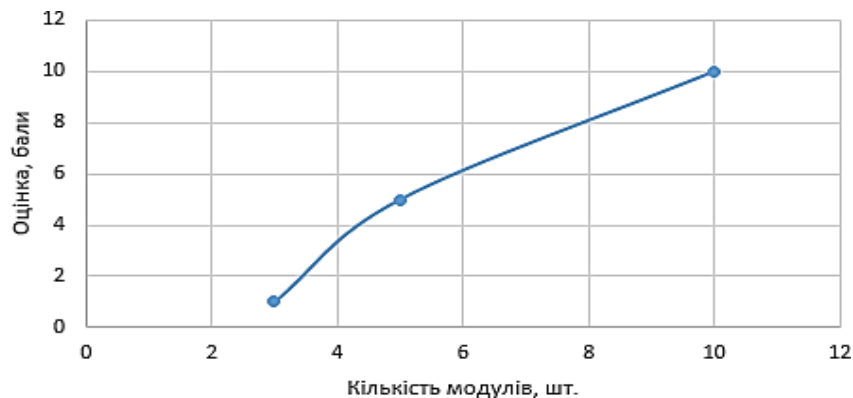


Рис. 2. X2, Кількість модулів на сайті

Для того, щоб охарактеризувати програмний продукт, будемо використовувати наступні параметри:

- X1 – час відповіді на запит клієнта;
- X2 – кількість модулів на сайті;
- X3 – об'єм даних, що передається через Інтернет;

X1: Відображає час, що необхідний серверу для обробки запиту клієнту та відправлення відповіді. X2: Відображає кількість модулів, що будуть використані для створення сайту. X3: Відображає розмір даних, що передаються клієнту через мережу Інтернет. X4: Показує кількість оперативної пам'яті, що необхідні для стабільної роботи серверу.

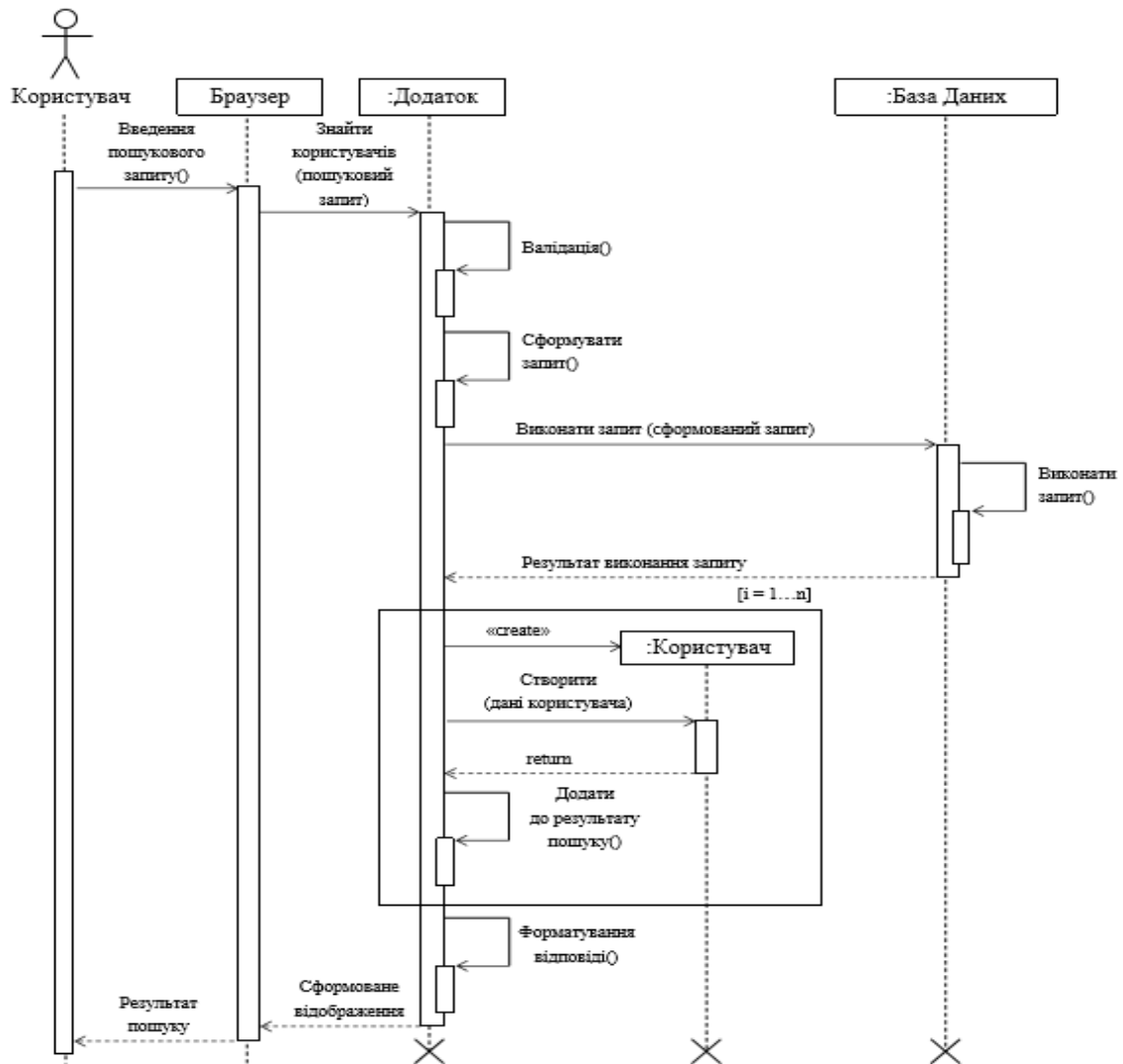


Рис. 3. Діаграма послідовностей пошуку користувачів соціальної мережі

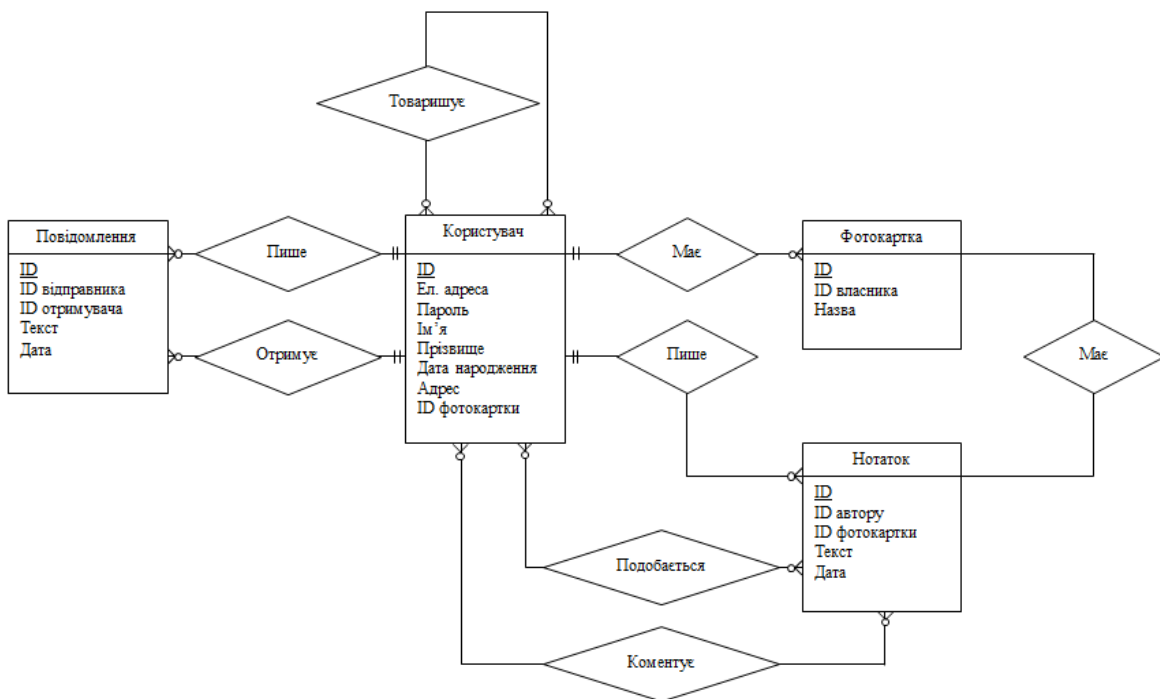


Рис. 4. ER-діаграма логічного рівня програмного комплексу для організації соціальної мережі

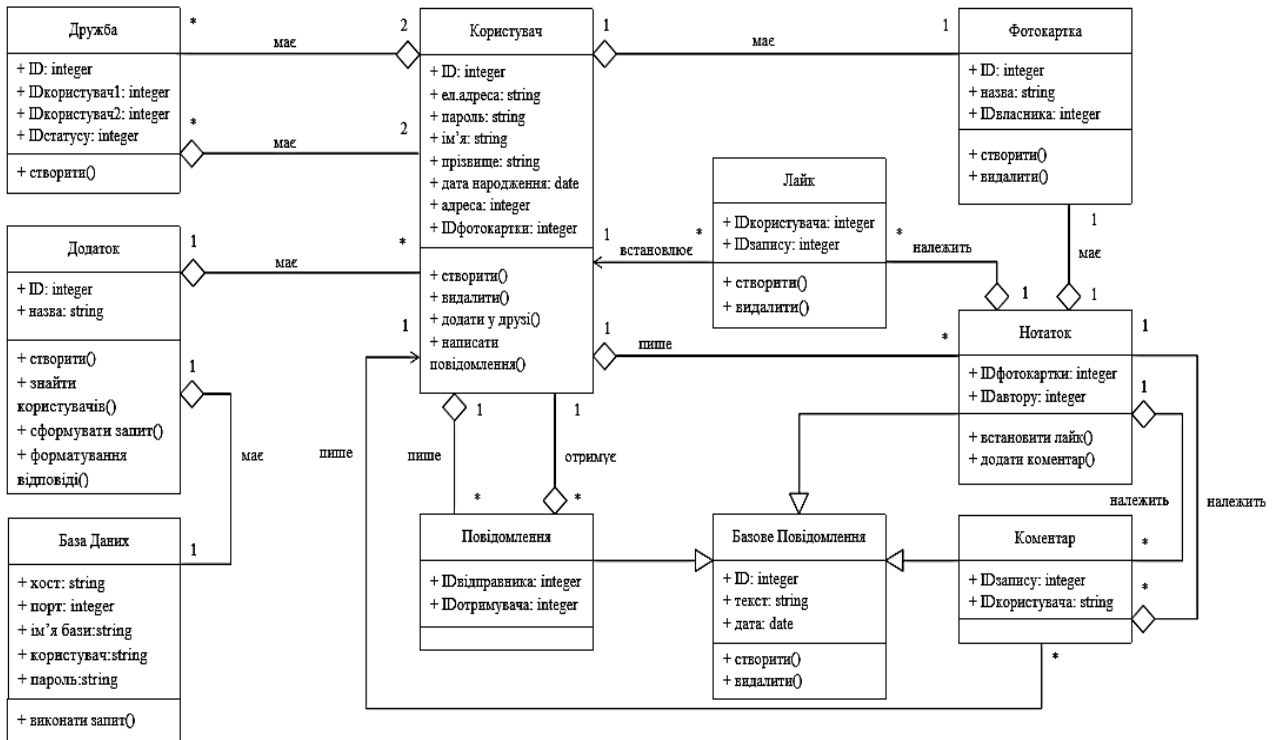


Рис. 5. Діаграма класів бізнес процесів програмного комплексу для організації соціальної мережі

## ВИСНОВКИ

Соціальна мережа – це соціальна структура, що складається з множини агентів (суб'єктів – індивідів, спільнот, груп індивідів чи організацій) і визначеного на ній множині відношень. Питання про застосування засобів створення соціальних мереж не може бути вичерпним. Подальші наукові пошуки можуть бути спрямовані на удосконалення якості вихідних даних, модифікації та оптимізації швидкості і зручності роботи методів інформаційних технологій соціальних мереж на базі Framework.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Асанов А., Подлипский О. Опыт построения большой базы экспертных знаний. *Методы поддержки принятия решений: Сб. трудов Института системного анализа РАН*. Москва: Эдиториал УРСС, 2001.
2. Rusbridger A. The splintering of the fourth estate. *The Guardian*. 2010. URL: <http://www.theguardian.com/commentisfree/2010/nov/19/open-collaborativefuture-journalism>.
3. Горчинская О. Анализ данных социальных сетей. 2015. 12.
4. Берни Хоган. Анализ социальных сетей в интернете. 2013. 10.
5. Hurter C. Image-based visualization: Interactive multidimensional data exploration. *Synthesis Lectures on Visualization*. 2015. Т. 3. №. 2. С. 1–127.
6. Voitovych O., Holovenko V. Research of social networks as a source of information in warfare. 2016. 1.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2019 р.



УДК 004.738

Граченко Є. А. (КН-18-2м.)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ І ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІДДАЛЕНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Розглянуто математичну та інформаційну дослідження методів, моделей і інформаційних технологій для реалізації віддалених лабораторних робіт. Проаналізовано наукову літературу, що описує моделі та інформаційні технології для реалізації віддалених лабораторних робіт. Виділені основні параметри бізнес-процесу, що дозволяють створити систему для реалізації віддалених лабораторних робіт, яка буде забезпечувати спрощений процес виконання та захисту лабораторних робіт.*

*The mathematical and informational research of methods, models and information technologies for the realization of remote laboratory works is considered. Scientific literature describing models and information technologies for remote lab work is analyzed. The basic parameters of the business process that allow to create a system for the implementation of remote laboratory work, which will provide a simplified process of performing and protecting laboratory work.*

Сучасний рівень розвитку телекомунікаційних технологій та засобів надає широкі можливості по передачі даних на великі відстані, створення розподілених додатків, що працюють через мережу, обміну аудіо-і відео і багато іншого. Подібні досягнення в останнє десятиліття стали можливими завдяки інтеграції комп'ютерних систем з мережевими технологіями [1].

Теперішній час характеризується стрімким появою і розвитком нових інформаційних технологій. Зокрема, технологія віртуальних приладів дозволяє створювати системи виміру, управління і діагностики різного призначення практично будь-якої продуктивності і складності. Її суть полягає в тому, що вимірювальна і керуюча частина приладів і систем реалізується на апаратній основі (пристроїв введення-виведення аналогових і цифрових сигналів), а їх функціональна частина і призначений для користувача інтерфейс – програмними способами [1].

Перевага і ефективність віртуальних вимірювальних технологій полягає в можливості програмним шляхом, спираючись на міць сучасної комп'ютерної техніки, створювати різноманітні прилади, вимірювальні системи і програмно-апаратні комплекси, легко перебудувати їх до мінливих вимог, зменшити матеріальні витрати і час на розробку [2].

При цьому створювана вимірювальна система може бути потрібним чином адаптована для вирішення поставлених завдань з урахуванням їх особливостей.

Використання віртуальних вимірювальних технологій в сучасних автоматизованих вимірювальних системах є стійкою світовою тенденцією останніх років. Про це свідчить велика кількість розробок, а також безліч вітчизняних і зарубіжних публікацій, присвячених рішенням завдань в області автоматизації вимірювань, контролю та управління технічними і технологічними системами.

Метою роботи є створення пристрою на основі контролера Arduino для надання можливості майбутнім спеціалістам отримати навички з регулювання технологічним процесом

Освіта повинна взаємодіяти з використанням сучасних технологій. Людині непросто жити в сучасному світі. Їй потрібно постійно розвиватися і стежити за новітніми технологіями в електроніці, які відіграють дуже важливу роль в нашому суспільстві. Однією з таких новинок є сімейство контролерів Arduino. Arduino являє собою досить простий інструмент для створення електронних пристроїв і втілення в життя різних ідей. Це платформа побудована на друкованій платі з інтегрованим середовищем для написання програмного забезпечення. В основі апаратної частини лежить мікроконтролер сімейства ATmega і мінімально необхідна для роботи обв'язка [2].

Таким чином, ставиться завдання мінімізувати кількість помилок на сервері з метою збільшення продуктивності програми.

Кожен сервер має характеристики продуктивності. При виявленні несправності одного з серверів виходом із ситуації буде взаємозамінність їх при обробці мережеских додатків (служб). Таким чином, для того, щоб виконати завдання, потрібно скласти план розподілу додатку (служб) на сервери з заданими обмеженнями за умови [3]:

- мінімум часу на обробку запитів;
- мінімум витрат на обробку запитів додатків (служб);
- мінімум помилок.

Виходячи із загальної математичної моделі задачі розподілу навантажень, з урахуванням всіх особливостей поставленої перед нами мети побудуємо конкретну математичну модель, за допомогою якої можна буде обчислити екстремуми за трьома умовами [4, 5]:

- мінімум часу на обробку запитів:

$$F(x) = 60x_1 + 25x_2 + 15x_3 \rightarrow \min \quad (1)$$

за умов:

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.4x_3 \leq 300; \quad (2)$$

$$0.5x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3 \leq 800; \quad (3)$$

$$1.3x_1 + 0.1x_2 + 1.2x_3 \leq 200; \quad (4)$$

$$x_1 \geq 500; x_2 \geq 300; \quad (5)$$

- мінімум витрат на обробку запитів додатків (служб):

$$F(x) = 55x_1 + 30x_2 + 8x_3 \rightarrow \min \quad (6)$$

за умов:

$$0.8x_1 + 0.5x_2 + 0.3x_3 \leq 250; \quad (7)$$

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.6x_3 \leq 500; \quad (8)$$

$$0.8x_1 + 0.1x_2 + 1.1x_3 \leq 150; x_1 \geq 400; x_2 \geq 150; \quad (9)$$

- мінімум помилок:

$$F(x) = 55x_1 + 30x_2 + 8x_3 \rightarrow \min \quad (10)$$

за умов:

$$0.6x_1 + 0.7x_2 + 0.4x_3 \leq 200; \quad (11)$$

$$0.6x_1 + 0.75x_2 + 0.8x_3 \leq 700; \quad (12)$$

$$1.4x_1 + 0.5x_2 + 1.4x_3 \leq 300; \quad (13)$$

$$x_1 \geq 550; x_2 \geq 350; \quad (14)$$

Цільові функції  $F(x)$ , представлені в (1), (6), (11), зображають можливі значення навантажень, за яких сервер може коректно обробляти, передавати, приймати дані, визначені користувачем.

Таким чином, для отримання оптимального плану необхідно мінімізувати цільові функції  $F(x)$  з дотриманням всіх умов завдання, які накладають обмеження на  $F(x)$ .

У виразах (1)–(15) описана задача для пошуку екстремумів лінійних функцій в умовах системи лінійних обмежень [5].

Розглянемо сценарій поведінки системи віддаленого виконання лабораторних робіт.

На основі аналізу предметної області та виявлених вимог щодо розроблюваного програмного продукту розроблена діаграма прецедентів використання, яка представлена на рис. 1.

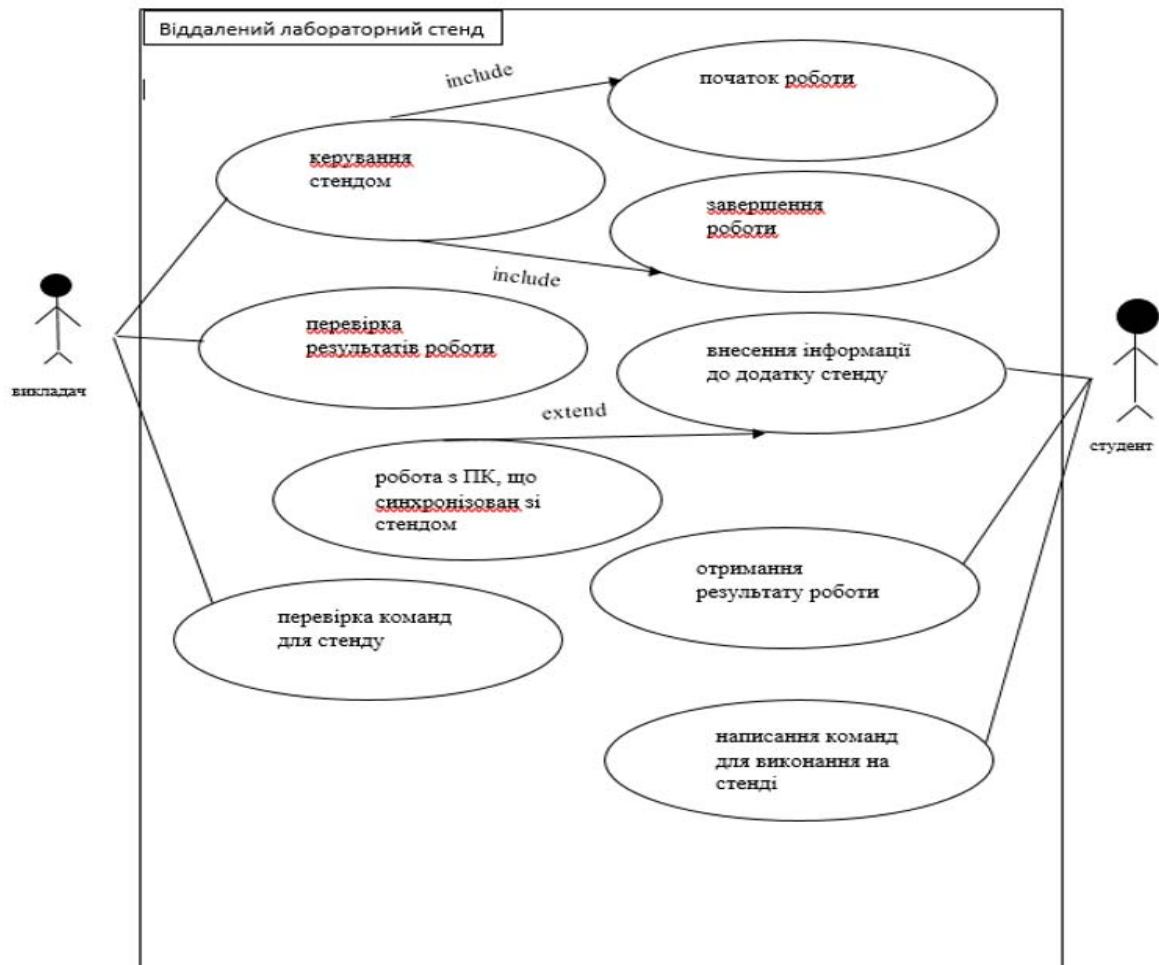


Рис. 1. Діаграма прецедентів системи дистанційного керування навчальними та науковими процесами

Дана діаграма показує взаємодію варіантів системи з дійовими особами системи. При розгляді системи виділяється актор «Користувач».

Найбільш значущими в системі є такі прецеденти керування стендом, отримання результату роботи та ін. Ці прецеденти, в свою чергу, пов'язані з такими прецедентами, як початок роботи, завершення роботи, внесення інформації до додатку стенду та ін.

Таблиця 1

Опис прецеденту «Керування стендом»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Користувач
Передумови: користувач налаштував до роботи ПК що має зв'язок із сервером.
Вхідні дані: дані для виконання ЛР; методичні вказівки керівника
Основний успішний сценарій: – стенд починає виконувати Л. Р.
Частота виконання: за запитом.
Післяумови: виконується лабораторне завдання.
Вихідні дані: відображення результатів роботи.

Опис прецеденту «перевірка результатів роботи»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Користувач
Передумови: Стенд виконав завдання на яке був запрограмований.
Вхідні дані: Інструкції у вигляді програмних команд від студента.
Основний успішний сценарій: Результати роботи було перевірено та затверджено;
Частота виконання: Щоразу після завершення роботи.
Післяумови: повідомлення що отримано результат розрахунку.
Вихідні дані: результати роботи стенду у вигляді даних для ЛР;

Таблиця 3

Опис прецеденту «Перевірка на оптимальність»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Користувач( студент або керівник)
Передумови: було запущено робочий ПК та встановлено зв'язок із сервером.
Вхідні дані:запит від користувача.
Основний успішний сценарій: користувачем була внесена необхідна інформація до додатку;
Частота виконання:за запитом.
Післяумови: вибір вивід результату
Вихідні дані: програмний код, що буде відправлено на сервер

### ВИСНОВКИ

Програмний продукт розробляється для віддаленого виконання лабораторних робіт та для спрощення процесу їх захисту. Система повинна полегшити процес виконання лабораторних робіт студентом. Для цього в програмному комплексі планується можливість взаємодії студента та викладача за рахунок застосування можливості електронного обміну .

Завдяки введенню програмного продукту в роботу прискорюється процес виконання та захисту лабораторних робіт студентом. В наслідок використання оптимальної системи обміну даними зменшується час на процес захисту одного завдання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Евдокимов Ю. К., Маливанов Н. Н., Кирсанов А. Ф. Разработка и создание региональной дистанционной автоматизированной учебной лаборатории коллективного пользования по общетехническим дисциплинам для ВУЗов и средних учебных заведений республики Татарстан на базе технологии National Instruments. *Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: сб. тр. Междунар. науч. практ. конф.* Москва. 17–18 ноября, 2006. С. 5–10.
2. Кирсанов А. Ю. Методика экспериментального исследования динамики работы системы дистанционного управления экспериментом через информационные сети общего пользования. *Электронное приборостроение: научно-практический сборник.* 2005. № 3(44). С. 42–49.
3. Назаров А. А. Исследование компьютерных сетей связи с протоколами случайного множественного доступа. *Вестник Томского государственного университета.* 2000. № 271. С. 72–73.
4. Liu J. Distributed Distance Measurement for Large-Scale Networks. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications.* 2003. Т. 41. № 2. С. 177–192.
5. Кирсанов А. Ю. Методика экспериментального исследования динамики работы системы дистанционного управления экспериментом через информационные сети общего пользования. *Электронное приборостроение: научно-практический сборник.* 2005. № 3(44). С. 42–49.

Стаття надійшла до редакції 28.10.2019 р.

УДК 004.72

Діхтяр О. В. (КН-18-2м)

## РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ГРУПУ СЕРВЕРІВ

*Розроблено математичну модель для балансування навантаження на групу серверів з метою оптимізації роботи хмарного сервісу.*

*A mathematical model has been developed to balance the load on a group of servers in order to optimize the operation of the cloud service.*

У сучасному світі на серверах зберігаються мільйони гігабайт інформації. Все більше програм тісно зв'язані з роботою серверів. А коли потоки інформації, яку використовує програмний продукт, стають більшими, виникає необхідність у балансуванні навантаження на сервери, для більш оптимальної та швидкої роботи. Сьогодні проблема управління серверами стає більш комплексною і переростає в завдання підвищення ефективності використання ІТ в цілому на підприємстві. Постають питання окупності інвестицій в ІТ-сферу, перекладу ІТ-підрозділів на сервісно-орієнтовану модель роботи, застосування можливостей аутсорсингу.

Метою роботи є завдання забезпечити безперебійну роботу серверів і прикладних програм, виключити втрату даних, скоротивши при цьому витрати на експлуатацію інфраструктури, та заощадити використання ресурсів обчислювальної машини.

Запропонований метод дозволяє істотно підвищити ефективність використання ресурсів системи. Як відомо, для організації надання будь-якого сервісу необхідна наявність відповідного сервера. Так, Web-сервер це комп'ютер-сервер, за допомогою якого сервіс надається клієнтам. Звичайний спосіб надання сервісу клієнту це обслуговування його запитів. Обслужити запит - значить отримати запит і вислати запитуючій стороні відповідь на нього. Web-сервер має обмеженим обчислювальним ресурсом, тобто може виконати лише кінцеве число операцій за одиницю часу. Слід пам'ятати, що для побудови відповіді на запит потрібно зробити кілька операцій. Отже, web-сервер може обслужити за одиницю часу лише кінцеве число запитів, яке визначається обчислювальною потужністю web-сервера. Якщо за одиницю часу кількість надійшли від клієнтів запитів перевищує обчислювальні можливості сервера, то певна кількість запитів залишиться не обслужених. Щоб зменшити кількість не обслужених запитів, необхідно збільшити обчислювальну потужність сервера [2].

Формальну постановку задачі балансування навантаження проведемо з використанням моделі замкненої мережі масового обслуговування з центральним обслуговуючим приладом. Отже, весь час завдання повертаються в кореневий вузол кластера [1]. Перехідні ймовірності  $r_{ij}$  є ймовірності переходу завдання в вузол  $j$  з вузла  $i$ ; в даній моделі з центральним обслуговуючим приладом маємо:

$$\begin{cases} p_j, & i=1, 1 \leq j \leq N, \\ r_{ij} = 1, & 2 \leq i \leq N, j=1, \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

У реальній мультипрограмній ситуації більшість завдань в кінці кінців залишають систему, і в моменти їхнього відходу в систему по одному входять нові завдання. Це враховано в моделі шляхом дозволу завданням прямого повернення в кореневий вузол (з ймовірністю  $p1$ ), що означає відхід старого завдання і надходження замість нього нового завдання, причому нова вимога на обслуговування в кореновому вузлі є заявкою супервизорного системи на заміну завдання [3]. Таким чином, число завдань в системі залишається постійним і рівним  $K$ .

В моделі з центральним обслуговуючим приладом в кожному вузлі знаходиться один обслуговуючий прилад ( $m_i = 1$ ), а час обслуговування в  $i$ -му вузлі розподілено по показовому закону з параметром  $\mu_i$ . Нехай матриця  $R$  є матрицею перехідних ймовірностей  $R(r_{ij})$  між вузлами мережі. Тоді випадок з центральним обслуговуючим приладом можна описати наступною простою матрицею:

$$R = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & p_3 & \cdot & \cdot & \cdot & p_N \\ 1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Завдання зводиться до вирішення рівняння  $\lambda = \lambda R$ ; для розглянутої матриці рішення має вигляд:

$$\begin{cases} \mu_1, & i = 1 \\ \mu_i x_i = \mu_i p_i, & i = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

Загальне рішення для будь-якої замкнутої марковської мережі масового обслуговування з однолінійними СМО в вузлах дається рівністю:

$$P(k_1, k_2, \dots, k_n) = \frac{1}{G(K)} \prod_{i=1}^N x_i^{k_i} \quad (4)$$

що включає  $x_i$  [1]. В окремому випадку розглянутої моделі з центральним обслуговуючим приладом отримуємо:

$$P(k_1, k_2, \dots, k_N) = \frac{1}{G(K)} \prod_{i=1}^N \left( \frac{\mu_i p_i}{\mu_i} \right)^{k_i}, \quad (5)$$

Де 
$$G(K) = \sum_{k \in E} \prod_{i=1}^N \left( \frac{\mu_i p_i}{\mu_i} \right)^{k_i}.$$

Отже, маємо явне рішення, яке виражається через параметри системи  $\mu_i$  і  $p_i$ . Нехай тепер  $A_i$  – стаціонарна ймовірність того, що  $i$ -й вузол не порожній. Можна показати, що:

$$\begin{cases} G(K-1) / G(K), & i = 1, \\ \mu_i x_i = \frac{\mu_1 p_1}{\mu_1} A_1, & i = 2, 3, \dots, N. \end{cases} \quad (6)$$

Звідси, згідно з висновками роботи [1], отримуємо  $A_i \mu_i p_i = A_1 \mu_1$  ( $i > 2$ ), т. Е. Інтенсивність, з якою завдання надходять у  $i$ -й вузол, дорівнює інтенсивності, з якою вони залишають цей вузол. Отже, збалансована система (система без вузьких місць) – це така система, для якої:

$$\frac{d}{d\mu_i} A_1 \mu_1 p_1 = \frac{d}{d\mu_j} A_1 \mu_1 p_1, \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (7)$$

Тепер, ґрунтуючись на результатах наведеного аналізу, можна сформулювати сутність методу балансування: метод полягає в тому, що клієнтський запит і відповідь на нього формуються клієнтом і web-сервером за допомогою одного з широко відомих високорівневих протоколів (наприклад, HTTP, FTP, POP3) [4]. На підставі цього можна зробити висновок про те, що сервіс балансування навантаження по запропонованому методу повинен бути реалізований як частина ядра операційної системи (див. рис. 1).

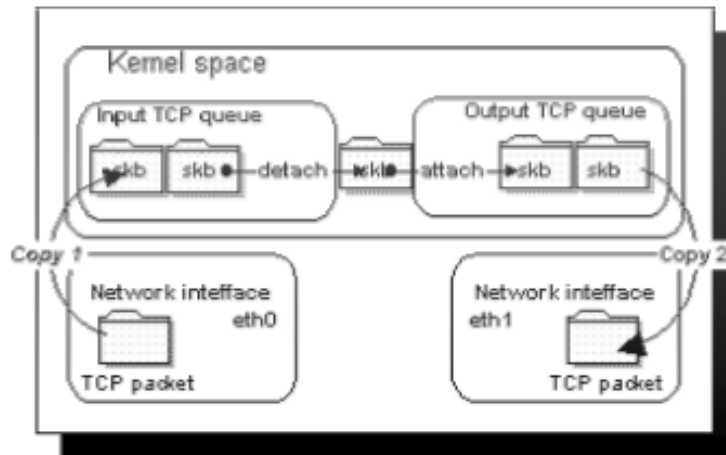


Рис. 1. Схема роботи системи балансування

Ідея алгоритму перерахунку контрольної суми полягає в тому, щоб використовувати при підрахунку контрольної суми вихідного пакета контрольну суму вхідного пакета. Якщо типова довжина TCP-заголовка 60 байт, а довжина області даних 1500 байт, то використання обчислювальних ресурсів при застосуванні алгоритму перерахунку знижується в 25 разів.

## ВИСНОВКИ

Був запропонований новий спосіб балансування навантаження на групу серверів, який використовує алгоритм перерахунку контрольної суми. Виходячи із математичних розрахунків цей метод демонструє перспективи зниження навантаження на обчислювальну машину у багато разів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Эдельман С. Л. Математическая логика. Москва: Высшая школа, 1975. 176 с.
2. Фролов А. В., Фролов Г. В. Локальные сети персональных компьютеров. Работа с сервером Novell NetWare. Москва: Диалог-Мифи, 2011. 168 с.
3. Куликов И. В. Функциональная устойчивость сверхбольших интегральных схем: критерий качества и надежности. Санкт-Петербург : Политехника, 2017. 171 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993.

Стаття надійшла до редакції 08.01.2020 р.

УДК 004.730

Ковальов О. А. (КН-18-2м)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СЕРВІСІВ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

*Розглянуті існуючі методи системи підтримки прийняття рішень та методи отримання експертних оцінок. Проаналізовано наукову літературу, що описує методи системи підтримки прийняття рішень, та методи отримання експертних оцінок. Виділені основні параметри бізнес-процесу, що дозволяють розробити сервіс підтримки прийняття рішень з можливістю організації віддаленої роботи експертів.*

*Existing methods of decision support system and methods of obtaining expert assessments are considered. The scientific literature describing the methods of the decision support system and the methods of obtaining expert evaluations are analyzed. The basic parameters of the business process that allow to develop a decision support service with the possibility of organizing remote work of experts are highlighted.*

Актуальним є питання про багатокритеріальне рішення у складному інформаційному середовищі. При цьому під багатокритеріальністю розуміється той факт, що результати прийнятих рішень оцінюються не по одному, а по сукупності багатьох показників (критеріїв) розглянутих одночасно.

На даний момент існує досить велика кількість різноманітних програмних засобів, які можуть допомогти користувачеві у рішенні багатокритеріальних питань, проте порівняльний огляд найпоширеніших показав усе програмне забезпечення є додатковою можливістю як (E-Katalog), або це вузьконаправлені програмні засоби, для обробки окремих питань, які не поширюються на продаж [1].

Метою роботи є оптимізація часу людини при поставленому виборі  $n$ -го об'єкта або оптимізація дій в поставленому завданні, а також мінімізація ймовірності помилки користувача. Основним завданням роботи є провести дослідження, вибрати найкращий метод систем підтримки ухвалення рішень для виконання поставленого завдання організувати роботу експертної групи

Для досягнення встановленої мети потрібно:

- проаналізувати сучасні (СППР) у мережі Інтернет;
- виявити основні функціональні вимоги СППР;
- проаналізувати існуючі засоби для організації СППР;
- визначити методи, які можна використовувати під час створення системи прийняття рішень для організації роботи експертної групи;
- розробити програмний комплекс для організації веб ресурсу з урахуванням виявлених базових функціональних вимог.

У роботі розглядаються основні питання процесу створення сучасних ресурсів для прийняття рішень, з використанням провідних технологій і бібліотек [2]. Виходячи з цього розглянемо декілька методів підтримки прийняття рішень з використаних в розробці програмного комплексу:

- метод парних порівнянь – має деяку перевагу перед іншими методами упорядкування у випадках, коли об'єктів багато і (або) вони важко помітні. Найчастіше при парному порівнянні двох об'єктів обмежуються констатацією того, що з них один переважніше іншого. Основний елементарний акт – порівняння об'єктів між собою. Виробляти парне порівняння зручно не тільки коли число об'єктів велике, але і в тих випадках, коли відмінності між об'єктами настільки малі, що безпосереднє ранжирування або оцінка не забезпечують їх розумного упорядкування.

- ранжування – це розташування об'єктів в порядку зростання або зменшення будь-якого властивого їм властивості. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності факторів найсуттєвіший.



- безпосередня оцінка. Часто буває бажаним не тільки впорядкувати (ранжувати об'єкти аналізу), але і визначити, на скільки один фактор найбільш значущий, ніж інші. В цьому випадку діапазон зміни характеристик об'єкта розбивається на окремі інтервали, кожному з яких приписується певна оцінка (бал), наприклад, від 0 до 10. Саме тому метод безпосередньої оцінки іноді називають також бальним методом [3, 4].

Розглянемо сценарій роботи сервісу систем підтримки прийняття рішень з віддаленим доступом експертів.

На основі аналізу предметної області та виявлених вимог щодо розроблюваного програмного продукту розроблена діаграма прецедентів використання, яка представлена на рис. 1.

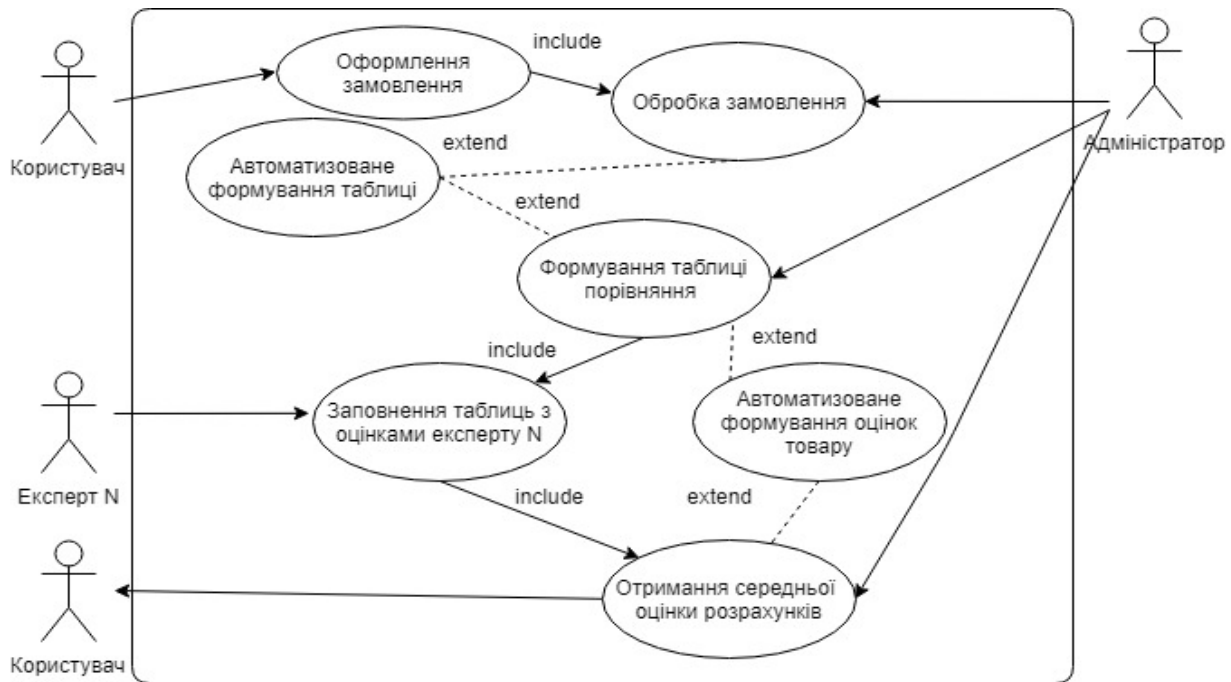


Рис. 1. Діаграма прецедентів систем підтримки прийняття рішень з віддаленим доступом

В табл. 1 наведено оформлення замовлення.

Таблиця 1

Формалізований опис прецеденту «Оформлення замовлення»

Основний виконувач – Користувач Зацікавлені особи – Користувач
Передумови: Користувачу доступна форма замовлення
Вхідні дані: Текстове повідомлення, у якому міститься замовлення
Основний успішний сценарій: На сторінці користувача створюється замовлення
Частота виконання: По запиті
Постумови: Створюється нове замовлення
Вихідні дані: У користувача оформив замовлення

В табл. 2 наведена обробка замовлення.

## Формалізований опис прецеденту «Обробка замовлення»

Основний виконавач – Адміністратор Зацікавлені особи – Користувач, Адміністратор
Передумови: Замовлення доступне для обробки адміністратору
Вхідні дані: Запит на обробку замовлення
Основний успішний сценарій: Користувачу відображається нотаток
Частота виконання: По запити
Постумови: Адміністратор обробляє замовлення
Вихідні дані: Адміністратор обробив замовлення

В табл. 3 наведено формування таблиць порівняння.

## Формалізований опис прецеденту «Формування таблиці порівняння»

Основний виконавач – Адміністратор Зацікавлені особи – Адміністратор
Передумови: Виходячи з замовлення адміністратору відкривається доступ до формування таблиць
Вхідні дані: Оформлена таблиця порівняння
Основний успішний сценарій: Адміністратор бачить таблиці
Частота виконання: По запити
Постумови: Адміністратор створює таблиці
Вихідні дані: Створені таблиці

В табл. 4 наведено заповнення таблиць з оцінками експертами.

## Формалізований опис прецеденту «Заповнення таблиць з оцінками експерту N»

Основний виконавач – Експерт Зацікавлені особи – Експерт
Передумови: Експерту відкриваються таблиці для їх заповнення
Вхідні дані: Таблиця порівняння для заповнення
Основний успішний сценарій: Експерт бачать таблиці
Частота виконання: По запити
Постумови: Експерт заповнює таблиці
Вихідні дані: Заповнені таблиці оцінками

В табл. 5 наведено отримання середньої оцінки розрахунків користувачем.

Таблиця 5

## Формалізований опис прецеденту «Отримання середньої оцінки розрахунків»

Основний виконувач – ПП, Адміністратор Зацікавлені особи – Користувач
Передумови: Адміністратор переглядає заповнення таблиці експертами
Вхідні дані: Заповнені таблиці порівняння
Основний успішний сценарій: Обчислення середньої оцінки
Частота виконання: По запити
Постумови: ПП створює звіт с середньою оцінкою експертів
Вихідні дані: Користувач отримує звіт розрахунків

## ВИСНОВКИ

Програмний продукт розробляється на основі аналізу теоретичних основ та методів створення СППР з використанням веб-технологій для організації роботи експертної групи, а також сучасних методів, моделей та інформаційних технологій організації встановлено, що на даний момент існує програмне забезпечення наведеного типу, але недостатня кількість СППР з організацією віддаленого доступу для експертів. При цьому було прийнято рішення самим розробити програмно-методичний комплекс з використанням веб-технологій для організації такої роботи експертної групи, що дозволить значно підвищити швидкість та зручність роботи для експертів, зменшить рутинне навантаження як для експертів так і для замовника.

Розробляється програмно-методичний комплекс з використанням веб-технологій для організації роботи експертної групи, а саме розроблена фізична, логічна моделі які включають в себе діаграми прецедентів використання, діаграми класів системи автоматизації, діаграми послідовностей предметної області програмного комплексу сервісу, які дозволили змоделювати взаємодії об'єктів програмного комплексу організації вибору.

В ході роботи буде проведено експеримент в процесі котрого проведено порівняння розробленого ПП з аналогами, та швидкості роботи методів В результаті отримаємо програмно-методичний комплекс з використанням веб-технологій для організації роботи експертної групи. Користь роботи полягає в скороченні витрат часу на проведення експертної оцінки, підвищенні точності оцінювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Системы поддержки принятия решений. Методы поддержки принятия решений. URL: <http://scibook.net/sistemyi-geologii-geoinformatsionnyie/sistemyi-podderjki-prinyatiya-48138.html> (дата обращения: 10.09.2019).
2. Путивцева Н. П. Информационные технологии поддержки принятий решений. URL: <https://scienceproblems.ru/informatsionnye-tehnologii-podderzhki-prinjatija-reshenij.html> (дата обращения: 10.09.2019).
3. Sprague R. A Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*. 198. Vol. 4, No. 4. Pp.1–25.
4. Biswas G., Oliff M. Decision support system of the Expert Sen A for production control. *The DECISION SUPPORT SYSTEM*. 1984. V. 4. P. 7–14.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2019 р.

УДК 004.8

Кулинич В. О. (КН-18-2м)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ У САЕ-СИСТЕМІ НА ОСНОВІ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*В рамках проекту були розглянуті моделі штучних нейронних мереж та методи їх навчання. Виконано аналіз наукової літератури, що описує методи прогнозування результатів моделювання у САЕ-системах. По ходу аналізу усіх даних виділили основні параметри бізнес-процесу, що дозволяють розробити програмний продукт для прогнозування результатів моделювання у САЕ-системах на основі штучного інтелекту.*

*Within the project models of artificial neural networks and methods of their training were considered. An analysis of scientific literature was performed describing methods for predicting simulation results in CAE systems. During the analysis of all the data identified the main parameters of the business process that allow you to develop a software product to predict the results of modeling in CAE systems based on artificial intelligence.*

Актуальним є питання ефективності роботи, а саме швидкості та правильності виконання. На даний час існують системи, які допомагають створювати нові технологічні процеси без зайвих збитків від невдалих спроб, але їх робота може займати значний час.

Метою дослідження є виявлення більш зручних методів або моделей прогнозування результатів моделювання у САЕ-системах на основі систем штучного інтелекту. Для досягнення встановленої мети потрібно:

- аналіз сучасних САЕ-систем та пошук засобів прогнозування результатів моделювань;
- аналіз засобів та технологій для прогнозування у САЕ-системах;
- розробка математичних моделей та алгоритмів прогнозування.

Виходячи з цього розглянемо декілька методів прогнозування, які можливо використовувати в нашій роботі:

- математична модель часових рядів – математичні моделі прогнозування, які прагнуть знайти залежність майбутнього значення від минулого всередині самого процесу і на цій залежності обчислити прогноз. Ці моделі універсальні для різних предметних областей, тобто їх загальний вигляд змінюється в залежності від природи тимчасового ряду. Найлегшою в засвоєнні моделлю часових рядів є лінійна регресія. Дана модель потребує значних досліджень в поведінці процесу. При недостатньому або зайвому наборі даних дана модель не зможе побудувати правильну залежність [1].

- штучна нейронна мережа – система з'єднаних і взаємодіючих між собою простих процесорів (штучних нейронів). Такі процесори зазвичай досить прості (особливо в порівнянні з процесорами, використовуваними в персональних комп'ютерах). Кожен процесор подібної мережі має справу тільки з сигналами, які він періодично отримує, і сигналами, які він періодично посилає іншим процесорам. І, тим не менше, будучи з'єднаними в досить велику мережу з керованим взаємодією, такі окремо прості процесори разом здатні виконувати досить складні завдання. Дана модель має перевагу, через те що її структуру не потрібно налаштовувати в ручну. Після формування початкової штучної нейронної мережі та початку навчання її структура змінюється в залежності від даних, які подаються на вхід та вихід. Для коректного навчання нейронної мережі потрібно правдиві вибірки даних тому їх нормалізують [2].

Розглянемо сценарій роботи програмного комплексу з прогнозування результатів моделювання.

На основі аналізу предметної області та виявлених вимог щодо розроблюваного програмного продукту розроблена діаграма прецедентів використання, яка представлена на рис. 1.

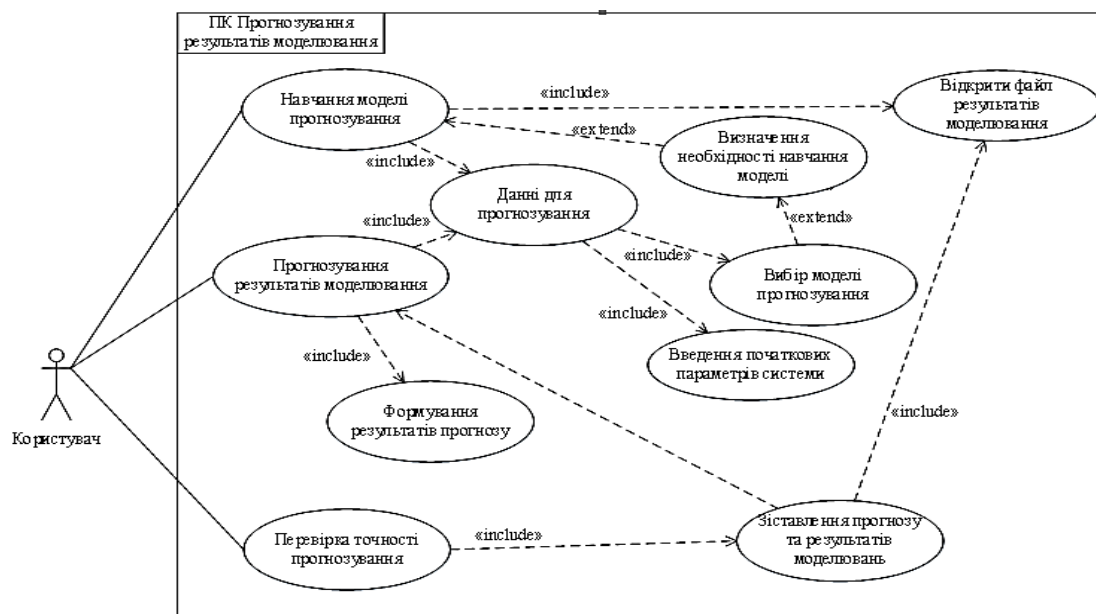


Рис. 1. Діаграма прецедентів програмного комплексу для прогнозування результатів моделювання

Дана діаграма показує взаємодію системи з чинними особами системи. При розгляді системи виділяється актор - «Користувач».

Загальна схема використання проектованого ПК для прогнозування результатів моделювань в САЕ-системах. З рис. 1 можна побачити, що користувач має доступ до трьох основних прецедентів: «Прогнозування результатів моделювання», «Навчання моделі прогнозування» та «Перевірка точності прогнозування».

Прецедент «Прогнозування результатів моделювання» включає в себе «Формування результатів прогнозу» та «Дані для прогнозування». «Дані для прогнозування» включає в себе наступні прецеденти «Вибір моделі прогнозування» та «Введення початкових параметрів системи». «Вибір моделі» включає «Визначення необхідності навчання моделі». «Визначення необхідності навчання моделі» може включати головний прецедент «Навчання моделі прогнозування».

Прецедент «Навчання моделі прогнозування» включає в себе «Дані для прогнозування» та «Відкрити файл результатів моделювання». «Дані для прогнозування» включає в себе наступні прецеденти «Вибір моделі прогнозування» та «Введення початкових параметрів системи».

Прецедент «Перевірка точності прогнозування» включає в себе «Зіставлення прогнозу та результатів моделювання». «Зіставлення прогнозу та результатів моделювання» включає в себе наступні прецеденти: «Відкрити файл результатів моделювання» та головний прецедент «Прогнозування результатів моделювання».

В табл. 1 наведено прецедент навчання штучної нейронної мережі.

Таблиця 1

Формалізований опис прецеденту «Навчання моделі прогнозування»

Основний виконавець – Користувач
Передумови: – Користувач навчає модель
Вхідні дані: – Обирає необхідну модель прогнозування – Вводить початкові параметри системи – Відкриває файл результатів моделювання
Основний успішний сценарій: – Модель пройшла ітерацію навчання

Постумови: – Підвищена точність прогнозування методу
Вихідні дані: – Модель пройшла ітерацію навчання
Основний успішний сценарій: – Модель пройшла ітерацію навчання

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу теоретичних основ створення технологічного процесу обробки металів тиском встановлено, що на даний момент є програмні продукти, які дозволяють моделювати створений процес без збитків на виробництві, але процес моделювання займає деякий час, якщо складна деталь та неправильно підібрані умови, процес може зайняти багато часу. Саме тому було прийнято рішення що до дослідження методів, моделей та інформаційних технологій штучного інтелекту для прогнозування результатів моделювання обробки металів тиском, що дозволить значно підвищити швидкість вибору технологічного процесу, який задовольнить потреби технолога, та зменшити шанс помилки при виробництві.

Для дослідження були визначені технології штучного інтелекту, а саме штучні нейронні мережі. Серед усього різноманіття моделей нейронних мереж віддали перевагу мережам прямого розподілення. В якості способу навчання обрали метод зворотнього розпоширення помилки. Вхідними даними були вибірки початку та результату досліджень. Через те що структура нейронної мережі з початку має постійне число вхідних сигналів, потрібно було при моделюванні вказувати певне число елементів. Це в свою чергу зможе вплинути на точність моделювання та правильність вибірки для навчання системи.

Під час досліджень, через можливу похибку моделювання, було добавлено довірчий інтервал для перевірки результатів. Також через те, що моделювання виконується значний час, було використано лише три навчальні вибірки. Тому на даному етапі розробки програмного продукту виникає ряд проблем, які необхідно вирішити для досягнення високого відсотка правильних прогнозів необхідно:

- визначити модель та виконати приведення будь-якої кількості елементів до заданої кількості вхідних сигналів;
- зробити більше моделювань для того, щоб система більш правильно визначила структуру роботи та встановила необхідні ваги нанейронів.

Для програмного комплексу, який дозволяє спрогнозувати результати технологічного процесу, була розроблена, з початку, логічна, а потім і фізична моделі програмного комплексу для прогнозування результатів моделювання технологічного процесу, які включають в себе діаграми прецедентів використання, діаграми класів системи обробки даних, діаграми послідовностей програмного комплексу з урахуванням предметної області, які дозволили змоделювати взаємодії об'єктів програмного комплексу оптимізації технологічного процесу.

Проаналізовані небезпечні і шкідливі виробничі фактори, серед яких ураження електричним струмом, виникнення пожежі, можливість механічного травмування, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, підвищений рівень статичної електрики та ін. та був запропонований ряд заходів для їх усунення.

В ході виконання дипломної роботи були закріплені знання з засобів і технологій проектування, розробки програмних проектів. В результаті був розроблений програмний комплекс для прогнозування результатів моделювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шашков В. Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: учеб. пособ. Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. 363 с.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Москва: Мир, 1992. 184 с.
3. Крисолов В. А. Представление исходных данных в задачах нейросетевого программирования. Одеса: ОНПУ. 2003.
4. Килов А. С. Обработка материалов давлением в промышленности: учеб. пособ. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. 266 с.

УДК 004.8

Полшенцев Б.В. (КН-18-2м.)

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РІЖУЧОЇ ЧАСТИНИ ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*Розглянуто математичну та інформаційну моделі оптимізації параметрів ріжучої частини інструменту. Проаналізовано наукову літературу, що описує моделі та інформаційні технології оптимізації з використанням штучного інтелекту. Виділені основні параметри бізнес-процесу, що дозволяють створити систему для оптимізації параметрів ріжучої частини інструменту, яка буде забезпечувати пошук оптимальної конструкції ріжучого інструменту.*

*The mathematical and information models of optimization of the cutting tool parameters are considered. The scientific literature describing models and information technologies of optimization with use of artificial intelligence is analyzed. The basic parameters of the business process are selected, which allow to create a system for optimizing the parameters of the cutting part of the tool, which will ensure the search for the optimal design of the cutting tool.*

Актуальним є питання про високі експлуатаційні показники і продуктивність процесів обробки різанням. На даний момент [1] існує ряд методів оптимізації параметрів технологічного процесу (ТП). Перший метод вирішення заснований на створенні аналітичних моделей. Другий метод рішення – це експериментальне вивчення впливу різних чинників. Третій метод ґрунтується на цілеспрямованих експериментальних дослідженнях і аналізі результатів. Четвертий – моделювання з використанням методів і підходів штучного інтелекту.

За останнє десятиліття накопичено позитивний досвід застосування нейромережових алгоритмів при прогнозуванні технологічних процесів обробки різанням. Спроба передбачити шорсткість поверхні при точінні і знаходити оптимум умов різання за допомогою нейронної мережі була зроблена Chien і Chou в [2]. Suresh [3] застосував дві стадії до оптимізації шорсткості поверхні. У першій експериментальні результати використовувалися, щоб побудувати дві математичні моделі, які описують шорсткість поверхні методом регресійного аналізу. У другій була застосована математична модель цільової функції і оптимізована за допомогою генетичного алгоритму (ГА), щоб отримати умови механічної обробки для заданого кінцевого стану поверхні. Лі [4] запропонував гібрид, який об'єднував аналітичні моделі і моделі нейронної мережі для того, щоб передбачити параметри обробки.

Метою роботи є створення системи для оптимізації параметрів ріжучої частини інструменту з використанням штучного інтелекту, яка буде забезпечувати пошук оптимальних параметрів ріжучого інструменту.

При вирішенні завдань за допомогою алгоритмів генетичного програмування виникає проблема вибору їх параметрів. Для кожної розв'язуваної задачі існує свій, оптимальний в деякому сенсі, набір параметрів, який, в свою чергу, може змінюватися під час роботи алгоритму. Спочатку набір цих параметрів не відомий.

Таким чином, ставиться завдання знаходження параметрів ГА з метою збільшення продуктивності програми. Регульованими величинами ГА будуть: ймовірність кросовера, ймовірність мутації, точність пошуку оптимуму цільової функції, кількість епох, методи оптимізації які використовуються.

Також ставиться завдання оптимізації за допомогою ГА з само налаштуванням довжини головної ріжучої кромки пластини торцевої фрези і головного кута в плані на основі цільової функції надійності фрези.

Головний кут в плані являє собою кут між головною різальною крайкою пластини і оброблюваною поверхнею заготовки. Він впливає на товщину стружки, силу різання, якість обробленої поверхні і через стійкість інструменту на його надійність. При зменшенні головного кута в плані товщина стружки також зменшується для заданого значення подачі.

Малий головний кут в плані забезпечує більш плавний вхід в різання, обмежує радіальні сили різання і захищає ріжучу кромку від пошкоджень. Однак більш високі осьові сили різання сприяють збільшенню навантаження на заготовку.

Надійність роботи фрези будемо характеризувати періодом стійкості, хв., що виражається формулою :

$$T = \left( K_v \cdot \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{V \cdot t^{x_v} \cdot f_z^{y_v} \cdot a_e^{u_v} \cdot z^{p_v}} \right)^{\frac{1}{m_v}}, \quad (1)$$

де  $C_v$  – коефіцієнт розмірностей умов обробки;  $D$  – діаметр фрези, мм;  $K_v$  – поправочний коефіцієнт;  $q_v$ ,  $x_v$ ,  $u_v$ ,  $p_v$ ,  $m_v$  – коефіцієнти розмірностей параметрів моделі;  $t$  – глибина різання, мм;  $a_e$  – ширина фрезування, мм;  $z$  – кількість зубів фрези, шт;  $f_z$  – подача на зуб, мм/зуб;  $V$  – швидкість різання, м/хв.

Поправочний коефіцієнт розраховується:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{rv} \cdot K_{iv}, \quad (2)$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує характер оброблюваного матеріалу;  $K_{rv}$  – коефіцієнт, що враховує якість поверхні деталі;  $K_{iv}$  – коефіцієнт, що враховує характер матеріалу ріжучої пластини.

Після оптимізації  $t$  – глибини різання, довжина пластини –  $l$ , визначається за формулою (1):

$$l = t \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

$$t = 0.75 \cdot l, \quad (4)$$

де  $\varphi$  – головний кут в плані.

Розглянемо сценарій поведінки системи оптимізації конструкції з використанням штучного інтелекту.

На основі аналізу предметної області та виявлених вимог щодо розроблюваного програмного продукту розроблена діаграма прецедентів використання, яка представлена на рис. 1.

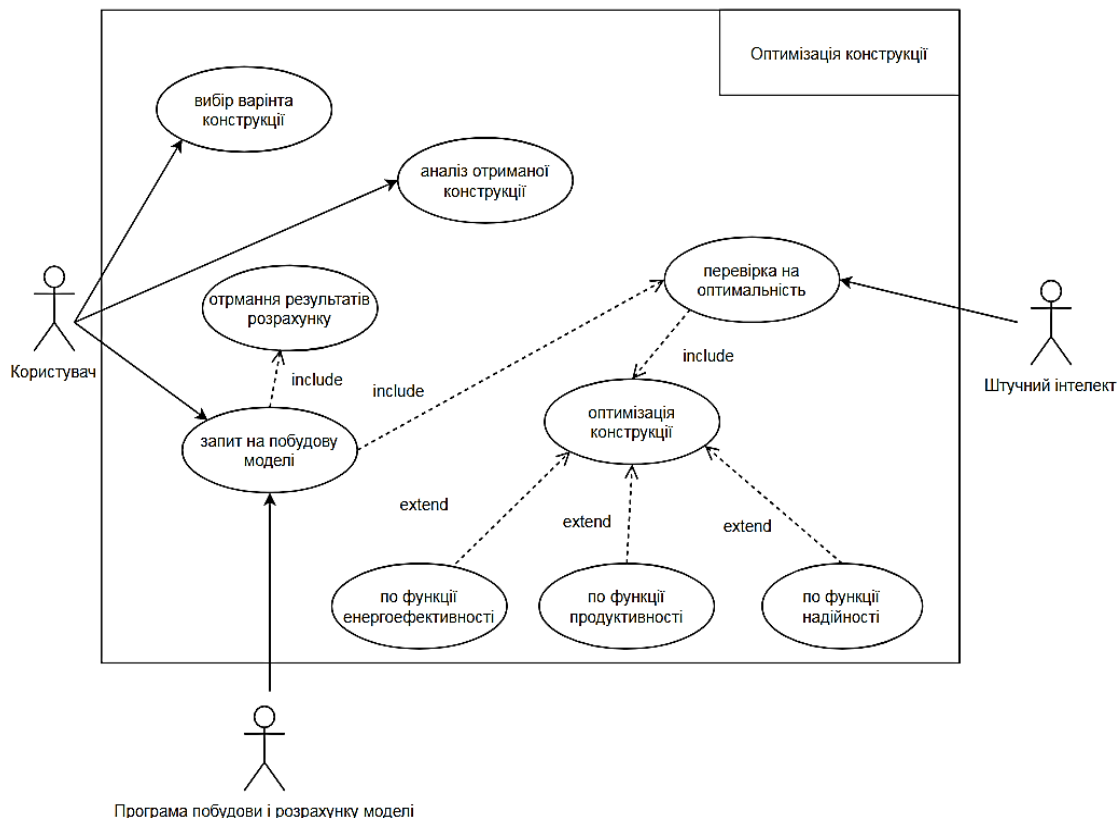


Рис. 1. Діаграма прецедентів системи оптимізації конструкції



Дана діаграма показує взаємодію варіантів системи з дійовими особами системи. При розгляді системи виділяється актор «Користувач».

Найбільш значущими в системі є такі прецеденти запиту на побудову моделі, вибір варіанта конструкції та ін.

Ці прецеденти, в свою чергу, пов'язані з такими прецедентами, як перевірка на оптимальність, оптимізація конструкції, отримання результатів розрахунку та ін. (табл. 1–4).

Таблиця 1

## Опис прецеденту «Вибір варіанта конструкції»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Користувач
Передумови: система отримує запит від користувача.
Вхідні дані: дані від користувача;
Основний успішний сценарій: <ul style="list-style-type: none"> <li>– система обробляє запит від користувача;</li> <li>– штучний інтелект отримує дані від користувача;</li> <li>– штучний інтелект запускає перевірку на оптимальність;</li> <li>– штучний інтелект виконує оптимізацію.</li> </ul>
Частота виконання: за запитом.
Післяумови: користувач отримує результати розрахунку.
Вихідні дані: оптимальна модель.

Таблиця 2

## Опис прецеденту «Запит на побудову моделі»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Користувач
Передумови: програма отримує запит від користувача.
Вхідні дані: дані від користувача.
Основний успішний сценарій: <ul style="list-style-type: none"> <li>– програма обробляє запит від користувача;</li> <li>– програма завантажує дані;</li> </ul>
Частота виконання: за запитом.
Післяумови: повідомлення що отримано результат розрахунку.
Вихідні дані: <ul style="list-style-type: none"> <li>– повідомлення про результат розрахунку;</li> <li>– результат розрахунку.</li> </ul>

Таблиця 3

## Опис прецеденту «Перевірка на оптимальність»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Штучний інтелект
Передумови: запит від користувача.
Вхідні дані: запит від користувача.
Основний успішний сценарій: <ul style="list-style-type: none"> <li>– штучний інтелект обробляє запит;</li> <li>– виконується оптимізація.</li> </ul>
Частота виконання: за запитом.
Післяумови: вибір параметрів для оптимізації.
Вихідні дані: параметри для оптимізації.

## Опис прецеденту «Оптимізація конструкції»

Опис прецеденту
Основний виконавець: Штучний інтелект
Передумови: отримані параметри для оптимізації
Вхідні дані: масив параметрів
Основний успішний сценарій: оптимальні параметри
Частота виконання: за запитом.
Післяумови: отримання оптимальних параметрів.
Вихідні дані: оптимальні параметри.

Робоче проектування програми «Виконання оптимізації» передбачається здійснити за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування C# з використанням фреймворка Microsoft .NET Framework [5].

## ВИСНОВКИ

Програмний продукт розробляється для оптимізації параметрів ріжучої частини інструменту та забезпечення пошуку оптимальних параметрів ріжучого інструменту.

Система повинна полегшити процес оптимізації параметрів ріжучої частини інструменту. Для цього в програмному комплексі планується можливість оптимізації ріжучої частини інструменту по основним параметрам її ефективності, а саме надійності, продуктивності, енергоефективності.

За рахунок застосування штучного інтелекту істотно знижується час аналізу параметрів ріжучої частини інструменту.

Завдяки введенню програмного продукту в роботу прискорюється процес розрахунку і вибору оптимальної конструкції ріжучої частини інструменту. В наслідок використання оптимальної конструкції зменшується вартість обробки 1 м<sup>2</sup> поверхні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжов Э. В., Аверченко В. И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. Киев: Наукова думка, 1989. 192 с.
2. Chien W. T., Chou C. Y. The predictive model for machinability of 304 stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. № 118. P. 442–447.
3. Suresh P. V. S., Venkateswara P., Deshmukh S. G. A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2002. № 42. P. 675–680.
4. Li X. P., Lynkaran K., Nee A. Y. C. A hybrid machining simulator based on predictive theory and neural network modeling. *Journal of Materials Processing Technology*. 1999. № 89. 90. P. 224–230.
5. Введение в C#. URL: [http://parallel-brains.narod.ru/seminar2/CSharp\\_2\\_0.htm](http://parallel-brains.narod.ru/seminar2/CSharp_2_0.htm) (дата обращения: 06.08.2019).

Стаття надійшла до редакції 28.10.2019 р.

## RESEARCH OF METHODS OF DATA VISUALIZATION IN MULTIDIMENSIONAL SPACE

*У статті розглянуто процес візуалізації багатовимірних даних. Проаналізовано основні методи, що дозволяють здійснити візуалізацію багатовимірних даних. В процесі аналізу було встановлено відмінні риси, переваги і недоліки кожного з методів візуалізації.*

*The article describes the process of visualization of multidimensional data. The main methods providing the visualization of multidimensional data are analyzed. Distinctive features, advantages and disadvantages of each of the visualization methods were defined during the analysis.*

Visualization is the process of presenting data in the form of images for maximum ease of understanding, giving visible form to any object, subject, process etc. There are many ways to visually represent data. The choice of method depends on the visualization process of understanding user information.

Visual analysis is the fastest way to get an idea of the nature of the data. It provides a picture of the "overall" and sometimes discover the presence of different relationships and anomalies, which are quite difficult to detect otherwise. Visual analysis can detect very effective grouping data, emissions and other problems in the data.

In the programming market software is aimed at analytical work with multidimensional data structures. Fairly widespread and diverse. However, using such technological toolkits may encounter several problems. First, the data processing imposes certain restrictions on the sample (eg, independence, homogeneity, accident, type of distribution). Inconsistency in the original sample of these requirements leads to unreliable results processing. Second, the user always has the device for multivariate analysis, and the absence of vivid visual presentation of the results hard to perceive. And thirdly - there are problems that are difficult to formalize by classical analytical way and require additional qualitative description of the figurative level. For example, providing information in four or more dimensions is not available for the perception of the user. Such data must be either converted into a three-dimensional space, or special techniques should be employed.

The above described problems actualize the task of creating simple, easy to use software for data visualization.

The level of complexity of imaging techniques are divided into: simple (line graphs, charts, histograms, etc.) and complex. In addition, a combination of different methods can be used when imaging. There are following types of imaging techniques:

- Standard 2D / 3D-images - bar graphs, line graphs, etc., etc .;
- geometric transformations - scatter chart data, parallel coordinates and t. p .;
- methods oriented pixels - recursive patterns, circular segments and so on., etc .;
- hierarchical images - tree-map and overlay measurements.

Let us analyze some imaging techniques in terms of the complexity of software implementation and scope.

To identify specific dependencies or group supervision, or probably investigate complex relationships among several variables Chernoff faces should be used. This method of multidimensional data presentation can show information about any object as a "face". These features of the "face" show different values of the object according to certain criteria. The basic idea of presenting information in "Chernoff faces" is encoded values of different variables in the characteristics or features of a human face.

Visually, "Chernoff faces" appear as shown in Fig. 1.

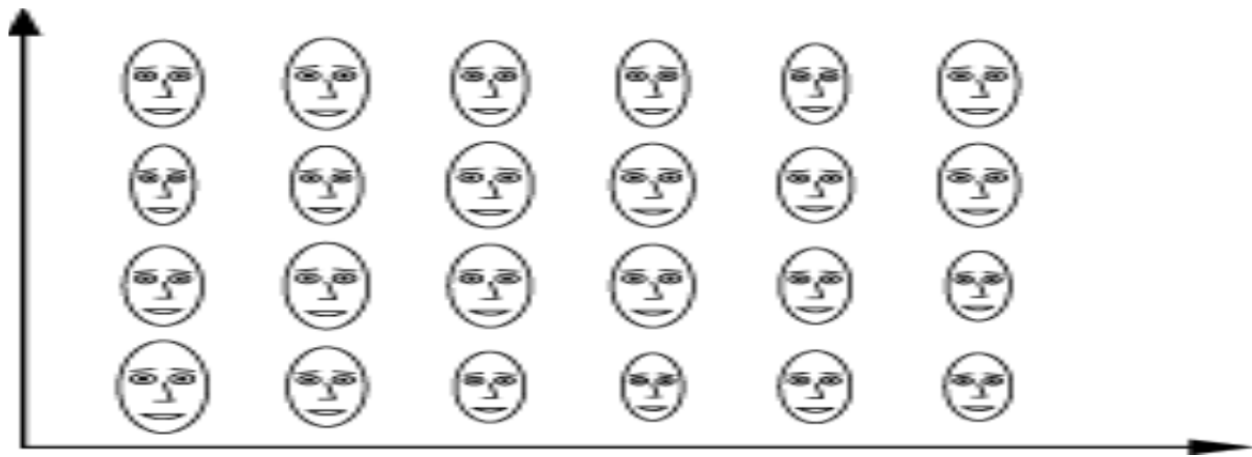


Fig. 1. Example of multidimensional image data with the use of "Chernoff Faces" method

The same principle of representation and processing of multidimensional data is used in constructing charts, radar – radar chart [1].

Lobe is used to visualize data relationships at the same time considering a large number of parameters. The value of each option is deposited on the axes of the chart-radar. Radar chart provides a comparative picture of the values of several similar rows in the sample. For each category, according to the estimation of separate categories based on axis, all axes come from one center. Example of a petal diagram is represented in Fig. 2.

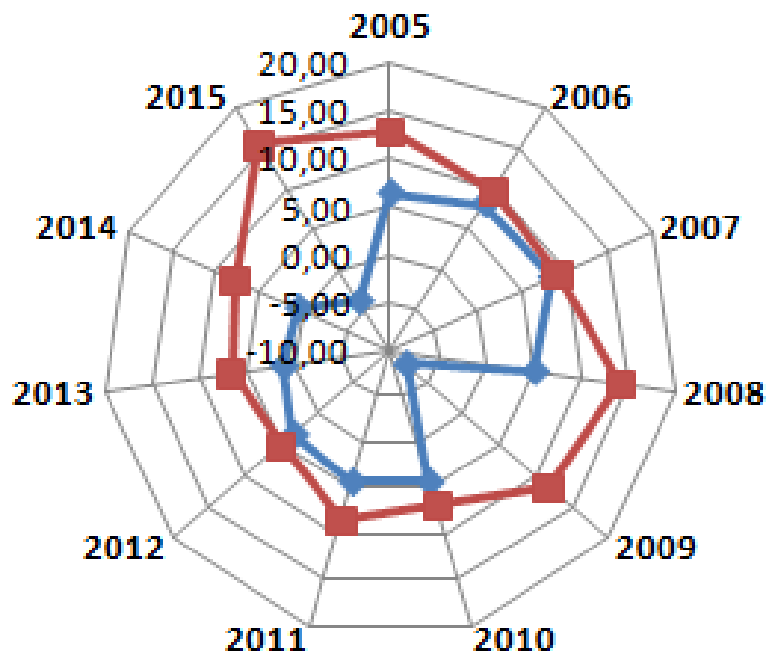


Fig. 2. Example of Radar charts

The next method of visualization – plotting parallel coordinates, which is visualization of dynamic data with the use of parallel coordinates. It should be noted that it can provide a comparison and analysis of a set of objects on a number of indicators.

Parallel axes are set in this type of diagram. Each axis can have its coordinates, below a minimum value and above a maximum value. One line is performed for each object according to the values of its comparable indices. If objects for comparison are determined, the line is set, and thus group lines are clearly apparent, that is, similarities or differences of objects on individual parameters (Fig. 3, 6 axes).

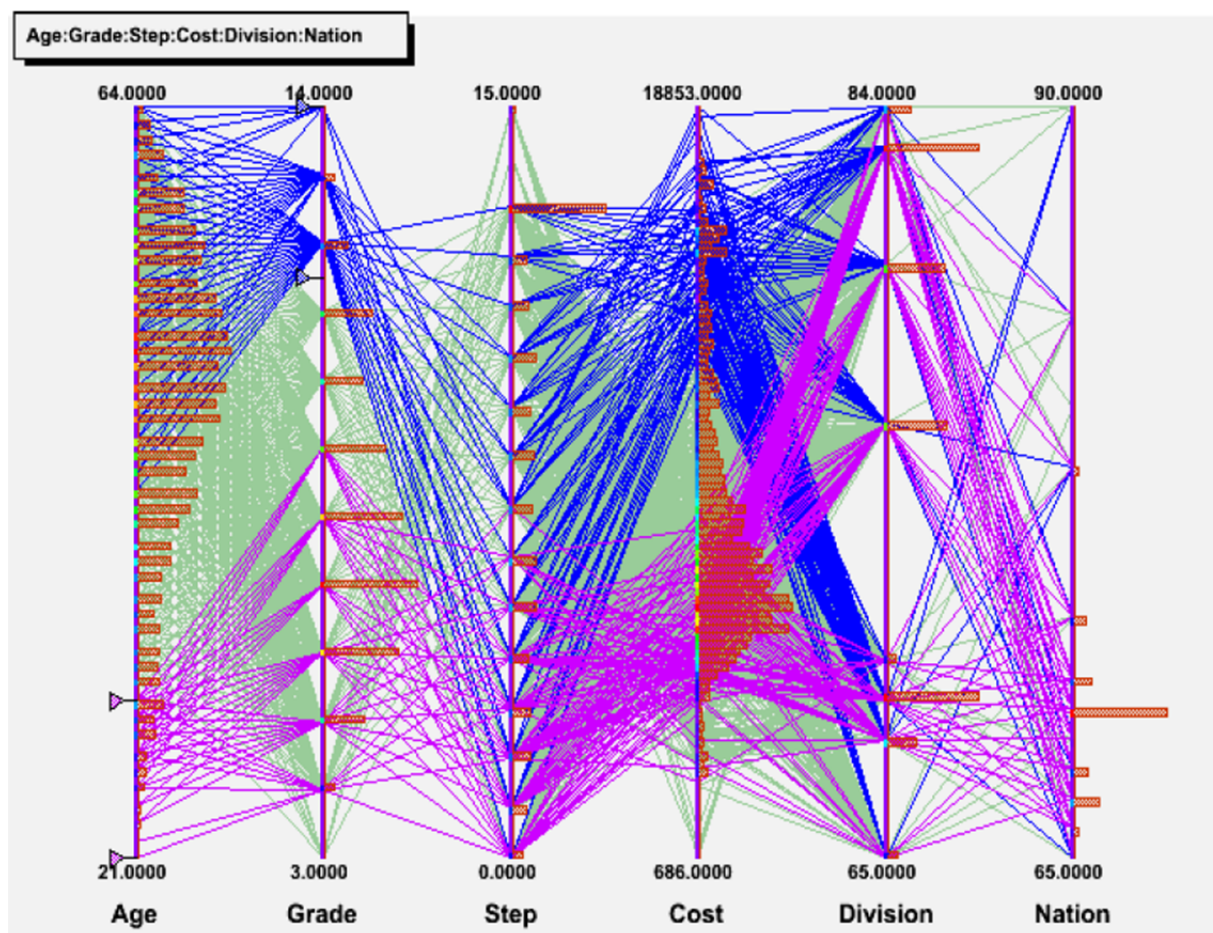


Fig. 3. Example of a diagram with parallel coordinates

## CONCLUSIONS

The feasibility of using each method of imaging is determined by a class of practical problems that a user solves. Considering the complexity of their construction, issues of the development of software, providing not only a visual interpretation of analytical data but also recommendations for the use of a method, are very relevant.

## REFERENCES

1. Яу Н. Искусство визуализации в бизнесе. Как представить сложную информацию простыми образами: пер. с англ. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 352 с.
2. Чубукова И. А. Data Mining: учеб. пособ. Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 382 с.
3. Мельников А. Ю. Объектно-ориентированный анализ и проектирование информационных систем: учеб. пособ. Краматорск: ДГМА, 2013. 172 с.
4. Мельников А. Ю., Баган С. В. Разработка информационной системы для формирования новых методов представления данных в четырех и больше измерениях. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць*. Краматорськ: ДДМА, 2019. №1 (45). С. 169–174.

*Received 19.05.2020.*

## ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ НАУКИ О СОПРОТИВЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ

*Проанализирован исторический путь, пройденный наукой о сопротивлении материалов во взаимосвязи с техническим прогрессом человечества и становлением инженерной профессии. Приведены справки о научном наследии учёных, внесших наиболее значимый вклад в развитие этой науки. Статья предназначена для студентов, стремящихся расширить свой научный кругозор. Она может быть полезна также преподавателям данной дисциплины.*

*The historical path taken by the science of the resistance of materials in connection with the technological progress of mankind and the formation of the engineering profession is analyzed. Information is given on the scientific heritage of the scientists who made the most significant contribution to the development of this science. The article is intended for students aspiring to widen a scientific outlook. It may also be useful to teachers of this discipline.*

Сопротивление материалов – наука об инженерных методах расчёта на прочность, жёсткость и устойчивость элементов машин и сооружений [1], которая вместе с теоретической механикой составляет фундамент технических расчётов. Она входит в состав обязательных общетехнических дисциплин всех инженерных ВУЗов.

Исторические справки, содержащиеся в учебниках и других литературных источниках по сопротивлению материалов [1–4 и др.], имеют, как правило, фрагментальный характер, расщеплены по различным темам и не дают общего представления о логике становления и развития этой дисциплины, что существенно обедняет излагаемый материал, так как не позволяет студентам оценить в полной мере его практическую значимость для развития техники.

Целью данной работы является освещение важнейших периодов истории сопротивления материалов как отдельной науки во взаимосвязи с историческими этапами развития техники и становления профессии инженера.

Появление инженерной профессии как особого вида человеческой деятельности, а вместе с этим и сопротивления материалов как инженерной науки, связывают, прежде всего, с именами великих итальянских учёных Леонардо да Винчи (1452–1519) и Галилео Галилея (1564–1642), которые впервые основывались в своих многочисленных технических проектах не только на богатом эмпирическом опыте предыдущих поколений, но и на результатах специально проводимых ими научных исследований в различных областях знаний, в том числе и по изучению сопротивления материалов действующим на них нагрузкам [5].



Эпоха Возрождения принесла с собой оживление интереса к науке. Наиболее ярко дух эпохи воплотился в образе Леонардо да Винчи. Он экспериментально изучал прочность строительных материалов, сопротивление балок изгибу, а также проводил исследования по сопротивлению колонн. Он указывал, что их несущая способность обратно пропорциональна длине, но находится в прямом отношении к площади их поперечного сечения. Эти вкратце отмеченные его достижения представляют собой, вероятно, первую попытку применения статики к определению сил, действующих на элементы строительных конструкций, а также первые опытные определения сопротивления строительных материалов [3].

Отправным пунктом развития сопротивления материалов как науки считается появление книги Галилео Галилея «Discorsi e Dimostrazioni matematiche» (1638, Лейден, Голландия). Новая экономика того времени потребовала решения ряда новых технических проблем. Оживление внешних торговых сношений поставило задачу увеличения тоннажа судов, а это повлекло за собой необходимость изменения их конструкции.



Одновременно стал вопрос о реконструкции и создании новых внутренних водных путей сообщения, включая устройство каналов и шлюзов. Эти технические задачи не могли быть решены простым копированием существовавших ранее конструкций судов и сооружений. Оказалось необходимым научиться путём расчёта оценивать прочность элементов конструкций в зависимости от их размеров и величин действующих на них нагрузок. Значительная часть работ Галилея была посвящена решению задач о зависимости между размерами балок и других стержней и теми нагрузками, которые могут выдержать эти элементы конструкций. Он указал, что полученные им результаты могут «принести большую пользу при постройке крупных судов, в особенности при укреплении палуб и покрытий, так как в сооружениях этого рода лёгкость имеет огромное значение» [3].



К основоположникам науки о сопротивлении материалов следует отнести также английского учёного Роберта Гука (1635–1703), открывшего в 1678 г. закон деформирования упругих тел, согласно которому деформация упругого тела пропорциональна действующему на него усилию [3, 4]. Это линейное соотношение, известное как закон Гука, и послужило фундаментом, на котором получила своё дальнейшее развитие механика упругих тел.

Быстрое развитие науки о сопротивлении материалов началось в период промышленной революции, прокатившейся по всем развитым странам мира в период с конца XVIII в. до 70-х годов XIX в. и ознаменовавшийся появлением машиностроения и оснащением машинами с паровым двигателем различных производств и видов транспорта. В этот период появились паровозы и железные дороги, пароходы, ткацкие и металлорежущие станки, другие образцы новой техники, создание которых потребовало от учёных новых научных знаний.

В период технической революции наиболее значимый вклад в развитие сопротивления материалов внесли знаменитый академик Петербургской академии наук, швейцарец по происхождению Леонард Эйлер (1707–1783), английский учёный Томас Юнг (1773–829), французские учёные Барре де Сен-Венан (1797–1886), Симеон Дени Пуассон (1781–1840) и Навье Луи Мари Анри (1785–1836), российский учёный Дмитрий Иванович Журавский (1821–1891).

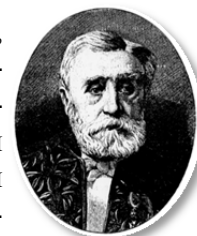


Леонард Эйлер внёс важнейший вклад в развитие теории изгиба и устойчивости стержней. Он впервые поставил и решил задачу о гибком стержне, сжатом осевой силой. Наименьшее значение этой силы, при котором начинается изгиб стержня, названо «эйлеровой силой». Труды Эйлера оказали большое влияние на развитие механики второй половины XVIII в. и начала XIX в.



Томас Юнг, член Лондонского королевского общества, известен широким диапазоном исследований в различных областях науки и техники. При исследовании растяжения и сжатия впервые ввёл понятие модуля упругости. Он является основоположником изучения напряжений, вызванных ударом. Юнг дал решение задачи о растяжении или сжатии бруса прямоугольного сечения.

Барре де Сен-Венан, член Парижской академии наук, является одним из создателей современной теории упругости. Он разработал точную теорию кручения и изгиба призматических стержней произвольного поперечного сечения. Сен-Венан известен также работами в области пластических деформаций и теории колебаний. Им сформулирован принцип, существенно упрощающий постановку задач теории упругости и сопротивления материалов [1].



Симеон Дени Пуассон был математиком, механиком и физиком, внёсшим заметный вклад в развитие теории упругости. Он сделал многое, чтобы укрепить основы этой науки. Им было введено в науку понятие «коэффициента Пуассона» т. е. отношения продольной и поперечной относительных линейных деформаций стержня при растяжении и сжатии.



Навье Луи Мари Анри, член французской Академии наук, учёный в области механики и математики, также был одним из основоположников теории упругости. Он первым ввёл понятие напряжений, разработал полную теорию изгиба призматического стержня, установил положение нейтральной линии при изгибе, дал формулу для кривизны упругой линии, вывел уравнения изгиба пластин. Его перу принадлежит первый курс сопротивления материалов (1826).



Сильный толчок к развитию науки о сопротивлении материалов получила в период строительства железнодорожных мостов. В 1855 г. опубликованы выдающиеся работы Дмитрия Ивановича Журавского. Начав с простейшего случая консоли прямоугольного сечения, нагруженной на свободном конце, Журавский заключает, что нормальные напряжения, распределённые по поперечному сечению у закреплённого опорного конца, стремятся вызвать скалывание по нейтральной плоскости.

Он находит величины скалывающей силы и соответствующего касательного напряжения, учёт которых позволил осуществить проект железнодорожного моста через реку Веребье. Журавский спроектировал и построил ряд уникальных металлических конструкций, в частности металлический шпиль Петропавловского собора в Петербурге [1, 3].

Период от окончания промышленной революции и до 20-х годов XX в. охарактеризовался стремительным развитием техники [5]. Крупнейшие достижения того времени: резкое увеличение производства и повышение качества стали для нужд строительства, железнодорожного и водного транспорта, горнодобывающей промышленности, военной индустрии и различных отраслей машиностроения; появление электросварки и начало использования в промышленных масштабах электричества в качестве энергоносителя вместо пара; создание химической промышленности; изобретение двигателей внутреннего сгорания и создание на их основе автомобилей и самолётов; изобретения телефона, радио, фото и кинематографа.

Указанные достижения были бы невозможны без труда многих учёных того времени.

Наибольший вклад в развитие сопротивления материалов на данном этапе внесли немецкие учёные Христиан Отто Мора (1835–1918) и Август Вёлер (1819–1914), итальянский учёный и инженер Карло Альберто Кастильяно (1847–1884), российские учёные Виктор Львович Кирпичёв (1845–1913) и Феликс Станиславович Ясинский (1856–1899).



Крупным достижением в области сопротивления материалов является графическое представление плоского напряжённого состояния в точке нагруженного тела, предложенное немецким учёным Христианом Отто Мором. Рассматривая трёхмерное напряжённое состояние, он находит с помощью трёх «кругов Мора» пределы изменения нормальных и касательных напряжений на произвольных площадках, проходящих через точку. Важным достижением Мора является метод определения перемещений в стержневых системах, названный его именем и широко используемый до сих пор в инженерной практике. Ему принадлежит также создание одной из классических теорий прочности.



Август Вёлер – основоположник научного изучения усталости материалов, создатель первых машин для испытания сопротивления материалов повторно – переменным нагрузкам. Своими классическими опытами с железом и сталью он внёс большой вклад в научную основу проектирования металлических конструкций, подвергающихся таким нагрузкам. Спроектированные и используемые им испытательные машины были лучшими в мире. Свидетельством их исторического значения является то, что они хранятся в качестве экспонатов в Музее немецкой техники в Мюнхене.

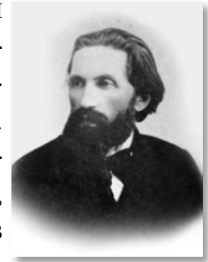
Карло Альберто Кастильяно дал формулировку теоремы об определении прогибов шарнирных ферм с приложениями к теории сооружений. Эта теорема носит его имя и является одной из основных в строительной механике. Сформулированная первоначально для шарнирных ферм, она была обобщена автором на упругие тела любого вида. Теорема Кастильяно легла в основу метода Мора по





определению перемещений в стержневых системах и самостоятельного применения в этом качестве практически не имеет. Однако она используется в расчётах перемещений в нестержневых системах (пластинках, оболочках и деталях, все три измерения которых имеют один порядок).

Виктор Львович Кирпичёв – выдающийся учёный в области механики и сопротивления материалов, автор классических мемуаров по теории упругости и строительной механике, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и первый ректор Киевского политехнического института. Он внёс большой вклад в развитие науки о сопротивлении материалов, особенно в расчёт статически неопределимых систем. Его учебники, лекции, статьи сыграли большую роль в развитии науки о прочности материалов в России в конце XIX и начале XX века [1].



Широко известны работы российского учёного и инженера, специалиста в области строительной механики Феликса Станиславовича Ясинского по исследованию устойчивости сжатых стержней, работающих при напряжениях, превышающих предел пропорциональности материала. На основе аппроксимации богатого практического материала им получены расчётные зависимости для критических напряжений для стальных и чугунных стержней. Ясинский решил также ряд задач об устойчивости стержней под воздействием продольно-поперечных нагрузок. Дифференциальные уравнения, полученные им, были проинтегрированы в рядах [3].

По окончании первой мировой войны, начиная с 20-х годов XX в. начался период научно-технической революции, основной особенностью которой явилось превращение науки в непосредственную производительную силу [5]. Вместо отдельных учёных в научную деятельность вступали их объединения, разработки которых реализовались в производстве новой техники. Такие объединения в виде научно – исследовательских институтов и фирм создавались в различных отраслях промышленности всех экономически развитых стран. Наиболее мощные из них работали в отраслях, связанных с производством вооружений, – в авиастроении, судостроении, танкостроении, а после второй мировой войны – ещё и в ракетостроении, других отраслях оборонной промышленности.

Обычно считается, что период научно-технической революции окончился в 80-х годах XX столетия, хотя созданная до этого сеть научных учреждений существует и в настоящее время.

К учёным периода научно-технической революции, внёсшим весомый вклад в развитие науки о сопротивлении материалов, следует отнести украинцев – Степана Прокопьевича Тимошенко (1878 – 1972), Георгия Степановича Писаренко (1910 – 2001) и Феофана Леонтьевича Шевченко (1927 – 2016), а также большую группу советских учёных – Алексея Николаевича Крылова (1863 – 1945), Николая Михайловича Беляева (1890 – 1944), Андрея Константиновича Верещагина (1896 – 1959), Сергея Владимировича Серен сена (1905 – 1977) и многих других.



Большую известность в начале XX столетия получили работы профессора Киевского политехнического института и ряда других институтов дореволюционной России Степана Прокопьевича Написан курс Тимошенко в развитии науки о сопротивлении материалов. Его научные интересы были разнообразны. В 1906 году им написан курс сопротивления материалов, в 1913 – 1915 годах подготовлены и изданы 2 тома теории упругости. Он произвёл расчёт многих конструкций (висячих мостов, рельсов, валов, осей, зубчатых колёс и др.), разработал теорию изгиба стержней и пластин с учётом сдвиговых деформаций, выполнил цикл работ по кручению, удару и колебаниям стержней, решил задачу о концентрации напряжений вблизи отверстий (задача Тимошенко), подготовил труды по статике сооружений, теории устойчивости, по расчёту пластин и оболочек. Его учебные курсы сопротивления материалов и теории упругости значительно превосходят по глубине и содержанию аналогичные заграничные курсы. В 20-х годах XX в. С. П. Тимошенко переезжает в США и его последующие научные работы в направлении прочности получают мировое признание.



Георгий Степанович Писаренко – выдающийся ученый, академик АН УССР, основатель общепризнанной не только в Украине, но и за рубежом, научной школы прочности материалов и элементов конструкций в экстремальных условиях. Под его руководством нашли решение актуальные проблемы, которые отражали запросы атомной энергетики, газотурбостроения, авиационной, ракетно – космической техники и других важнейших отраслей машиностроения. Учебник для ВУЗов по сопротивлению материалов, подготовленный группой преподавателей Киевского политехнического института под руководством Г. С. Писаренко [1], претерпел ряд переизданий и был удостоен Государственных премий СССР и Украинской ССР.



Феофан Леонтьевич Шевченко – профессор, заслуженный работник народного образования Украины. С 1967 г. возглавлял кафедру сопротивления материалов Донецкого политехнического института, а в последствии – Донецкого Национального технического университета. Основным научным направлением Ф. Л. Шевченко является теоретическое исследование и разработка инженерных методов расчёта горных машин и оборудования. Он впервые разработал теорию расчёта на прочность многоканатных шахтных подъёмных машин и усовершенствовал теорию расчёта барабанных подъёмников, на базе чего в 70–80 годах прошлого столетия были разработаны и запущены в серийное производство первые отечественные многоканатные шахтные подъёмные машины высокой производительности и надежности [6].



Алексей Николаевич Крылов – выдающийся российский и советский учёный, автор глубоких исследований в области кораблестроения, статики и динамики стержней. Опубликовал разработанный им метод расчёта балок на упругом основании и работы по устойчивости сжатых стержней, решил задачу о напряжениях в тяжёлой балке от движущейся по ней безмассовой силы, много внимания уделял теории качки корабля. Преодолев большие математические трудности, он разработал теорию килевой качки (над которой в своё время трудились Иоганн и Даниил Бернуллы, а также Леонард Эйлер), создал теорию колебаний корабля с определением усилий, возникающих в различных частях его корпуса [1].



Николай Михайлович Беляев, советский учёный – механик, изучал контактные напряжения в элементах машин, поставил и решил важный для практики вопрос об устойчивости призматических стержней под действием продольных переменных сил. Он одним из первых в СССР начал работы в области создания теории пластических деформаций и её применения к явлениям ползучести и релаксации металлов при высоких температурах. В результате его исследований рельсовой стали (1924-1940 гг.) были разработаны новые технические условия на изготовление рельсов. Участвовал в разработке основ динамических испытаний мостов. Автор известного фундаментального учебника по сопротивлению материалов.



Талантливый советский учёный и изобретатель Андрей Константинович Верещагин широко известен тем, что, будучи ещё студентом Московского института инженеров железнодорожного транспорта, предложил в 1925 году оригинальный способ вычисления интегралов Мора для частного случая прямого стержня постоянного поперечного сечения. Согласно ему, интеграл Мора может быть вычислен как делённое на жёсткость сечения стержня произведение площади грузовой эпюры изгибающих моментов на ординату аналогичной эпюры от действия единичного силового фактора – силы или момента, взятую под центром тяжести эпюры грузовой. Способ Верещагина до сих пор является основным в практике определения перемещений в балках и рамах.



Сергей Владимирович Серенсен – известный советский учёный в области механики, ведущий эксперт по вопросам прочности и анализу разрушения конструкций. Уроженец г. Хабаровска, в 1926 году окончил Киевский политехнический институт, где в дальнейшем вёл научно – педагогическую деятельность на кафедре сопротивления материалов, занимаясь вопросами выносливости конструкций. С 1936 г. – доктор технических наук, с 1938 – профессор, с 1939 г. – действительный член АН УССР. В 1940 – 1942 годах руководил сектором выносливости элементов конструкций Института строительной механики АН УССР и отделом прочности моторостроительного завода в г. Уфе. С 1943 г. заведовал кафедрой сопротивления материалов в Московском авиационном технологическом институте. Разработал критерии усталостной прочности материалов и несущей способности элементов конструкций с учётом характера циклов напряжений, вида напряжённого состояния и конструктивно – технологических факторов. В 1949 г. за работы в области прочности двигателей С. В. Серенсену присуждена Государственная премия СССР [4].

Эпоху научно-технической революции сменила нынешняя эпоха постиндустриального развития общества, характеризующаяся внедрением во все сферы человеческой деятельности компьютерных информационных технологий. Использование таких технологий в сопротивлении материалов создаёт возможности значительного повышения точности и производительности выполняемых расчётов. Вероятно, дальнейшее развитие этой науки пойдёт по пути создания мощных пакетов компьютерных программ для реализации этих возможностей.

## ВЫВОДЫ

Наука о сопротивлении материалов в своём развитии прошла долгий путь, который продолжается и в настоящее время. На протяжении столетий множество учёных разных стран вносили свой вклад в её совершенствование, откликаясь на проблемы развивающейся промышленности и создавая необходимый базис для новаторских поисков инженеров. Создание новых машин и сооружений постоянно ставит перед учёными задачи совершенствования существующих и разработки новых методов инженерных расчётов. На решение этих задач и нацелена данная наука. Внедрение в неё компьютерных информационных технологий создаёт возможности значительного повышения точности и производительности выполняемых расчётов. Дальнейшее развитие данной науки представляется связанным с реализацией таких возможностей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Є. С. Опір матеріалів: підр. для техн. Київ: Вища шк., 2004. 655 с.
2. Дарков А. В., Шпиро Г. С.. Сопротивление материалов: учеб. для техн. ВУЗов. Москва: Высш. шк., 1989. 654 с.
3. Тимошенко С. П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений. Москва: Гостехиздат, 1957. 536 с.
4. Малинин Н. Н. Кто есть кто в сопротивлении материалов / Под ред. В. Л. Данилова. Москва: МГТУ, 2000. 248 с.
5. Подлесный С. В. [и др.]. История инженерной деятельности: учеб. пособ. Краматорск: ДГМА, 2010. 188 с.
6. Шевченко Феофан Леонтьевич. URL: <http://masters.donntu.org/2003/mech/tsarenko/ind/index.htm> (дата обращения: 25.11.19).

*Статья поступила в редакцию 10.04.2020 г.*

## ЖИЗНЬ И НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ С. П. ТИМОШЕНКО

*Приведен краткий обзор жизненного и творческого пути С. П. Тимошенко – всемирно известного ученого-механика, одного из основателей Украинской академии наук. Проанализирован его вклад в мировую науку и технику. Статья предназначена студентам технических ВУЗов для расширения их научно-технического кругозора. Она может быть полезна и их преподавателям.*

*A brief overview of the life and career of S. P. Tymoshenko is given - a world-famous mechanical scientist, one of the founders of the Ukrainian Academy of Sciences. His contribution to world science and technology is analyzed. The article is devoted to expanding the scientific and technical horizons. It may be useful to their teachers.*



Наш великий земляк, Степан Прокофьевич Тимошенко – выдающийся ученый-механик с мировым именем, известный организатор науки, талантливый педагог. К сожалению, его имя и научное наследие мало известны современному студенчеству, что представляется большой исторической несправедливостью.

С. П. Тимошенко вошел в историю как один из основателей первой Украинской академии наук (1918 г.), а также основатель и первый директор ее Института механики, ныне входящего в состав Национальной академии наук независимой Украины и которому присвоено его имя. Он – автор целого ряда фундаментальных работ по сопротивлению материалов, прикладной теории упругости и теории колебаний, которые опережали свое время и получили широкое практическое применение во многих отраслях техники.

Отдельные сведения о жизни и научном творчестве С. П. Тимошенко содержатся в ряде учебников и других научных изданий [1–3 и др.]. Однако они, как правило, имеют разрозненный, фрагментарный характер и не дают цельной картины, позволяющей всесторонне объективно оценить величие этой исторической фигуры.

Целью данной работы является попытка создания такой картины во взаимосвязи жизненного и творческого пути С. П. Тимошенко с историческим ходом развития мировой науки и техники.

Степан Прокофьевич Тимошенко родился 23 декабря 1878 г. в селе Шпотовка Черниговской губернии царской России, в которую входила тогдашняя Украина, в семье землемера. В 1896 г. окончил Роменское реальное училище, где учился вместе с будущим академиком А. Ф. Иоффе, и поступил в Институт инженеров путей сообщения в Санкт-Петербурге, где тогда преподавали математик Д. О. Граве, механики Д. И. Журавский и Н. А. Белелюбский, специалист по термодинамике А. А. Брандт и другие известные ученые. После окончания учебы С. П. Тимошенко работал ассистентом в механических лабораториях этого института, в 1901 г. побывал в научной командировке во Франции. Позднее, в 1903 г. перешел на работу в лабораторию Петербургского политехнического института, откуда был командирован в Германию (1904 – 1906 гг.) для ознакомления с достижениями ведущих научных школ в отрасли механики. Степан Прокофьевич слушал лекции и стажировался в Мюнхенском и Геттингенском университетах у известных ученых А. Фепля (1854–1924) и Л. Прандтля (1875 – 1953).

Во время работы в Петербургском политехническом институте С. П. Тимошенко познакомился с известным российским специалистом в области сопротивления материалов, основателем инженерных школ в Харьковском технологическом и Киевском политехническом институтах Виктором Львовичем Кирпичевым (1845–1913), который, по словам самого Степана Прокофьевича [3], оказал определяющее влияние на его научную и преподавательскую карьеру. Именно В. Л. Кирпичев порекомендовал С. П. Тимошенко принять участие в конкурсе на вакантную должность профессора Киевского политехнического института. Избранный на эту должность, Тимошенко в 1906 г. переехал в Киев, где вскоре стал заведующим кафедрой сопротивления материалов, в 1908 г. – секретарем, а затем – деканом механического и инженерно-строительного факультетов (1909–1911 гг.). В 1907 г. он защитил диссертацию и получил ученую степень адъюнкта по прикладной механике.



Коллектив кафедры сопротивления материалов КПИ. Слева направо, первый ряд: преподаватели Е.К. Гарф, С.П. Тимошенко, Н.А. Воропаев; второй ряд: А.Н. Динник, М.И. Коган, М. С. Ружицкий; третий ряд: Лаборанты М.В. Скороход и Л.И. Лунакевич. 1908 г.

Время работы в Киевском политехническом институте оказалось очень плодотворным для ученого. Он полностью изменил курс преподавания теории упругости и сопротивления материалов, подготовил и выдал фундаментальные учебники и учебные пособия по теории колебаний, теории стойкости деформируемых систем, инженерной механики, прикладной динамики, теории сооружений, теории пластин и оболочек. Результатом продолжительной работы стала монография «О стойкости упругих систем» (1910 г.), удостоенная премии Д. И. Журавского, которая была присуждена Петербургским институтом путей сообщения «за выдающиеся труды по прикладной механике».

После подписания С. П. Тимошенко в январе 1911 г. протеста против полицейского произвола министра образования Л. Кассо, его, в числе других профессоров, уволили с работы. Он вернулся в Санкт-Петербург, где полтора года работал преподавателем в Электротехническом и Полиграфическом институтах. В эти годы С. П. Тимошенко создал учебники «Курс сопротивления материалов» (1911 г.) и двухтомный «Курс теории упругости» (1914–1916 гг.), которые стали классическими. Педагогический опыт ученого вдохновил его на идею организации новой модели образования. С целью подготовки квалифицированных специалистов прикладного профиля он вместе с А. Ф. Иоффе и другими учеными разработал учебную программу и проект создания инженерно-исследовательского физико-механического факультета, который открылся в составе Петербургского политехнического института и в то время не имел аналогов в мире.

В конце 1917 г. С. П. Тимошенко вернулся из революционного Петрограда в Украину, провозгласившую свою независимость, на должность профессора Киевского политехнического института по приглашению совета его профессоров. Новаторство С. П. Тимошенко – ученого, который видел важность развития науки в независимой Украине, ярко проявилось во время его работы в июле-октябре 1918 г. в возглавляемой Владимиром Ивановичем Вернадским (1863–1945) комиссией по созданию Украинской академии наук, которая должна была определить концепцию ее научной деятельности, организационную структуру и штаты. По замыслу В. И. Вернадского, академия должна была стать главным научным центром страны, который бы объединил все исследовательские учреждения с широким спектром технических, естественных, социальных и гуманитарных наук. Деятельность комиссии завершилась принятием 14 ноября 1918 г. закона об основании Украинской академии наук (УАН) в г. Киеве, подписанного гетманом Павлом Скоропадским.

Благодаря организаторской энергии и личным качествам С. П. Тимошенко одним из первых в УАН был создан Институт технической механики. 3 ноября 1918 г. на заседании общего собрания академии Степан Прокофьевич был утвержден на должность первого директора этого института. При участии С. П. Тимошенко в УАН была создана лаборатория физической химии, начата работа по организации Геодезического института, Института экспериментальной медицины, Аклиматизационного и Ботанического садов. С. П. Тимошенко был одним из единомышленников В. И. Вернадского и вместе с ним заложил основы будущих достижений современной Национальной академии наук (НАН) Украины [4].

Осенью 1919 г. Киев оккупировали войска царского генерала Деникина, и деятельность УАН прекратилась. Политические обстоятельства и экономический кризис заставили ученого выехать за границу.



Тимошенко (сидит второй справа) среди студентов и преподавателей Мичиганского университета, 1936 г.



С.П. Тимошенко в лаборатории инженерной механики Стэнфордского университета, 1939 г.

С апреля 1920 г. С. П. Тимошенко возглавил кафедру сопротивления материалов в Загребском политехническом институте (Югославия).

В 1922 г. ученый принял приглашение своего бывшего студента приехать в США, где с 1923 г. до 1927 г. работал в Филадельфии сначала инженером, затем научным консультантом в исследовательском отделе компании «Вестингауз». С 1927 г. С. П. Тимошенко возглавлял кафедру прикладной механики Мичиганского университета (г. Энн-Арбор), при котором открыл летнюю школу механики для дипломированных специалистов, что существенно способствовало развитию этой науки и подготовке соответствующих специалистов в США. Здесь он читал специальные курсы лекций, на которых сотни инженеров углубляли свои знания. Под его руководством было защищено множество докторских диссертаций. Именно тогда Степан Прокофьевич организовал секцию механики при Американском обществе инженеров – механиков (1927 г.).

В 1936 г. Тимошенко покинул Энн-Арбор и переехал в г. Пало-Альто в Калифорнии, где преподавал в Стэнфордском университете. До 1943 г. он был заведующим кафедрой механики, затем, до 1960 г., ее профессором. В это же время печатаются его фундаментальные труды «Теория пластинок и оболочек» (1940 г.), «Высшая динамика» (1948 г.). Огромную популярность приобрела его книга по истории сопротивления материалов (1953 г.), которую он проследил от Галилея и Леонардо да Винчи до последних разработок.

В 1958 г. Тимошенко приехал в СССР, посетил Киев, Харьков, Москву, Ленинград, с волнением и интересом осматривал учебные заведения, где когда-то делал

свои первые научные шаги. Во время этого визита он посетил ведущие научные учреждения и ВУЗы страны. О посещении созданного им Института технической механики он вспоминал так: «Осмотр лаборатории дал мне большое удовольствие. Основная идея сближения науки и техники, которой я так увлекся при организации кафедры механики при Украинской академии наук (1918 г.), оказалась жизнеспособной, и запланированная мною лаборатория участвует в решении важных технических вопросов страны» [3].



С. П. Тимошенко в лаборатории кафедры сопротивления материалов КПИ, 1958 г.

С. П. Тимошенко, посещая Киевский политехнический институт и находившуюся там лабораторию кафедры сопротивления материалов, которой он когда-то заведовал, встретился с сотрудниками и действующим руководителем кафедры – Георгием Степановичем Писаренко, в последствии академиком НАН Украины, внесшим значительный вклад в развитие науки.

Более 60 лет отдал Степан Прокофьевич развитию инженерной науки в разных странах мира. После выхода на пенсию (1964 г.) он проживал у своей дочери в г. Суперсталь в Германии. Умер С. П. Тимошенко 29 мая 1972 г., похоронен рядом с женой в г. Пало-

Альто (Калифорния, США). В некрологе, опубликованном в «Известиях АН СССР. Механика твердого тела», отмечалось: «Он умел охватить самое главное в рассматриваемых явлениях и решать поставленную задачу, используя минимальный математический аппарат. Трудно указать направления в области строительной механики, где бы он не получил результаты, которые оставили незабываемый след».

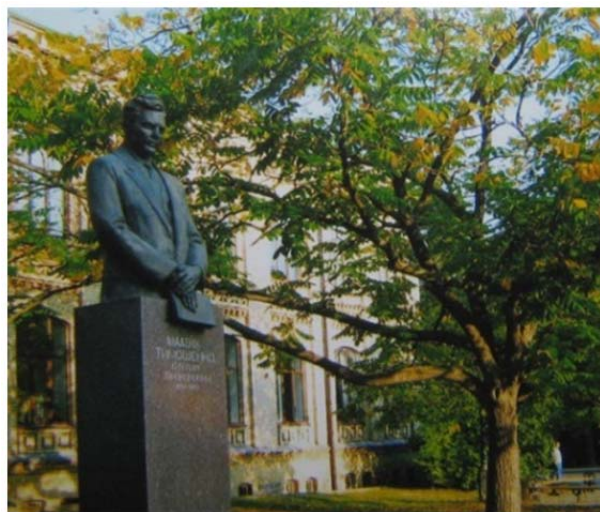
Благодаря своему научному и инженерному таланту, феноменальной трудоспособности С. П. Тимошенко внес огромный вклад в мировую науку. Его научные труды стали основой для развития многочисленных направлений механики. На протяжении многих лет он занимал ведущее место среди специалистов в области механики в США. В мире широко известны его исследования фундаментальных и прикладных проблем теории прочности, стойкости, колебаний механических систем, строительной механики и теории сооружений. Наиболее весомый вклад он сделал в развитие прикладной теории упругости, теории стойкости упругих оболочковых и пластинчатых систем, в том числе подкрепленных ребрами жесткости. Для решения актуальных задач по теории стойкости тонкостенных упругих систем широко используется разработанный им метод, известный ныне как «метод Тимошенко».

Большое значение ученый придавал созданию лабораторий для проведения практических исследований отдельных механических явлений, которые способствовали координации многих направлений механики. Такие лаборатории были им организованы в Петербургском, Киевском и Загребском политехнических институтах, в Мичиганом и Стэнфордском университетах, что, в свою очередь, способствовало формированию научных школ в России, Украине и США.

Исследования С. П. Тимошенко по сопротивлению арок и мостовых сооружений способствовали рациональному проектированию современных мостов. Его работы по расчетам рельсов помогли увеличить пропускную способность железных дорог. Решенные им задачи устойчивости тонкостенных оболочек нашли своё практическое воплощение в корпусах самолетов, ракет, кораблей, двигателей, гражданских сооружений и т. п. [5].

Научные достижения С. П. Тимошенко признаны во всем мире. Он был избран членом Украинской (1918 г.), Польской (1935 г.), Французской (1939 г.), Итальянской (1948 г.) академий наук, академии наук СРСР (1958 г.), Лондонского королевского общества (1944 г.). Почетные докторские звания ему присвоили Лехайский университет (США, 1936 г.), Мичиганский университет (США, 1938 г.), Цюрихский высший технический университет (Швейцария, 1947 г.), Болонский университет (Италия, 1954 г.), Загребская политехника (Югославия, 1956 г.), Туринская политехника (Италия, 1960 г.). В 1957 г. Американское общество инженеров-механиков основало медаль им. С. П. Тимошенко, которую он получил первым «за неоценимый вклад и личный пример как руководитель новой эры в прикладной механике» [5].

С. П. Тимошенко, воспитавшего в США целую плеяду учеников, по праву называли отцом современной американской механики. На XII международном конгрессе по теоретической и прикладной механике (США, Стэнфорд, 1968 г.) его председатель Н. Фоффт сказал, что «до приезда профессора С. П. Тимошенко настоящей механики в США не было». Наглядным доказательством выдающихся заслуг учёного перед мировой наукой стала демонстрация его наград, почётных дипломов и различных свидетельств, выставленных в специально учреждённой в Стэнфордском университете мемориальной комнате Степана Прокофьевича Тимошенко. Всегда стремившийся к объективности ученый в воспоминаниях написал следующие слова: «Обдумывая причину наших достижений в Америке, я прихожу к заключению, что немалую роль в этом деле сыграло образование, которое нам дали отечественные высшие инженерные школы».



Сегодня имя ученого носит лаборатория механики Стэнфордского университета, Институт механики НАН Украины. В 1995 г. была установлена мемориальная доска из бронзы в Киеве по улице Гоголевской, где проживал Степан Прокофьевич с 1917 по 1920 г. В 1998 году на территории Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» в Киеве был открыт памятник С. П. Тимошенко.

## ВЫВОДЫ

Исследовательская, преподавательская и научная деятельность Степана Прокофьевича Тимошенко была весьма насыщенной и энергичной. Выдающийся ученый в области механики, в работах которого сочетаются высокий научный уровень и инженерная направленность, своими многочисленными трудами внес значительный вклад в развитие теории упругости и сопротивления материалов. Его научные достижения оказали существенное влияние на развитие мировой науки и техники. Написанные им учебники переведены на многие иностранные языки и используются для подготовки инженеров – механиков во всем мире, а научные труды и сегодня не утратили своей актуальности. С. П. Тимошенко по праву считается значительной исторической личностью, подающей пример беззаветного служения своему делу современным ученым и инженерам.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Є. С. Опір матеріалів. Київ: Вища шк., 2004. 655 с.
2. Малинин Н. Н. Кто есть кто в сопротивлении материалов / Под ред. В. Л. Данилова. Москва: МГТУ, 2000. 248 с.
3. Тимошенко С. П. Воспоминания. Киев: Наукова думка, 1993. 424 с.
4. Богданов В. Л., Дубровіна Л. А. Роль академіка С. П. Тимошенка у заснуванні Української академії наук та Інституту технічної механіки УАН (до 140-річчя від дня народження академіка С. П. Тимошенка). *Вісник Національної академії наук України*. 2018. № 12. С. 67–78
5. Наука и жизнь. Трудное возвращение. Академик С. П. Тимошенко и его труды в Советском Союзе. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/3764/> (дата обращения: 15.02.2020)

Статья поступила в редакцию 30.03.2020 г.



УДК 621.3.011

Суязов О. П. (ТМ-18-мн)

## РОЛЬ ДИСЦИПЛІН СПЕЦІАЛЬНОГО ЦИКЛУ В ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ

*У статті представлено вплив спеціальних дисциплін на підготовку магістрантів до вивчення та створення інноваційних методів побудови технологічних процесів. Зокрема, розгляд можливості створення універсального інструмента для визначення за допомогою звукової діагностики розмірів, властивостей, структури та форми складних об'єктів та їх простих аналогів.*

*The article deals with the influence of special disciplines on the preparation of undergraduates to study and create innovative methods of construction of technological processes. In particular, consider creating a versatile tool to determine the size, properties, structure, and shape of complex objects and their simple analogs using sound diagnostics.*

Впровадження інноваційних спеціальних предметів по вивченню наукомістких ідей обладнання діагностики, науково-дослідницької роботи та спецкурсу допомагає магістрантам у вивченні, розробці та створенні нових видів покриттів, удосконалення процесів нанесення спеціальних покриттів, а також створення технологій зміни властивостей матеріалу необхідного об'єкта та його поверхні з метою зміни зносостійкості, ресурсоемності, часу роботи на відмову, зміни структури об'єкта.

В ДДМА процес навчання магістрів за профільованим напрямком навчального плану акцентований на інноваціях. Досягається вона завдяки впровадженню в навчання таких предметів, як: науково-дослідна робота, спецкурс, діагностика, 2-і частини ТФНП, технологія сучасного моделювання процесів [1].

На основі аналізу виконуваних кафедрою академії робіт, зроблено припущення про необхідність створення універсального засобу, яке б дозволило фіксувати положення робочих органів технологічного обладнання. При цьому обважування рухомих частин технологічного обладнання різними датчиками може привести до зниження надійності системи управління і зниження комфортності робочого місця, потрібно використовувати уніфікацію при якій інструмент залишиться один і той же, але буде давати більше інформації про різні процеси, використання універсального датчика, але навченого розуміти отримувану інформацію.

Всі технологічні пристрої орієнтовані на мале коло завдань, тому використання непрямого виміру шорсткості, розміру, властивостей через частотний спектр, має місце бути вимір одних параметрів через інші, який свого часу є продуктом взаємодії зі складним об'єктом. Є діагностика об'єктів, але ніхто не проводив виявлення конфігурації на основі непрямих вимірювань, які володіють високою динамічністю, швидкодією. Те комбінований метод, в якому об'єкт може знаходитися як у взаємодії з полем, так і у взаємодії з силовим полем, дозволяє вирішити задачу ідентифікації конфігурації провідника поміщеного в магнітне поле; магнітне поле тим сильніше, чим швидше в ньому пересувається об'єкт [2].

Вирішити це технічне протиріччя, яке є фактором який ініціює творче, креативне рішення виниклих завдань. Зокрема при вивченні курсу діагностики та спецкурсу висунута ідея про взаємозв'язок форми провідника акустичного сигналу і характеру частотного спектра, також виявлено взаємозв'язок частотних спектрів і геометричних, фізико-механічних властивостей. Тому пакетне отримання інформації про об'єкт і цілеспрямоване посилення умов існування відкривають перед дослідником завдання постійного моніторингу. Треба щоб був проміжний елемент активує систему, якщо немає додаткового проміжного елемента, то може не проявлятися позитивна роль запропонованого варіанту.

Якщо є порушення рівноваги (балансу) за допомогою об'єкта або поля, то виконання цієї роботи стає «легше». Роль вібрації як родинного об'єкту і при цьому ці вібрації є джерелом додаткової інформації, амплітуда і частота вібрації будуть викликати різні спектри, і чим більше факторів взаємодії, складніше сигнал, тим більше інформації буде, чим вище порушується частота спектра, тим вище ефективність висунутої ідеї. Але різномірність сигналів шкодить, а однорідність перетворюється в єдине ціле, одне що дозволяє розбити на фрагменти частотний спектр - резонансна частота кожного елементу об'єкта [3].

Методи ультразвукової дефектоскопії дозволяють виробляти контроль зварних з'єднань, посудин і апаратів високого тиску, трубопроводів, поковок, листового прокату та іншої продукції. Ультразвуковий контроль є обов'язковою процедурою при виготовленні і експлуатації багатьох відповідальних виробів, таких як частини авіаційних двигунів, трубопроводи атомних реакторів або залізничні рейки.

У порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю ультразвуковий метод володіє важливими перевагами:

- висока чутливість до найбільш небезпечним дефектів типу тріщин і не проварів низька вартість;
- безпеку для людини (на відміну від рентгенівської дефектоскопії);
- можливістю вести контроль безпосередньо на робочих місцях без порушення технологічного процесу;
- при проведенні УЗК досліджуваній об'єкт не пошкоджується;
- можливість проводити контроль виробів з різноманітних матеріалів, як металів, так і неметалів.

До недоліків ультразвукового методу контролю можна віднести неможливість оцінки реального розміру та характеру дефекту, труднощі при контролі металів з крупнозернистою структурою через велику розсіювання і сильного загасання ультразвуку, а також підвищені вимоги до стану поверхні контролю (шорсткості і хвилястості). Різноманіття завдань, що виникають при необхідності проведення неруйнівного контролю різних виробів, призвело до розробки і використання ряду різних акустичних методів контролю.

Класифікація акустичних методів:

1. Методи проходження виявляють глибинні дефекти типу порушення цілісності, розшарування.
2. Методи відображення виявляють дефекти типу порушення цілісності, визначає їх координати, розміри, орієнтацію шляхом проникання виробу і прийому відбитого від дефекту луна-сигналу.
3. Імпедансний метод призначений для контролю клейових, зварних і паяних з'єднань, що мають тонку обшивку, приклеєну або припаяну до елементів жорсткості.
4. Методи вільних коливань застосовуються для виявлення глибинних дефектів.
5. Методи вимушених коливань (резонансні) застосовуються в основному для вимірювання товщини виробу і для виявлення зони корозійного ураження, розшарувань в тонких місцях з металів.
6. Акустико-емісійний метод виявляє і реєструє тільки країни, що розвиваються тріщини або здатні до розвитку під дією механічного навантаження (кваліфікує дефекти за ступенем їх небезпеки під час експлуатації) [4].

Звукова діагностика: з білого шуму народжується максимум інформації, оскільки проявляється ефект розкладання звуку, який дозволяє виділяти елементи конфігурації провідника. Для розпізнавання провідника збирається набір статистики частотних спектрів елементів складного об'єкта.

Вихрострумний метод неруйнівного контролю заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, створює

збудливою катушкою в електропровідному об'єкті контролю (ОК) цим полем. Як джерело електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка (одна або кілька), звана перетворювача (ВТП). Синусоїдальний (або імпульсний) струм, що діє в котушках ВТП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електромагнітному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на котушки перетворювача, наводячи в них ЕРС або змінюючи їх повний електричний опір. Реєструючи напруга на котушках або їх опір, отримують інформацію про властивості об'єкта і про становище перетворювача щодо його [5].

Вихрострумний контроль забезпечує можливість пошуку дефектів і оцінку властивостей об'єктів контролю, має широкий спектр застосування в промисловості, як при виготовленні деталей, так і при їх ремонті. Сучасне обладнання вихреструмного контролю дозволяє обробляти і зберігати дані отримані при проведенні контролю, а автоматичні, багатокординатно системи сканування дають можливість виробляти візуалізацію ОК з високою точністю.

Область застосування вихрострумного методу контролю:

1. неруйнівний контроль лопаток парових турбін, теплові канавки, поверхня осьового каналу роторів турбін і т. д., зварні з'єднання і вигини трубопроводів, корпусне обладнання, нарізні сполучення, деталі будь-якої форми і розмірів промислового і транспортного устаткування;

2. товщинометрія вимірювання товщини тонких труб і тонкого листового прокату, визначення корозійних пошкоджень, товщини захисних покриттів;

3. структуроскопії оцінка вихідного і поточного стану металу тепломеханічного обладнання ТЕС. Оцінка якості термообробки, визначення складу контрольованого речовини, сортування об'єктів;

4. вимір глибини поверхневих тріщин в електропровідних магнітних і немагнітних матеріалах.

Серед типових об'єктів і видів контролю можна виділити

1. Неруйнівний контроль зварних з'єднань і основного металу на об'єктах нафтової та газової промисловості в тому числі трубопроводах і буровому обладнанні;

2. Контроль будівельних об'єктів - будівель, споруд, мостів, і інші конструкції з цегли, бетону та сталі неруйнівними методами;

3. Визначення міцності бетону неруйнівними і руйнівними методами (сколювання ребра, відрив, ударний імпульс, пружний відскік, ультразвуковий контроль).

## ВИСНОВКИ

Завдяки інноваціям у навчанні магістранти мають наочну можливість розглянути методи створення та покращення нових видів покриттів, їх нанесення та створення технологій зміни як властивостей матеріалу, так і його структури з метою зміни параметрів матеріалу або об'єкту до потрібних за тією чи інакшою вимогою до якості поверхні, працездатності і довговічності виробу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И. Диагностика технических устройств. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 615 с.
2. Бобров В. Т., Самокрутов А. А., Шевальдыкин В. Г. Состояние и тенденции развития акустических (ультразвуковых) методов, средств и технологий неразрушающего контроля и технической диагностики. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2018. № 2. С. 24–27.
3. Ермолов И. Н. Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии, задачи и перспективы. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Дефектоскопия*. 2018. № 2, 10. С. 13–48.
4. Методы неразрушающего контроля. URL: <http://www.ntcexpert.ru/85-acenter/953-metody-nerazrushayushchego-kontrolya> (дата обращения: 10.06. 2019).
5. Услуги лаборатории неразрушающего контроля. URL: <http://www.ntcexpert.ru/uslugi-ponezrushayushchemu-kontrolyu> (дата обращения: 10.06. 2019).

Стаття надійшла до редакції 11.09.2019 р.

**Розділ 1. Машинобудування**

<i>Боровий І. Б. (ТМ-18м)</i>	
Дослідження впливу мікрівібраційної обробки в постійному магнітному полі твердосплавних пластин.....	3
<i>Корчма Д. О. (ТМ-18мн)</i>	
Обґрунтування способу плакування струмопровідними матеріалами з використанням ефекту уніполярного двигуна.....	6
<i>Ларіонов М. О. (ТМ-18мн)</i>	
Обґрунтування технологічних властивостей наноамплітудно-вібраційного вигладжувача .....	9
<i>Хода Я. А. (ТМ-18-1мн)</i>	
Діагностика надійності затискання елементів технологічного оснащення маложорстких деталей.....	11
<i>Пустовіт Р. М., Сичков А. В. (ЗВ-18-1м)</i>	
Вплив подовжнього магнітного поля на продуктивність розплавлення дроту при дуговому зварюванні .....	14

**Розділ 2. Металургія**

<i>Стегостенко О. М., Семенова В. Б. (ОТП-18м)</i>	
Комп'ютерне моделювання та проектування техпроцесу кування поковки «днище».....	18

**Розділ 3. Загальний розділ**

<i>Казакевич Д. О. (АВП-18-1м)</i>	
Розробка і дослідження системи керування двохдвигунного електроприводу стрічкового конвеєру для транспортування вугілля.....	27
<i>Калінін В. А. (АВП-18-1зм)</i>	
Дослідження та розробка автоматизованої системи управління плавкою .....	34
<i>Колесник О. В. (АВП-18-1зм)</i>	
Дослідження системи керування електроприводу сушильного барабану.....	39
<i>Купенко А. Б. (АВП-18-1зм)</i>	
Підвищення ефективності роботи розподільчої підстанції шляхом розробки системи контролю та обліку електроенергії.....	44
<i>Медяников Д. Г. (АВП-18-1зм)</i>	
Дослідження автоматизованої системи керування об'ємною витратою води для газоочисної системи доменної печі .....	48

<i>Статива С. О. (АВП-18-1м)</i> Математичне моделювання системи управління обертовою піччю випалу вапна.....	54
<i>Вовчок В. В. (КН-18-2м)</i> Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій соціальних мереж на базі Framework .....	60
<i>Граченко Є. А. (КН-18-2м)</i> Дослідження методів, моделей і інформаційних технологій для реалізації віддалених лабораторних робіт .....	64
<i>Діхтяр О. В. (КН-18-2м)</i> Розробка та реалізація математичної моделі для балансування навантаження на групу серверів.....	68
<i>Ковальов О. А. (КН-18-2м)</i> Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій сервісів систем підтримки прийняття рішень.....	71
<i>Кулинич В. О. (КН-18-2м)</i> Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для прогнозування результатів моделювання у САЕ-системі на основі систем штучного інтелекту .....	75
<i>Полищев Б. В. (КН-18-2м)</i> Оптимізація параметрів ріжучої частини інструменту з використанням методів штучного інтелекту .....	78
<i>Bagan Sofia (SA-19m)</i> Research of methods of data visualization in multidimensional space.....	82
<i>Луна Ю. В. (ТМ-18-1м)</i> Исторические этапы становления науки о сопротивлении материалов .....	85
<i>Луна Ю. В. (ТМ-18-1м)</i> Жизнь и научное наследие С. П. Тимошенко.....	91
<i>Суязов О. П. (ТМ-18мн)</i> Роль дисциплін спеціального циклу в підготовці магістрів .....	96

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації у збірнику приймаються матеріали обсягом від 4 до 10 повних сторінок. Матеріали подаються надруковані у 1 примірнику і (*обов'язково*) електронний варіант.

Текст розмістити на білому папері формату А4 (210 × 297 мм) з полями 2 см з усіх боків. Абзац повинен мати наступний формат: відступ зліва і справа – 0 см; новий рядок – відступ 1,25 см; інтервал до і після абзацу – 0 см. Сторінки не нумерувати. Орієнтація сторінки для розміщення тексту – книжкова. Для розміщення табличних даних, графіків, схем, малюнків при необхідності допускається альбомна орієнтація сторінки.

Структура статті повинна містити наступні розділи:

– **постановка проблеми**, завдання в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;

– **аналіз останніх публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор (*не менше 3-х статей, що вийшли за останні 10 років*); виокремлення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;

– **формулювання мети статті** (з нового рядка – «*Метою роботи є ...*») і постановка приватних завдань, які вирішуються в статті;

– **виклад основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

**Текст статті** оформити в редакторі Word 10.0 (HE XP), шрифтом Times New Roman розміром 12 пт; між рядками – один інтервал; новий рядок – відступ 1,25 см; вирівнювання по ширині сторінки з переносами. Текст анотацій і список літератури оформити шрифтом Times New Roman Суг (*курсив*) розміром 10 пт; між рядками – один інтервал.

**Ілюстративний матеріал** монтується безпосередньо у тексті. Дозується обтікання малюнків текстом. Назва повинна бути короткою і відображати зміст малюнка. Підпис розміщують під малюнком, вирівнювання – по ширині, з нового рядка.

**Формули** набираються у редакторі Microsoft Equation 2.0/3.0 з параметрами: звичайний – 12 пт; крупний індекс – 10 пт; дрібний індекс – 8 пт; великий символ – 14 пт; дрібний символ – 8 пунктів. Вирівнювання – по центру, без відступу, номер – по правому краю, до і після формули – порожній рядок.

**Таблиці** відділяються від попереднього тексту порожнім рядком. Назва таблиці має бути стислою і відбивати зміст таблиці. Напис - Таблиця 1 - по правому краю. Назва таблиці – на наступному рядку по центру.

**Порядок оформлення статей.** На першій сторінці статті, в першому рядку з абзацу набирається індекс УДК. Через рядок з абзацу – прізвище та ініціали автора, в дужках вказати групу. Нижче з абзацу, шрифтом Times New Roman (звичайний), розміром 12 пт, прописними буквами без переносів, з вирівнюванням по центру – назва статті. Потім шрифтом Times New Roman Суг (*курсив*), розміром 10 пт з вирівнюванням по ширині сторінки – анотації на мові статті та англійською мовою, з нового рядка кожна, загальним обсягом до 10 рядків. Через рядок з абзацу – текст статті. У тексті статті допускаються підзаголовки, розміщені в окремому рядку з абзацу, маркери.

Заголовок **ВИСНОВКИ** починається з нового рядка, набраний прописними буквами, шрифтом Times New Roman (звичайний), розміром 12 пт, вирівнювання – по центру. Вирівнювання основного тексту висновків – по ширині.

**Список літератури** озаглавлювати словами СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ, набраними шрифтом Times New Roman Суг (звичайний) розміром 12 пт прописними літерами по центру сторінки через рядок від тексту ВИСНОВКІВ. Список літератури оформити згідно ДСТУ 8302:2015 шрифтом Times New Roman Суг розміром 10 пт. Кожне найменування з нового рядка, вирівнювання – по ширині, одинарним інтервалом набирається нумерований список літератури.

Як приклад з оформлення можна розглядати статті цього збірника.

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**СТУДЕНТСЬКИЙ  
ВІСНИК  
ДДМА**

**Тематичний збірник наукових праць**

Технічне редагування, коректування, розробка оригінал-макета:  
Катюха О. Л.

Формат 60 × 90 1/8.  
Ум. друк. арк. 8.61.  
Тираж 30 прим. Замовлення № 44.

---

Засновник, видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
серія ДК № 1633 від 24.12.03.