

УДК 656.13

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-42-52

*Віра Мурашківська, Аліна Подзолкіна, Василь Скляр, Олександр Сиводід***АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО  
ТРАНСПОРТНОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Актуальність теми дослідження.** Однією з базових галузей економіки є транспортна галузь. Вона має розвинену мережу автомобільних шляхів, розгалужену залізничну мережу, морські порти та річкові термінали, аеропорти та широку мережу авіаційних сполучень, вантажних митних терміналів. Це створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту в наданні транспортних послуг та розвитку бізнесу.

**Постановка проблеми.** Транспортна галузь забезпечує задоволення основних потреб населення та економіки в перевезеннях за обсягом, але не за якістю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато робіт провідних закордонних і вітчизняних учених присвячені теоретичним та практичним аспектам сфери транспортних послуг.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Мало уваги приділено формуванню міського транспортного середовища, визначенню системи показників якості послуг і розробці заходів стратегічного плану його підвищення.

**Постановка завдання.** Розвиток концептуальних положень і розробка практичних рекомендацій щодо оцінки якості розвитку міського транспортного середовища та заходів щодо його підвищення.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з найважливіших галузей функціонування та життєдіяльності міста є міський громадський транспорт, від зручності та комфорту якого залежить якість життя мешканців. Доступність і швидкість транспорту визначають зручність громадського транспорту.

**Висновки відповідно до статті.** Висновок полягає в обґрунтуванні функцій і розробці процесної моделі розвитку міського транспортного середовища, розробці системи цільових показників і методу визначення сталого розвитку громадського транспорту на основі розрахунку узагальнюючого індексу.

**Ключові слова:** міський громадський транспорт; сталий розвиток; цільові показники; функції; узагальнюючий індекс; просторові структури.

*Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 13.*

**Актуальність теми дослідження.** Однією з базових галузей економіки є транспортна галузь, вона має розвинену мережу автомобільних шляхів, розгалужену залізничну мережу, морські порти та річкові термінали, аеропорти та широку мережу авіаційних сполучень, вантажних митних терміналів. Це створює передумови для задоволення потреб у наданні транспортних послуг користувачів транспорту та розвитку бізнесу [1].

**Постановка проблеми.** Нині основні потреби населення та економіки в перевезеннях задовольняє транспортна галузь. Сучасний стан транспортної галузі не повною мірою відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі в Транс'європейську транспортну мережу [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичним та практичним аспектам дослідження сфери послуг, у тому числі в галузі транспорту, присвячені дослідження провідних закордонних і вітчизняних учених, серед яких: Д. Белл, Р. Блекуелл, О. Г. Білорус, В. М. Геєць, В. Л. Дикань, О. В. Дзяд, В. М. Загорулько, Ф. Кене, Ф. Котлер, В. Г. Коба, Н. О. Краснікова, А. І. Кредісов, В. В. Матвєєв, А. М. Новікова, В. Є. Новицький, Ю. М. Пахомов, А. М. Поручник, В. П. Семиноженко, Є. М. Сич, І. О. Стеблянко, Н. В. Стукало, В. В. Трюхан, К. Хаксевер, Н. Хілл, В. І. Чужиков, В. І. Щелкунов та ін. Питанням соціо-еколого-економічної оптимізації транспортних систем України було присвячено чимало праць О. Балацького, В. Благи, М. Бурмаки, В. Гіжєвського, М. Говорущенка, Д. Горового, К. Горової, Ю. Гутаревича, В. Диканя, І. Дмитрієва, О. Криворучко, Є. Кузнєцова, В. Рудзінського, Є. Сича, І. Шевченко, В. Шинкаренка та інших.

У роботі [1] наведено стратегію розвитку транспортної галузі України та основні напрями її реалізації. Стратегія забезпечує комплексне бачення глобальних пріоритетів трансмодальної політики й визначає напрями розвитку галузі на період до 2030 року. Передбачено здійснення моніторингу.

Тенденції розвитку громадського транспорту в найближчому майбутньому наведено в роботі [3]. У зв'язку зі зростанням кількості автомобілів пропонується перейти з особистого транспорту на громадський. У світі з'являється дедалі більше транспортних сервісів, що займають нішу між таксі та громадським транспортом. Смартфон дає змо-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

гу зв'язати людей та сервіси, що дозволить дізнатися про необхідність збільшення або зменшення кількості громадського транспорту, а також про зміну маршруту. Побудова оптимального маршруту дозволяє зекономити паливо та час.

Мобільність є важливою для туристів [4], що відвідують міста, оскільки це є фактором їх комфорту. З появою туристів зростає попит на міський громадський транспорт.

У статті [5] наведено аналіз закордонного досвіду розвитку міського пасажирського транспорту.

У монографії [6] викладені актуальні питання організації регулярних перевезень пасажирським автомобільним транспортом. Основна увага приділена питанням ефективності організації регулярних перевезень пасажирським автомобільним транспортом, питанням якості перевезень та питанням забезпечення безпеки дорожнього руху на транспорті загального користування.

У підручнику [7] наведені основи організації транспортних логістичних систем, основні матеріали з теорії, технології, організації та управління пасажирськими автомобільними перевезеннями.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У працях вітчизняних і закордонних учених недостатньо повно досліджувалися такі важливі питання оцінки якості послуг міського громадського транспорту, як формування міського транспортного середовища, визначення системи показників якості послуг і розробка заходів стратегічного плану його підвищення.

**Мета статті.** Метою дослідження є розвиток концептуальних положень і розробка практичних рекомендацій щодо оцінки якості розвитку міського транспортного середовища та заходів щодо його підвищення.

**Виклад основного матеріалу.** Розвиток міського громадського транспорту в Україні характеризується наявністю численних проблем, які пов'язані з недостатньо високим рівнем обслуговування пасажирів, доступністю і мобільністю. Ці проблеми обслуговування населення на міських маршрутах руху громадського транспорту багато в чому визначаються станом дорожньо-транспортної інфраструктури, високим зносом транспортних засобів, відсутністю науково обґрунтованого транспортного планування в міських умовах, збитковістю муніципальних перевезень населення. У зв'язку з цим є актуальною розробка концептуальних положень щодо оцінки якості послуг міського громадського транспорту та практичних рекомендацій щодо підвищення рівня обслуговування пасажирів.

Наявні нині дрібні транспортні оператори перевозять пасажирів з низькою якістю, небезпечним водінням і високим зносом транспортних засобів, у той час як муніципальний громадський транспорт пропонує вищий рівень обслуговування. Наявність єдиної муніципальної організації, яка планує мережеві маршрути і визначає якість обслуговування, дозволяє здійснювати узгодження потреби в послугах громадського транспорту з їх пропозицією.

З погляду міської мобільності, громадський транспорт є більш ефективним, ніж особистий автомобіль щодо використання дорожнього простору і споживаної енергії. Наприклад, автобус, що перевозить 40 пасажирів, використовує лише в 2,5 рази більше простору, ніж особистий автомобіль, який перевозить зазвичай не більше чотирьох осіб. І той же самий автобус споживає тільки в 3 рази більше палива, ніж автомобіль.

Автомобільний транспорт відіграє важливу роль у соціально-економічному розвитку країни. На сьогодні більш як 100 тис. автомобільних перевізників надають послуги з перевезення 52 % пасажирів та 64 % вантажів.

Раціонально організована система громадського транспорту є легкою і зручною у використанні, безпечною та доступною. Ключовою особливістю громадського транспорту є те, що він може об'єднувати в собі кілька режимів переміщення пасажирів на трамваях,

автобусах, тролейбусах і метро. Сучасні інформаційно-комунікаційні системи дозволяють користувачам мати своєчасну й доступну інформацію про графіки руху громадського транспорту, правила проїзду, форми його оплати і транспортного оператора.

Громадський транспорт є однією з найважливіших галузей життєдіяльності та функціонування міста. Від його комфорту та зручності залежить якість життя мешканців. Міський транспорт має великий вплив на наше життя.

Від швидкості й доступності громадського транспорту залежить його зручність. Міський громадський транспорт повинен забезпечувати максимальну швидкість, щоб людина могла дістатися до потрібного місця з найменшою кількістю пересадок та мінімальним часом очікування. Активність населення міста буде більша, якщо забезпечити зменшення часу переміщення містом, також зросте і бізнес-активність містян.

Реалізація поставленої мети дослідження вимагає вирішення таких завдань:

- визначення тенденцій формування міського транспортного середовища;
- виявлення проблем та перспектив розвитку послуг міського громадського транспорту;
- аналіз стану й розвитку системи державного соціального транспорту;
- формування системи показників сталого розвитку громадського транспорту;
- розробка методичних підходів до визначення якості послуг міського громадського транспорту;
- оцінка якості послуг перевезення та сервісу на міському автобусному транспорті;
- розробка заходів стратегічного планування підвищення якості послуг громадського транспорту.

Одним із сучасних панівних процесів в умовах зростання частки міського населення є урбанізація. Для мобільності перевезень пасажирів і вантажів у великих міських агломераціях першорядне значення мають питання міського транспорту. Розвиток транспорту в міських районах визначається складними взаємозв'язками та факторами різноманіття видів транспорту, відмінності його походження і призначення, неоднаковими споживчими перевагами, а також обсягами і різноманітністю трафіку [8, 9].

Пасажири як учасники і споживачі послуги перевезення традиційно були в центрі уваги міського транспорту, а міста розглядалися як місця взаємодії людини з транспортною інфраструктурою, пов'язаного з поїздками на роботу, комерційними угодами, відпочинком і культурними заходами. Проте міста є також місцями виробництва, споживання та розподілу товарів і послуг, що включають транспортну діяльність. Концептуально міська транспортна система нерозривно пов'язана з міськими формами і їх просторовою структурою. Таким чином, можна виділити кілька домінуючих тенденцій, що впливають на розвиток міського транспорту [10]:

1. Глобальна урбанізація [8]. На тлі урбанізації відбувається розвиток сучасної міської просторової інфраструктури, вона є найважливішою домінуючою тенденцією економічних і соціальних змін ХХІ століття, особливо в країнах, що розвиваються. Урбанізація (з латини – «міський») – це процес зростання міст, збільшення кількості міського населення, підвищення ролі міст у житті суспільства й поширення міського способу життя. Урбанізація відображає збільшення частки громадян, які проживають у населених пунктах, передусім містах, і зниження частки громадян, які проживають у сільській місцевості, а темпи урбанізації визначаються швидкістю цього збільшення. Ця тенденція також виражається в зростанні розмірів міст і збільшенні чисельності їх населення. Міські проблеми мобільності населення збільшуються пропорційно, а в деяких випадках по експоненті. Нині приблизно 56 % світового населення живуть у містах. Майже весь приріст населення в майбутньому відбуватиметься за рахунок збільшення чисельності міських жителів, на яких, згідно з прогнозами, в 2030 році припадатиме 60 % населення країн світу, а до 2050 року – приблизно 68 % [11].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Потужність транспортної інфраструктури і потреби міських жителів у мобільності переміщення. Існує велика різноманітність міських форм, просторових структур і пов'язаних із ними систем міського транспорту. Поняття міських форм життєдіяльності відноситься і до просторових структур пов'язаних із міським транспортним середовищем, а також опосередковують й інші інфраструктури, які спільно визначають рівень просторового розташування міста. На відміну від попереднього поняття міські просторові структури належать до сукупності відносин, що впливають із міських форм і лежать в основі взаємодії людей та інформації. Це поняття дозволяє оцінити, якою мірою конкретні міські структури взаємодіють із міським транспортним середовищем, що включає міський (муніципальний) пасажирський транспорт. Процес глобалізації є основною тенденцією сучасної епохи, який підтримується розширенням транспортних і телекомунікаційних систем, а також формуванням середовища, сприятливого для міжнародних операцій на етапі лібералізації торгівлі. Масштаби, інтенсивність і мобільність капіталу, товарів і послуг, людей та інформації стали головними організаційними і конкурентоспроможними ознаками розвитку міської просторової структури і транснаціональних корпорацій, діяльність яких ґрунтується на порівняльних перевагах за витратами та інноваційно-інвестиційними можливостями [8].

За ступенем розвитку транспорту міські просторові структури можуть бути класифіковані за рівнем централізації і кластеризації [8]:

- за рівнем централізації міста поділяються на централізовані та децентралізовані. У централізованих містах основна частка життєдіяльності здійснюється в центрах, а в децентралізованих – ближче до околиць;

- за рівнем кластеризації міста поділяються за кількістю і потужністю таких окремих міських кластерів, як транспортно-логістичний кластер, кластери охорони здоров'я та освіти, промисловий кластер, науковий кластер тощо.

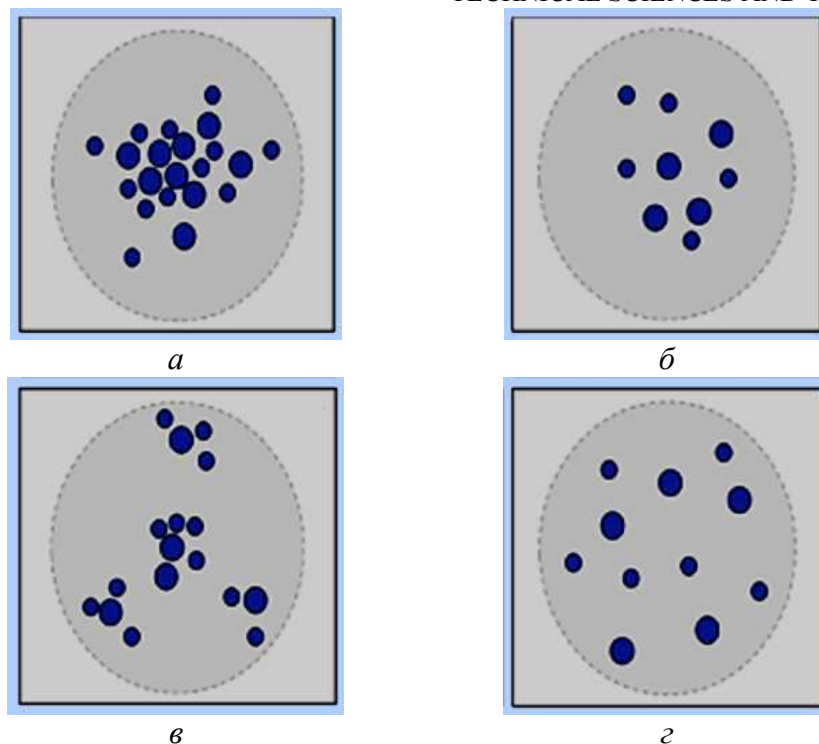
Географічне положення кожного міста значно варіюється за міськими формами і просторовими структурами, які мають такі елементи, як транспортно-термінальні вузли та взаємозв'язки. Формування транспортно-термінальних вузлів пов'язано з просторовим накопиченням економічної діяльності та доступом до транспортної системи. Термінали, такі як порти, залізничні вокзали, аеропорти, автовокзали є важливими вузлами, навколо яких формується діяльність агломерату на місцевому чи регіональному рівнях. Вузли мають ієрархії, пов'язані з їх важливістю і внеском в обсяг міських функцій. Найвищу ієрархію мають такі вузли, як управління, роздрібна торгівля, фінансові послуги, а найменш високу – виробництво, розподіл, побутове обслуговування, комунальне господарство [8].

Взаємозв'язки – це інфраструктури, що підтримують транспортні та товарно-матеріальні потоки між вузлами. Вулиці є нижчим рівнем зв'язків, вони є визначальними елементами міської просторової структури. Залежно від характеру взаємозв'язків міські вузли забезпечують функціональну зв'язність.

Нині багато міст розвивають свою просторову структуру [8]. Це збільшує залежність життєдіяльності населення і комерційних структур від моторизованого транспорту, зокрема, особистого автомобіля. Це спровокувало перехід від сітки вулиць до криволінійних і кластерних моделей, які зазвичай трапляються в приміських районах. Дисперсійна форма міської забудови і відповідне розташування вулиць міста є в багатьох різних типах міст. Види сучасних міських просторових форм показані на рис. 1.

Представлені на рис. 1 види сучасних міських просторових форм систематизуються таким чином: централізовані форми (рис. 1, а, б); децентралізовані форми (рис. 1, в, г); кластерні форми (рис. 1, а, в); дисперсійні форми (рис. 1, б, г).





*Рис. 1. Види сучасних міських просторових форм:  
 а – централізована кластерна форма; б – централізована дисперсна форма;  
 в – децентралізована кластерна форма; г – децентралізована дисперсна форма*

Агломерація і компактна область центра міста сприяє вдосконаленню транспорту та міських просторових форм. Багато сучасних міст успадкували міську форму зі щільних міських ядер центра. Однак на іншому кінці спектра можна зустріти дисперсійні міські форми, які були створені недавно і пов'язані з високим рівнем автомобілізації. Важливу роль в економічній життєздатності населення, державних, муніципальних і комерційних організацій, а також у міських просторових структурах відіграють міські порти, аеропорти, залізничні та автовокзали як центри тяжіння і розподілу транспортних потоків [8; 9].

Еволюція транспорту і транспортних технологій загалом привели до змін у міських просторових формах. У минулому традиційні виробництва залежали від наявності централізованих робочих місць, транспортних і технологічних чинників, а сучасні виробництва, торгово-офісні центри, транспортно-логістичні центри розміщуються в приміських районах у зв'язку з більш низькою вартістю будівництва й оренди. Отже, міські просторові структури перейшли від вузлової до багатовузлової форми, що зумовило розвиток міста і формування нових зв'язків із регіональними та глобальними суб'єктами економічної діяльності [8; 11].

Залежно від просторової структури міста його різні частини мають різну динаміку розвитку. Історичні процеси та географічне розташування вплинули на формування міських просторових структур: децентралізація життєдіяльності та дисперсійна модель розвитку міст (рис. 1).

Тривалість часу поїздки майже не змінилась. Сполучення переважно здійснювалося на автомобільному, а не громадському транспорті. Для полегшення транспортного потоку між передмістям і містом були розроблені більшість транзитних доріг і інфраструктурних систем, у результаті чого міські магістралі виявилися більш навантаженими, ніж приміські автомагістралі. Транспортні системи й моделі значно змінилися. Нині більшість людей перебуває в дорозі 30-40 хвилин в одному напрямку. У всьому світі люди витрачають близько 1,2 години в день на поїздки на роботу при низькому або ви-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

сокому значенні мобільності. Різні технології транспорту пов'язані з різною швидкістю переміщення. Транспортні технології відіграють важливу роль у міських просторових формах для різних видів діяльності, а їх еволюція тісно пов'язана з місцевими умовами життєдіяльності, розвитком інфраструктури та інвестиційною активністю [8; 10].

Площа міст, що виділяється на транспорт, часто корелює з рівнем мобільності. До автомобільної ери близько 10 % міської землі виділялося на транспорт, а дороги призначалися для пішоходів. Як тільки збільшилися мобільність людей і вантажів, зростає частка міських районів для транспорту та його інфраструктури. Великі зміни в просторових формах міського транспорту спостерігаються між різними містами, різними частинами міста, центральними і периферійними районами. Основними компонентами просторових форм міського транспорту є пішохідні зони, дороги й стоянки, велосипедні доріжки, транзитні системи громадського транспорту, транспортні термінали (порти, аеропорти, метро, автомобільні та залізничні станції і т. ін.). Наприклад, багатотранзитні системи, такі як автобуси і трамваї, істотно скоротили частку дорожнього простору, що припадає на інші види транспорту. Це призвело до створення дорожніх смуг руху, призначених для автобусів, або на постійній чи тимчасовій (в годину пік) основі [8].

Просторове значення кожного виду транспорту змінюється залежно від багатьох факторів, у тому числі найбільш важливим є щільність. Якщо щільність розглядається як градієнт, то кільця рухливості є змінами просторових значень для кожного транспортно-го режиму в забезпеченні міської мобільності. Крім того, кожен вид транспорту має унікальні продуктивність і характеристики простору, який використовується. Найбільш наочним прикладом є автомобіль, який вимагає простору для переміщення (частини дорожньої інфраструктури), але також використовує значну частину міського простору для стаціонарного розміщення. Таким чином, велика площа міського простору повинна бути виділена для розміщення автомобіля, коли він є економічно та соціально марним. У великих міських агломераціях майже всі вільні місця для паркування на вулиці й районах середньої та вищої щільності зайняті протягом дня. У містах Західної Європи дороги становлять від 10 до 20 % міського простору, тоді як в інших країнах цей показник становить близько 6 %, але швидко збільшується за рахунок автомобілізації [8; 9].

Міський транспорт включає три широкі категорії перевезень: громадські, індивідуальні та вантажні перевезення. У той час як пасажирські перевезення є результатом численних індивідуальних рішень, заснованих на різних обґрунтуваннях, вантажні перевезення є результатом спільних рішень вантажовласників і постачальників транспортних послуг. У багатьох випадках пасажирські й вантажні перевезення доповнюють один одного, але іноді можуть конкурувати між собою. Метою громадського транспорту є надання загальнодоступних послуг населенню в мобільності в певній частині міста. Його ефективність заснована на перевезеннях великої кількості пасажирів та досягненні економії на масштабі діяльності. Громадські перевезення здійснюються з використанням трамваїв, автобусів, тролейбусів, метро, електропоїздів і паромів [8; 11].

Більшість виробництва і споживання товарів знаходяться в місті, тому вони потребують великого обсягу вантажних перевезень.

Збільшенню кількості пасажирів і вантажів, які переміщуються в міських районах, сприяє швидкий розвиток міст. Це відбувається в багатьох країнах світу. Перевезення вантажів частіше здійснюються на великі відстані. За останні сто років середній час у дорозі зменшився незначно. Це означає, що для перевезень стали використовувати більш швидкий транспорт. Формуванню великої різноманітності систем міського транспорту сприяла реалізація більш ефективних технологій транспортних засобів та інфраструктури. Розвинені країни пройшли три основні періоди розвитку міст. Кожен із цих етапів був пов'язаний з особливою формою міської мобільності (ходьбою, гужовим транспортом, електротранспортом, автотранспортом) [8].

Громадський транспорт (автобуси, тролейбуси, метро, трамваї і ін.) відіграє важливу роль у розвитку сучасних міст. Він покращує якість життя в містах, що забезпечує безпечне, ефективне й економічне обслуговування пасажирів. Громадський транспорт забезпечує особисту мобільність, служить колективним інтересам усього населення міста.

Громадський транспорт та міські транспортні коридори є природними координаційними центрами для населення міста, забезпечують економічну й соціальну ефективність життєдіяльності, сприяють створенню сильних районних центрів, які є економічно стабільними, безпечними і продуктивними [10].

Міський пасажирський транспорт сприяє державному і муніципальному економічному зростанню, збільшує місцеву базу для багатьох видів послуг (підприємств громадського харчування, побутових послуг, роздрібної торгівлі, медичних установ, закладів освіти тощо). Цей вид транспорту оживляє райони, де проживають люди, підвищує безпеку, збільшує соціальну взаємодію, створює комфортні умови проживання. Вважається, що до 2025 року 20 % населення розвинених міст буде старше за 65 років, і багато хто з них будуть не в змозі управляти особистими автомобілями, що є додатковим рушієм зростання послуг громадського транспорту [13; 8].

Аналіз стану й розвитку послуг міського транспортного середовища може бути проведено за такими підсистемами, як міська просторова інфраструктура, дорожньо-транспортна інфраструктура, транспортна інфраструктура і рухомий склад, пасажиропотоки і рівень сервісу.

Основні показники, що характеризують економічну стійкість міського транспортного середовища, включають: інвестиції в транспортну інфраструктуру для підвищення якості транспортного обслуговування, податкове навантаження транспортних операторів за видами громадського транспорту, ціни на транспортні засоби та паливо, вартість стоянок і платних автостоянок, ціни на квитки і пільги певним соціальним групам населення і т. ін.

Система цільових показників зниження негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я населення, оптимізації вартості перевезень і підвищення економічної стійкості громадського транспорту представлені в таблиці.

Таблиця

Система цільових показників розвитку міського транспортного середовища

Мета розвитку	Показник
Зниження негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я	Викиди CO <sub>2</sub> на душу населення за видами громадського транспорту; викиди CO <sub>2</sub> на душу населення за складовими циклу поїздки, площа території, пов'язана з транспортною діяльністю, яка припадає на душу населення; розмір і щільність транспортної інфраструктури на душу населення, витрата палива на душу населення, диференційований за видами паливно-енергетичних ресурсів, видів громадського транспорту, типам транспортних засобів і маршрутів перевезень
Оптимізація вартості перевезень	Доступність плати за проїзд для різних за доходами соціальних груп населення; фактичні витрати, понесені домогосподарствами різних соціальних груп населення, за окремими видами громадського транспорту
Підвищення економічної стійкості	Інвестиції в транспортну інфраструктуру для підвищення якості обслуговування, податкове навантаження транспортних операторів за видами громадського транспорту, ціни на транспортні засоби та паливо, вартість стоянок і платних автостоянок, ціни на квитки і пільги певним соціальним групам населення і т. ін.
Підвищення якості сервісу	Частка домогосподарств, комерційних підприємств, громадських організацій, органів влади та управління, що перебувають у безпосередній близькості від зупинок; ступінь обмеження швидкості руху, якість інфраструктури для пішоходів, темпи зростання перевезень пасажирів з обмеженими фізичними можливостями, темпи зростання кількості пішохідних доріжок
Підвищення мобільності	Число поїздок, швидкість руху, середній час, який витрачає пасажир у дорозі від посадки до висадки, середній час поїздки на кожному виді транспорту за соціальними групами, цілями поїздки, маршрутами і напрямками, середня відстань поїздок

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Запропонована система цільових показників сталого розвитку послуг міського транспортного середовища дозволяє дати оцінку мобільності населення, доступності послуг перевезення та пунктів призначення, якості перевезення пасажирів і сервісу, впливу громадського транспорту і дорожньо-транспортної інфраструктури на навколишнє середовище і здоров'я населення, оптимальності вартості перевезень і економічної стійкості громадського транспорту.

Однак практичне використання всіх без винятку розглянутих показників розвитку міського транспортного середовища викликає певні труднощі, які пов'язані з неповним статистичним забезпеченням обліку даних показників і наявною інформацією в пресі.

Узагальнена оцінка динаміки розвитку міського транспортного середовища може бути дана, по-перше, на основі застосування такого методу, як розрахунок інтегрального показника розвитку з урахуванням вагових коефіцієнтів, які характеризують внесок зміни окремого (приватного) показника в зміну інтегрального. У цьому випадку формула визначення інтегрального показника ( $Y$ ) являє собою суму добутків нормованих значень окремих показників розвитку громадського транспорту ( $X_i$ ) і їх коефіцієнтів вагомості ( $\alpha_i$ ):

$$Y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot X_i, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (1)$$

Своєю чергою, розрахунок коефіцієнтів вагомості окремих показників розвитку міського транспортного середовища в інтегральному може проводитися, наприклад, такими методами, як їх бальна оцінка фахівцями (експертами), визначення коефіцієнтів кореляції між змінами окремих показників за наявності їх лінійного взаємозв'язку або розрахунок  $\beta$ -коефіцієнтів, що характеризують ступінь впливу кожного з окремих показників на інтегральний.

Іншим методом узагальненої оцінки розвитку міського транспортного середовища є визначення рангової кореляції між рядом окремих показників розвитку громадського транспорту, які побудовані на вимогу певного порядку зниження індексів змін окремих показників, та тих же окремих показників, які побудовані за фактичними значеннями зниження їх індексів зростання. Так, визначення коефіцієнта рангової кореляції Кендалла ( $\tau$ ) може бути проведено за формулою:

$$\tau = 1 - \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} m_i}{n \cdot (n-1)}, \quad (2)$$

де  $m_i$  – число інверсій у фактичному динамічному ряді окремих показників розвитку міського транспортного середовища (фактичних індексів зростання);

$n$  – число окремих показників розвитку міського транспортного середовища в динамічному ряді.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена ( $\rho$ ) визначається за такою формулою:

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{\sum_{i=1}^m n^2}, \quad (3)$$

де ( $Y_i^2$ ) – квадрат відхилень місць, які посідають окремі показники розвитку міського транспортного середовища, в динамічному нормативі і їх фактичному ряді;

$n$  – число окремих показників розвитку громадського транспорту в динамічному ряді.

Найбільш доступним з практичного погляду методом визначення узагальнюючого показника розвитку міського транспортного середовища ( $I_0$ ) є статистичний метод його розрахунків як добуток індексів зростання окремих показників ( $I_i$ ):

$$I_0 = \prod_{i=1}^n I_i^{1/n}, \quad (4)$$

де  $n$  – число окремих показників розвитку міського транспортного середовища.

При розрахунку узагальнюючого індексу розвитку міського транспортного середовища треба враховувати відповідність напряму зміни окремих індексів (позитивний чи негативний). Так, наприклад, збільшення індексу викидів забруднюючих атмосферу речовин або чисельності дорожньо-транспортних пригод є негативним. У цьому випадку ці індекси застосовуються у формулі розрахунку узагальнюючого індексу у вигляді оберненого до даної величини множника ( $I_i^{-1}$ ).

**Висновки відповідно до статті.** Висновок полягає в обґрунтуванні функцій і розробці процесної моделі розвитку міського транспортного середовища, розробці системи цільових показників і методу визначення сталого розвитку громадського транспорту на основі розрахунку узагальнюючого індексу.

#### Список використаних джерел

1. Проект Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. URL: <https://mtu.gov.ua/projects/133>.
2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30 травня 2018 р.
3. 9 тенденцій розвитку городского транспорта в ближайшем будущем. URL: <https://daily.afisha.ru/brain/5340-9-trendov-gorodskogo-transporta-blizhayshego-buduschego>.
4. Albalade D., Bel G. Tourism and urban public transport: Holding demand pressure under supply constraints. *Tourism Management*. 2010. № 3 (31). P. 425–433.
5. Гукетлев Ю. Х., Ткачева Я. С., Гукетлев Э. Ю. Зарубежный опыт развития городского пассажирского транспорта. *Новые технологии*. 2016. № 4. С. 27–32.
6. Загорский И. О., Володькин П. П. Эффективность организации регулярных перевозок пассажирским автомобильным транспортом: монография. Хабаровск: Тихоокеанский национальный университет, 2012. 154 с.
7. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник / за ред. В. С. Маруніча, Л. Г. Шморгуна. Київ: Міленіум, 2017. 528 с.
8. Борозенець М. І. Тенденції формування міського транспортного середовища в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 17. С. 63–68.
9. Трубина Е. Г. Город в теории: опыты осмысления пространства. Москва: Новое литературное обозрение, 2011. 520 с.
10. Герами В. Д. Концепции формирования системы городского пассажирского общественного транспорта. *Автотранспортное предприятие*. 2002. № 5. С. 8–11.
11. Борозенець М. І. Міське транспортне середовище: аспекти інституціоналізації. *Інституціоналізація публічного управління в Україні в умовах євроінтеграційних та глобалізаційних викликів*: матеріали щоріч. Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнар. участю, 24 трав. 2019 р. Київ: НАДУ, 2019. С. 37–38.
12. Амбарцумян В. В., Носов В. Б., Тагасов В. И., Сарбаев В. И. Экологическая безопасность автомобильного транспорта: учебное пособие. Москва: Научтехлитиздат, 1999. 208 с.
13. Рассел Дж. Список стран по ВВП (ППС) на душу населения. Москва: Книга по Требованию, 2012. 136 с.

#### References

1. *Proekt Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [Draft National Transport Strategy of Ukraine for the Period up to 2030]*. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/projects/133>.
2. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine until 2030]. № 430-r (May 30, 2018) [in Ukrainian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. 9 tendentsii razvitiia gorodskogo transporta v blizhaishem budushchem [9 trends in urban transport in the near future]. Retrieved from <https://daily.afisha.ru/brain/5340-9-trendov-gorodskogo-transporta-blizhayshego-budushego>.

4. Albalate, D., Bel, G. (2010). Tourism and urban public transport: Holding demand pressure under supply constraints. *Tourism Management*, 3 (31), 425–433 [in English].

5. Guketlev, Yu. Kh., Tkacheva, Ya. S., Guketlev, E. Yu. (2016). Zarubezhnyi opyt razvitiia gorodskogo passazhirskogo transporta [Foreign experience in the development of urban passenger transport]. *Novye tekhnologii – New technologies*, 4, 27–32 [in Russian].

6. Zagorsky, I. O. Volodkin, P. P. (2012). *Effektivnost organizatsii reguliarnykh perevozk passazhirskim avtomobilnym transportom [The effectiveness of the organization of regular transportations by passenger motor transport]*. Khabarovsk: Tikhookeanskii natsionalnyi universitet [in Russian].

7. Marunich, V. S., Shmorgun, L. G. (Eds.) (2017). *Orhanizatsiia ta upravlinnia pasazhyrskymy perevezenniamy [Organization and management of passenger transportation]*. Kyiv: Milenium [in Ukrainian].

8. Boroznets, M. I. (2019). Tendentsii formuvannia miskoho transportnoho seredovyscha v Ukraini [Trends of urban transport environment formation in Ukraine]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investment: practice and experience*, 17, 63–68 [in Ukrainian].

9. Trubina, E. G. (2011) *Gorod v teorii: opyty osmysleniia prostranstva [The city in theory: space comprehension experiments]*. Moscow: Novoe literaturnoe obozrenie [in Russian].

10. Gerami, V. D. (2002). Kontseptsii formirovaniia sistemy gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta [Concepts of forming a system of urban passenger public transport]. *Avtotransportnoe predpriiatie – Motor transport company*, 5, 8–11 [in Russian].

11. Boroznets, M. I. (2019). Miske transportne seredovyshe: aspekty instytutsionalizatsii [Urban transport environment: aspects of institutionalization]. Proceeding from *Instytutsionalizatsiia publichnoho upravlinnia v Ukraini v umovakh yevrointehratsiinykh ta hlobalizatsiinykh vyklykiv: materialy shchorich. Vseukr. nauk.-prakt. konf. za mizhnar. uchastiu – Institutionalization of public administration in Ukraine in the context of European integration and globalization challenges: materials annually. All-Ukrainian. Research Practice Conf. for the international. participation]* (Kyiv, May 24, 2019) (pp. 37–38). Kyiv : NADU [in Ukrainian].

12. Hambartsumian, V. V., Nosov, V. B., Tagasov, V. I. & Sarbaev, V. I. (1999). *Ekologicheskaiia bezopasnost avtomobilnogo transporta [Environmental safety of automobile transport]*. Moscow: Nauchtekhlitizdat [in Russian].

13. Rassel, Dzh. (2012). *Spisok stran po VVP (PPS) na dushu naselenija [List of countries per capita GDP (PPP)]*. Moscow: Kniga po Trebovaniju, [in Russian].

UDC 656.13

*Vira Murashkovska, Alina Podzolkina, Vasyl Sklyar, Oleksandr Syvodid*

## ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT TRENDS OF CITY PUBLIC TRANSPORT ENVIRONMENT

**Urgency of the research.** Transport is one of the basic sectors of the economy. It has a developed network of highways, an extensive rail network, seaports and river terminals, airports and a wide network of aviation connections, freight customs terminals. It creates the necessary prerequisites to meet the needs of transport users in the provision of transport services and business development.

**Target setting.** The transportation industry provides basic, but not quality, transportation to meet basic needs of the population and economy.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Many works of leading foreign and domestic scientists are devoted to theoretical and practical aspects of the sphere of transport services.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Little attention was paid to shaping the urban transport environment, defining a system of quality of service indicators and developing measures for a strategic plan for improving it.

**The research objective.** Development of conceptual provisions and development of practical recommendations for assessment of the quality of urban transport environment development and measures for its improvement.

**The statement of basic materials.** One of the most important areas of functioning and livelihood of the city is urban public transport. The quality of life of the residents depends on the convenience and comfort. Accessibility and speed of transportation determines how convenient public transport is.

**Conclusions.** *The conclusion is to justify the functions and to develop a process model of urban transport environment development, to develop a system of targets and a method for determining sustainable development of public transport based on the calculation of a generalized index.*

**Keywords:** *urban public transport; sustainable development; targets; functions; generalization index.*

*Fig.: 1. Table: 1. References: 13.*

**Мурашківська Віра Петрівна** – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Murashkovska Vira** – senior teacher of Department of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vmurashkovska@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0556-8709>

**ResearcherID:** G-9757-2016

**Подзолкіна Аліна Петрівна** – асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Podzolkina Alina** – assistant of Department of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kyianets.alina@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0908-0401>

**ResearcherID:** J-1272-2016

**Скляр Василь Михайлович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sklyar Vasyl** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** uslhj@meta.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>

**ResearcherID:** J-1138-2016

**Сиводід Олександр Сергійович** – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Syvodid Oleksandr** – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** a.syvodid74@gmail.com

Костянтин Борак

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ АБРАЗИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

**Актуальність теми дослідження.** Дослідження зміни абразивних властивостей ґрунтів та врахування їх при виборі матеріалів та режимів експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин, що дозволить зменшити інтенсивність зношування, є, безперечно, актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Інтенсифікація аграрного виробництва висуває більш жорсткі вимоги до зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наявні моделі ґрунтового середовища розглядають ґрунт як ідеальне середовище, яке не змінює свої властивості в часі та не розглядають його абразивних властивостей.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутні теоретичні й експериментальні дослідження зміни абразивних властивостей ґрунту в процесі самоорганізації.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка математичної моделі зміни абразивних властивостей ґрунту в процесі самоорганізації.

**Виклад основного матеріалу.** Закономірності зміни абразивних властивостей ґрунту в процесі самоорганізації можливо описати поліноміальною функцією другого порядку. Коефіцієнти даної функції визначенні експериментальним шляхом, з урахуванням найбільш значущих факторів.

**Висновки відповідно до статті.** У процесі самоорганізації підвищується абразивна здатність ґрунту. Зовнішні чинники (опади та питоми тиск від дії рушійів) пришвидшують процес самоорганізації ґрунту, що призводить до зростання абразивних властивостей ґрунту. Зовнішні чинники не впливають на загальну закономірність більш інтенсивного процесу самоорганізації ґрунтового середовища на початку її функціонування. Розроблені математичні моделі, з урахуванням зовнішніх чинників, дозволяють прогнозувати зміну абразивних властивостей ґрунту.

Зменшення інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин можна досягти за рахунок більш раннього повторного обробітку (після механічного руйнування структури ґрунту), поки не відбулися процеси зростання абразивних властивостей у результаті самоорганізації ґрунту.

**Ключові слова:** самоорганізація; ґрунт; система; питома зчеплення; ступінь закріплення; питоми тиск; опади.

Рис.: 12. Табл.: 5. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** Втрати зумовлені абразивним зношуванням у розвинутих країнах досягають 1...4 % ВВП. У сільському господарстві найбільше абразивному зношуванню піддаються робочі органи машин, які взаємодіють зі складним гетерогенним середовищем – ґрунтом. Зменшити інтенсивність абразивного зношування деталей машин можна трьома методами: конструктивними, технологічними та експлуатаційними. Вибір методів підвищення зносостійкості деталей машин при абразивному зношуванні повинні ґрунтуватися на врахуванні властивостей абразивної маси, тому для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин необхідно дослідити зміну абразивних властивостей ґрунту в процесі його самоорганізації.

**Постановка проблеми.** Для проектування, вибору матеріалу, режимів термообробки та виготовлення деталей машин, що працюють в абразивному середовищі, необхідно повною мірою знати трибологічні характеристики середовища та процеси, що відбуваються в цьому середовищі.

Нині для теоретичного вивчення властивостей ґрунтів дослідники [1; 2; 3] використовують феномологічний підхід. Феномологічний підхід досить поширений у теоретичній механіці, гідравліці, теорії пружності та в інших науках, де прийнято нехтувати другорядними для даного кола проблем властивостями тіл і зберігати за ними лише основні властивості, вирішальні для розглядуваних процесів [4]. У процесі вивчення абразивних властивостей ґрунтів ідеалізація цього середовища неприпустима, оскільки кожний зі складових цього середовища може призвести до зміни не тільки інтенсивності зношування, але й до зміни механізму зношування.

Для вивчення абразивних властивостей ґрунту необхідно застосовувати структурно-динамічний аналіз, який дозволить врахувати реальну структуру ґрунту та процеси, що відбуваються в ґрунті та на поверхні робочого органу під час їх взаємодії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як уже зазначалося вище, для модельного уявлення ґрунту використовується феномологічний підхід з ідеалізацією його елементів. Так, у роботі [3] зазначено, що механіка ґрунтів здебільшого обмежується лише



механічними явищами й не приділяється належної уваги фізико-хімічним та іншим процесам, що відбуваються в ґрунтах. Це свідчить про те, що в механіці ґрунтів мають справу з не зовсім реальними ґрунтами, а з деякими їхніми механічними моделями, тобто з тілами, які мають спрощені властивості [4].

Першою механічною моделлю ґрунтів, що відображає їх дисперсність, є ідеальне сипуче тіло (рис. 1) – скупчення кульок, що не зв’язані між собою [4].

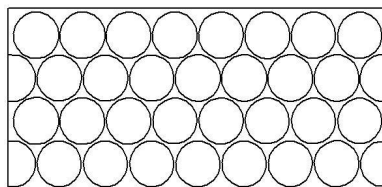


Рис. 1. Механічна модель ідеального сипучого тіла

Спочатку цю модель використовували для всіх пухких ґрунтів, але пізніше встановлено та обґрунтовано, що її можна використовувати тільки для піщаних ґрунтів [3].

Для зв’язаних глиняних ґрунтів запропоновано 2 моделі (рис. 2).

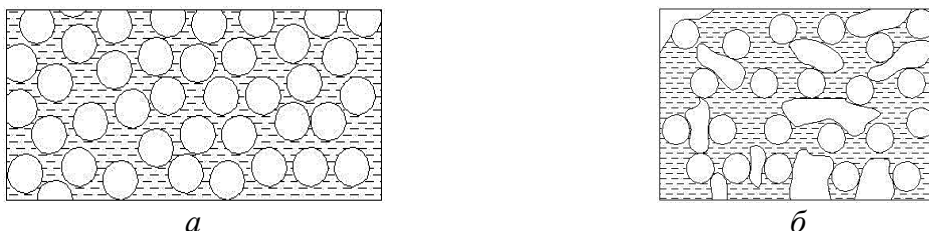


Рис. 2. Механічні моделі зв’язаних ґрунтів:  
а – двофазна система; б – трьохфазна система

Перша з них (рис. 2, а) моделює слабо зв’язані насичені водою ґрунти, друга (рис. 2, б) – зв’язані маловологі ґрунти [3].

У роботі [1] ґрунт розглядається як пружно-в’язке середовище за допомогою моделі Кельвіна–Фойгта. Абразивна частинка при моделюванні моно- та полідисперсного середовища ґрунту розглядалася як така, що має ідеально сферичну форму (рис. 3).

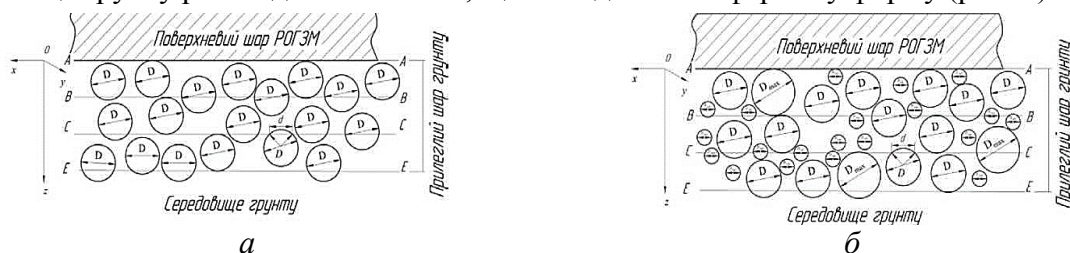


Рис. 3. Схема взаємодії поверхневого шару робочого органу із шаром ґрунту:  
а – монодисперсний шар ґрунту; б – полідисперсний шар ґрунту

В. П. Дьяков [5] для моделювання шару ґрунту, який піддається обробці сільськогосподарськими машинами, запропонував використовувати реологічну пружно-в’язку модель (рис. 4).

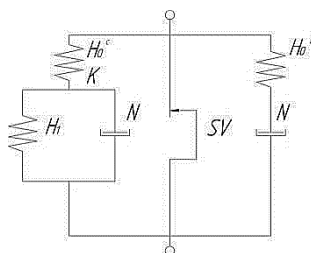


Рис. 4. Реологічна пружно-в’язка модель ґрунту

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Модель ґрунту, як реологічне тіло, являє собою систему із паралельно з'єднаних тіл Кельвіна, Максвелла і елемента Сен-Венана. Модель тіла Кельвіна відображає пружну післядію деформації при постійному напруженні, модель Максвелла – релаксацію пружних напружень при постійній деформації, а елемент Сен-Венана – кардинальну властивість дискретних тіл – опір тертю, що діє як у початковій стадії деформації, так і у граничному стані деформації. Останнє є обов'язковою вимогою до змісту моделі [5].

Наведені моделі ґрунтів доволі різноманітні, це зумовлено тим, що моделі ґрунту будувались при вирішенні певних локальних задач. Зокрема, у роботі [1] – для визначення площі контакту абразивних частинок із матеріалом робочого органу, в роботі [3] – для визначення несучої здатності ґрунтів, у роботі [5] – для визначення зусиль втрати міцності ґрунту у вигляді відокремлення пласта від масиву.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні відсутня математична або фізична модель, яка достовірно описує абразивні властивості ґрунту й дозволяє прогнозувати його зношувальну здатність.

**Мета досліджень** – розробити математичну модель зміни абразивних властивостей ґрунту в процесі самоорганізації.

**Виклад основного матеріалу.** За класифікацією дисперсних систем по агрегатному стану ґрунт відноситься до капілярних систем.

Для об'єктивної оцінки абразивних властивостей ґрунту необхідно розглянути його фазовий склад рис. 5.

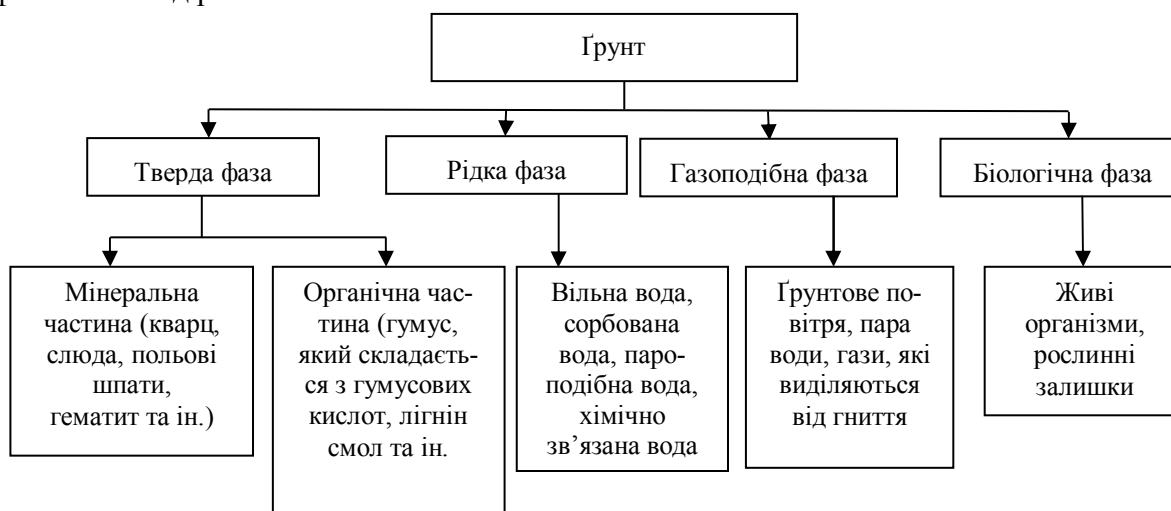


Рис. 5. Фазовий склад ґрунту

Зношувальна здатність ґрунту залежить від його фазового складу. У загальному вигляді її можна описати рівнянням:

$$Z_{\text{ґрунт}} = \omega_1 Z_1 + \omega_2 Z_2 \dots + \dots \omega_n Z_n, \quad (1)$$

де  $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$  – об'ємна частка 1, 2 ... n-го елемента системи ( $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 1$ );  $Z_1, Z_2 \dots Z_n$  – зношувальна здатність фаз ґрунту.

Як видно з рис. 5, ґрунт складається з чотирьох фаз: тверда ( $Z_1$ ), рідка ( $Z_2$ ), газоподібна ( $Z_3$ ), біологічна фаза ( $Z_4$ ).

Зношувальна здатність твердої фази ґрунту залежить від вмісту твердих мінеральних частинок, твердість яких рівна або більша за твердість матеріалу робочого органу, їхнього розміру, форми та ступеня закріплення абразивних частинок:

$$f(Z_1) = (K_{\phi}, T_a, P_a, C_3, B_a), \quad (2)$$

де  $K_{\phi}$  – коефіцієнт форми абразивних частинок;  $T_a$  – твердість абразивних частинок;  $P_a$  – розмір абразивних частинок;  $C_3$  – ступінь закріплення абразивної частинки в ґрунті;  $B_a$  – вміст твердих мінеральних частинок, твердість яких рівна або більша за твердість матеріалу робочого органу.

Тверда фаза визначає переважно абразивні властивості ґрунту, але інші фази ґрунту також можуть суттєво впливати на механізм та інтенсивність абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Розглянемо ґрунт як неоднорідне сипуче тіло зі здатністю до утворення монолітних складових. Висунемо такі припущення:

1. Це «тіло» здатне до самоорганізації (переходити з одного стану в інший протягом часу).
2. Перехід при самоорганізації з одного стану в інший відбувається поступово.
3. Ґрунт є відкритою системою.
4. Ґрунт складається з чотирьох підсистем (фаз) (рис. 5).

Ґрунт – складна нелінійна нерівноважна дисипативна відкрита система, яка здатна до самоорганізації: процес спонтанного росту порядку і організованості в системі. Тому таку систему слід розглядати за допомогою синергетичного підходу.

Абразивні властивості ґрунту змінюються в часі, тому необхідно провести дослідження ймовірнісного стану цього об'єкта на фіксованому інтервалі часу. Загалом зміну абразивних властивостей ґрунту можна представити схемою (рис. 6).

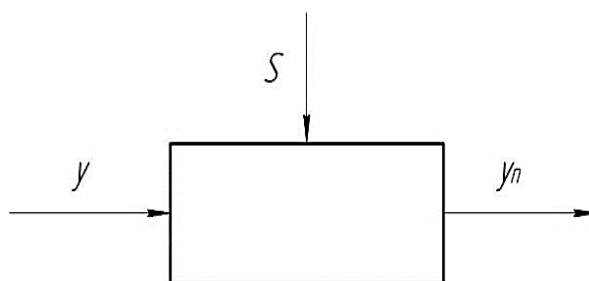


Рис. 6. Схема зміни абразивних властивостей середовища ґрунту:

$y$  – початкова величина абразивних властивостей ґрунту;  $y_n$  – прогнозована величина абразивних властивостей ґрунту;  $S$  – перешкоди (погодні умови, механічний вплив на систему)

Прогнозована величина  $y_n$  в загальному випадку представлена як змінна стану системи (ґрунту), на вхід якої подаються величина  $y$  і яка перебуває під дією відповідних перешкод  $S$ . У результаті спостереження отримуємо вибірку реалізацій  $y_{n,t}, t \in N$  і  $y \in N$ .

Для побудови математичної моделі, яка б дозволила прогнозувати зміну абразивних властивостей ґрунту, необхідна апріорна інформація. Оскільки при прогнозуванні будемо використовувати синергетичний підхід, то обсяг інформації буде мінімальний, і будувати моделі будемо без врахування деяких факторів.

Один з основних факторів, який впливає на абразивність ґрунту, – це ступінь закріплення абразивної частинки. Для оцінки ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті використовували показник  $c$  – питоме зчеплення, кПа.

Прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів проводилися на основі експериментального методу [6]. Лабораторні дослідження проводили в закритому приміщенні з постійною температурою. Імітацію опадів та дії рушіїв сільськогосподарських машин проводили через 24 години від початку дослідження.

Перед проведенням лабораторних досліджень із вивчення зміни абразивних властивостей ґрунту протягом певного часу, були проведені дослідження в експлуатаційних умовах. У результаті чого отриманні данні по величині питомого зчеплення для різних типів ґрунтів (табл. 1.) [6].

У результаті досліджень встановлено, що збільшення вологості призводить до зростання ступеня закріплення абразивних частинок. Виявлено, що закономірність притаманна всім типам ґрунтів і зберігається до насичення ґрунту вологою.

Таблиця 1

*Результати експлуатаційних досліджень*

№	Місце проведення	Тип ґрунту (за механічним складом)	Вологість, %	Наявність кореневої системи	Глибина від поверхні, мм	Питоме зчеплення $c$ , Па
1	Овруцький район	Піщаний	10,06	Без кореневої системи	100	6784,5
2	Коростенський район	Супіщаний	7,3	Коренева система багаторічна трава	100	5134,68
3	Житомирський район	Глинистий	16,8	Коренева система озимої пшениці	100	6407,1

Джерело: [6].

Ґрунт є складною системою, яка здатною до самоорганізації, що, у свою чергу, призводить до зміни абразивних властивостей у процесі функціонування. Для визначення впливу тривалості самоорганізації та наявності перешкод були проведені дослідження, результати яких представлено в табл. 2.

Таблиця 2

*Результати лабораторних досліджень впливу перешкод (опадів та дія рушіїв сільськогосподарських машин) та тривалості самоорганізації ґрунтового середовища на зміну величини питомого зчеплення*

Тип ґрунту	Фактори, які впливають на процес самоорганізації (перешкоди $S$ )	Питоме зчеплення $c$ у різні періоди проведення досліджень, після механічного руйнування структури ґрунту, Па			
		$t_1=0$ год	$t_2=168$ год	$t_3=336$ год	$t_4=504$ год
Піщаний	Без перешкод	384,30	547,45	876,54	1604,5
	3 імітацією опадів (20 мм)		687,38	1049,72	2043,71
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)		1329,57	1812,01	2456,49
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин		1476,56	3006,36	4579,34
Супіщаний	Без перешкод	438,41	679,41	980,37	2017,65
	3 імітацією опадів (20 мм)		950,33	1494,38	2706,18
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)		1700,63	2397,79	3264,06
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин		1981,52	3897,66	5481,47
Глинистий	Без перешкод	497,84	690,50	1020,37	2134,61
	3 імітацією опадів (20 мм)		945,73	1576,82	2774,48
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)		1712,48	2578,91	3474,32
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин		2170,4	3980,29	5680,54

За результатами проведених досліджень побудовані графічні залежності прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів (рис. 7). У загальному випадку математичну модель, яка описує зміну величини питомого зчеплення, можна представити у вигляді поліноміальної функції другого порядку:

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (3)$$

де  $a$ ,  $b$  і  $c$  – експериментально визначені коефіцієнти (табл. 3).

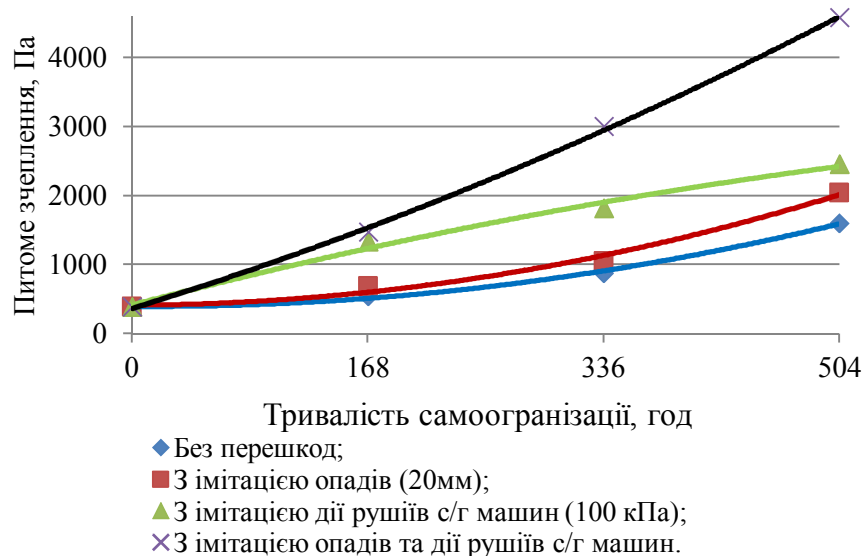


Рис. 7. Зміна питомого зчеплення для піщаних ґрунтів у результаті самоорганізації ґрунтового середовища

Таблиця 3

Експериментально визначені коефіцієнти для прогнозування зміни питомого зчеплення залежно від часу самоорганізації ґрунтового середовища

Тип ґрунту	Фактори, які впливають на процес самоорганізації (перешкоди S)	Коефіцієнти математичної моделі (3)			Коефіцієнт детермінації
		a	b	c	
Піщаний	Без перешкод	0,005	0,1467	395,95	R <sup>2</sup> =0,9969
	3 імітацією опадів (20 мм)	0,0061	0,0945	412,34	R <sup>2</sup> =0,9895
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)	-0,0027	5,3303	415,54	R <sup>2</sup> =0,9915
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин	0,0043	6,2557	354,58	R <sup>2</sup> =0,9992
Супіщаний	Без перешкод	0,0071	0,5556	472,23	R <sup>2</sup> =0,9842
	3 імітацією опадів (20 мм)	0,0062	1,249	470,19	R <sup>2</sup> =0,9929
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)	-0,0035	7,2284	475,12	R <sup>2</sup> =0,9937
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин	0,0004	7,2284	475,12	R <sup>2</sup> =0,9983
Глинистий	Без перешкод	0,0082	-0,995	530,2	R <sup>2</sup> =0,9870
	3 імітацією опадів (20 мм)	0,0066	1,0939	517,01	R <sup>2</sup> =0,9975
	3 імітацією дії рушіїв с/г машин (100 кПа)	-0,0028	7,256	516,7	R <sup>2</sup> =0,9985
	3 імітацією опадів та дії рушіїв с/г машин	0,0002	10,209	485,49	R <sup>2</sup> =0,9998

У реальних умовах функціонування ґрунту, графічна залежність зміни питомого зчеплення залежно від часу буде мати дещо інший вигляд (рис. 8).

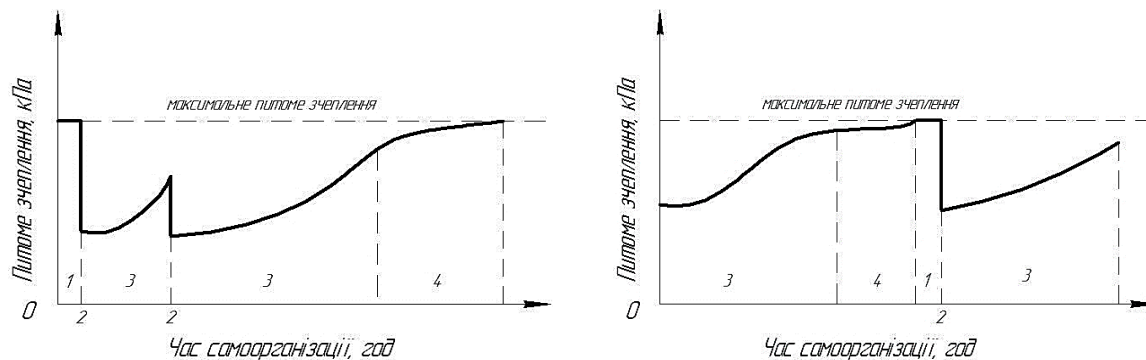


Рис. 8. Можливі варіанти самоорганізації ґрунту в реальних умовах ведення сільського господарства:

1 – зона знаходження ґрунту в рівноважному стані; 2 – зона механічного впливу на ґрунт (оброблення); 3 – зона активної самоорганізації; 4 – зона уповільнення самоорганізації

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

На рис. 8 представлені не всі можливі варіанти «життя» ґрунту, адже різноманіття сільськогосподарських культур вимагає різні варіанти його оброблення. Також на інтенсивність протікання процесу самоорганізації ґрунту суттєво впливають погодні умови.

Проведення дослідження для більш достовірного прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів розглядаємо тільки активну зону самоорганізації (рис. 8., зона 3).

Процес самоорганізації середовища ґрунту відбувається інтенсивніше за наявності зв'язуючих компонентів (глини). Зовнішні чинники суттєво прискорюють процеси самоорганізації. Так наявність імітації опадів інтенсифікує процес самоорганізації на 19,7...54,5 %, імітації дії рушіїв сільськогосподарських машин у 1,53...2,52 рази (див. табл. 2).

Характер залежності зміни питомого зчеплення  $c$  для всіх типів ґрунтів при дії імітацією дії рушіїв сільськогосподарських машин (100 кПа) суттєво відрізняється, що пов'язано з більш швидким процесом самоорганізації на початку функціонування системи.

Для визначення впливу величини питомого тиску рушіїв сільськогосподарських машин та часу дії даних рушіїв на швидкість реалізації процесу самоорганізації середовища ґрунту були проведені відповідні дослідження результати, яких представлені в табл. 4.

Таблиця 4

*Вплив величини тиску та часу прикладання навантаження на величину питомого зчеплення ґрунту*

Тип ґрунту	Величина тиску, кПа	Час прикладання статичного навантаження, хв	Питоме зчеплення $c$ у різні періоди проведення досліджень, після механічного руйнування структури ґрунту, Па			
			$t_1=0$ год	$t_2=168$ год	$t_3=336$ год	$t_4=504$ год
Піщаний	100	2	384,30	1329,57	1812,01	2456,49
	100	4		1640,40	2129,13	3214,52
	100	8		1984,73	2597,24	4302,91
	150	2		2104,32	2714,12	3640,23
	200	2		2640,92	3727,09	4643,21
	250	2		2902,35	3894,13	4938,75
Супіщаний	100	2	438,41	1700,63	2397,79	3264,06
	150	2		2201,66	3402,32	4870,27
	200	2		2600,37	3807,37	5240,31
	250	2		2938,13	4201,99	5372,31
Глинистий	100	2	497,84	1712,48	2578,91	3474,32
	150	2		2481,32	3724,32	5300,66
	200	2		2842,03	3943,24	5381,32
	250	2		3114,31	4455,61	5498,13

На піщаних ґрунтах зростання питомого тиску, від імітації дії рушіїв сільськогосподарських машин, призводить до більш суттєвого зростання величини питомого зчеплення (в 2,01...2,18 рази) у порівнянні із супіщаними (в 1,64...1,72 рази) та глинистими (1,58...1,81 рази) ґрунтами (табл. 4, рис. 9).

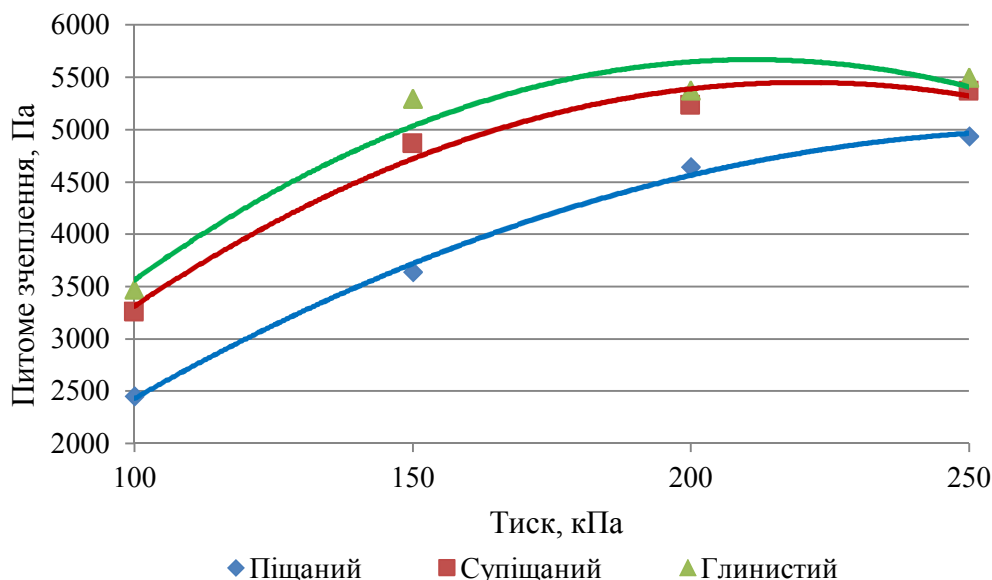


Рис. 9. Зміна питомого зчеплення для різних типів ґрунтів залежно від величини питомого тиску, що імітує дії рушіїв сільськогосподарських машин (час проведення дослідження  $t_4 = 504$  год)

Зростання часу імітації дії рушіїв на ґрунт (збільшення часу дії питомого тиску на поверхню ґрунту) призводить до інтенсифікації процесів самоорганізації в ґрунті і зростання величини питомого зчеплення (ступеня закріплення абразивних частинок), що своєю чергою приводить до збільшення зношувальної здатності ґрунту (рис. 10). Так збільшення часу дії питомого тиску з 2 хв до 8 хв призводить до зростання питомого зчеплення в 1,4...1,75 раза.

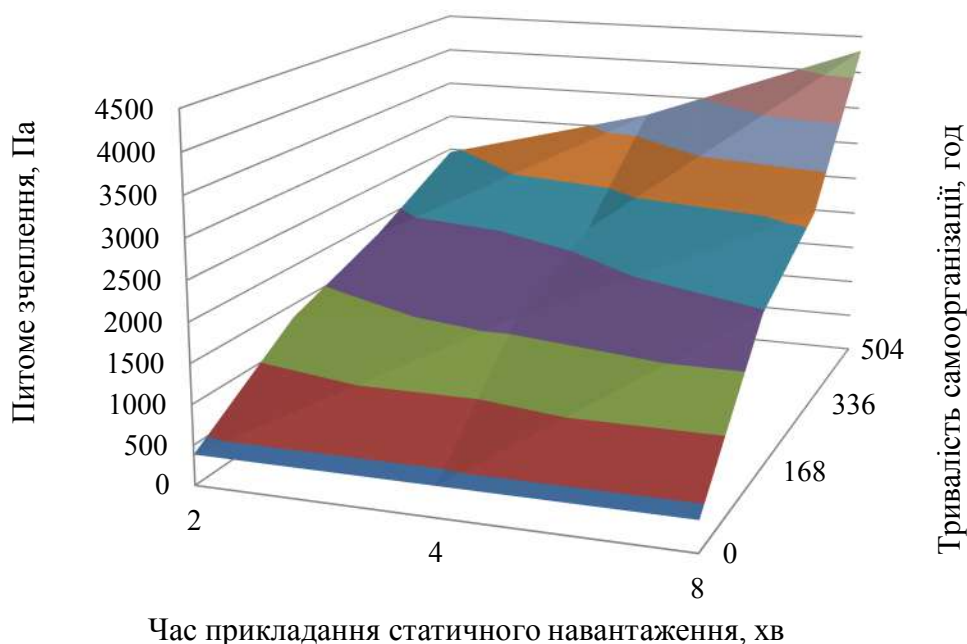


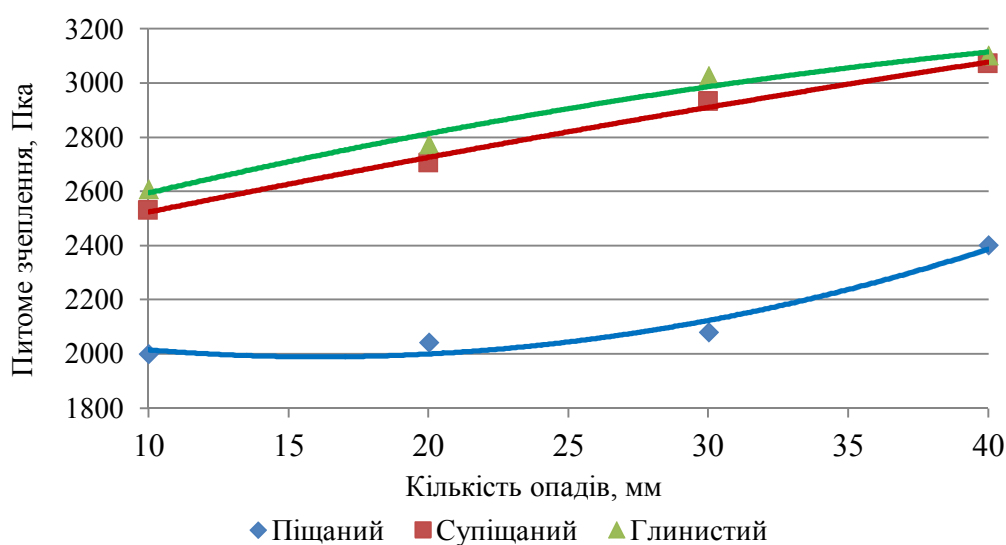
Рис. 10. Поверхня відгуку впливу часу прикладання статичного навантаження та часу самоорганізації ґрунту на величину питомого зчеплення

На величину зношувальної здатності ґрунтів суттєво впливає наявність води. Вода також впливає і на інтенсивність процесу самоорганізації ґрунту (табл. 5, рис. 11.)

Таблиця 5

Вплив кількості опадів на зміну величини питомого зчеплення

Тип ґрунту	Кількість опадів, мм	Питоме зчеплення $c$ у різні періоди проведення досліджень, після механічного руйнування структури ґрунту, Па			
		$t_1=0$	$t_2=168$ год	$t_3=336$ год	$t_4=504$ год
Піщаний	10	384,30	640,94	1031,94	2001,32
	20		687,38	1049,72	2043,71
	30		728,41	1200,13	2081,13
	40		804,32	1471,32	2402,13
Супіщаний	10	438,41	894,32	1240,23	2531,16
	20		950,33	1494,38	2706,18
	30		1107,63	1502,31	2931,47
	40		1214,54	1904,32	3071,62
Глинистий	10	497,84	870,23	1304,28	2608,36
	20		945,73	1576,82	2774,48
	30		1198,74	1742,13	3027,12
	40		1314,52	2403,46	3102,26

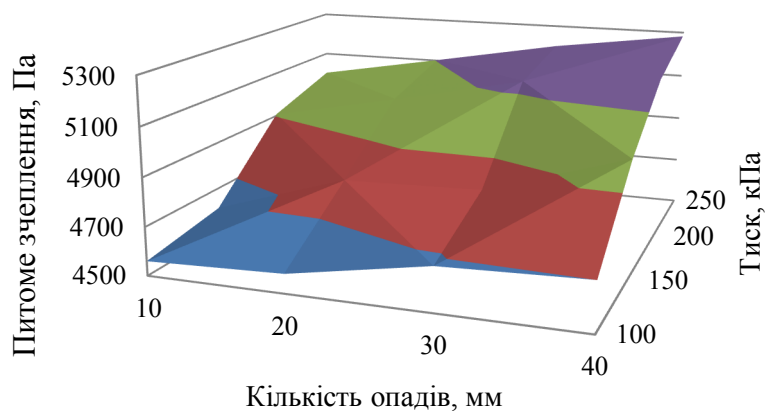
Рис. 11. Зміна питомого зчеплення для різних типів ґрунтів залежно від кількості опадів (час проведення дослідження  $t_4=504$  год)

На глинистих ґрунтах зростання кількості опадів, призводить до більш суттєвого зростання величини питомого зчеплення (в 1,2...1,84 раза) у порівнянні з супіщаними (в 1,21...1,53 раза) та глинистими (1,2...1,43 раза) ґрунтами (табл. 5, рис. 11).

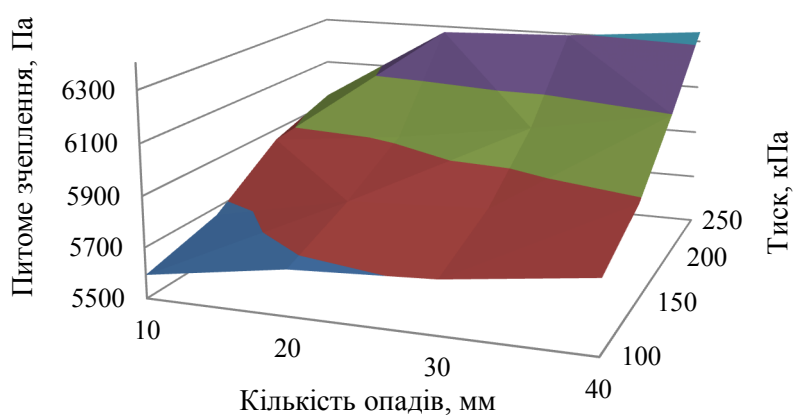
Для з'ясування спільного впливу величини питомого тиску та кількості опадів на інтенсифікацію процесу самоорганізації ґрунтового середовища був проведений двофакторний експеримент на трьох типах ґрунтів (рис. 12).

У результаті спільної дії двох факторів: кількості опадів та величини питомого тиску, що імітує дії рушіїв сільськогосподарських машин, процес самоорганізації середовища ґрунту інтенсифікується відповідно для піщаних ґрунтів в 2,8...3,2 раза, для супіщаних – 2,9...3,1 раза, для глинистих – 2,75...2,9 раза в порівнянні із самоорганізацією без перешкод.

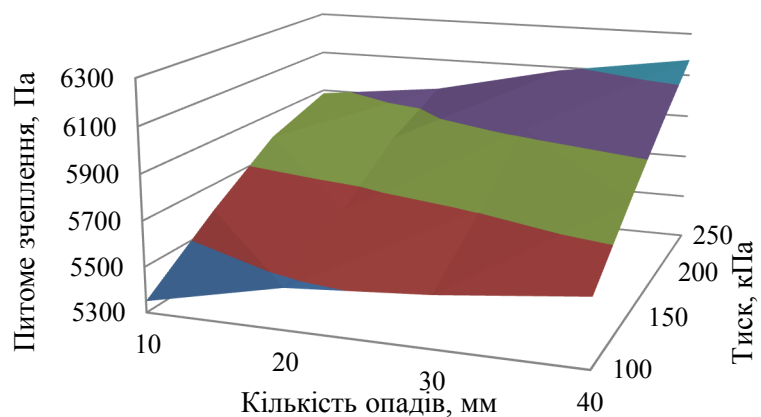




а



б



в

Рис. 12. Поверхні відгуку впливу кількості опадів та величини тиску, що імітує дії рушіїв сільськогосподарських машин, на величину питомого зчеплення (час проведення дослідження  $t_4=504$  год):  
а – піщаний ґрунт; б – супіщаний ґрунт; глинистий ґрунт

Для уникнення негативних явищ абразивного зношування (процесу мікрорізання) необхідно:

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- при обробці ґрунтів з високим ступенем закріплення абразивних частинок застосувати робочі органи з нанесеними зносостійкими покриттями, твердість яких більша за твердість абразивних частинок в 1,1...1,3 раза;

- на ґрунтах із невисоким ступенем закріплення абразивних частинок можна використовувати серійні робочі органи, які виготовлені зі сталі 65Г та 28MnB5.

Для зменшення інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин в процесі експлуатації, враховуючи отримані математичні моделі зміни абразивних властивостей ґрунту в процесі самоорганізації, потрібно проводити обробіток ґрунту на початку самоорганізації системи.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті проведених досліджень встановлено, що ґрунт як складна система здатен до самоорганізації. У процесі самоорганізації підвищується абразивна здатність ґрунту. Зовнішні чинники (опади та питомий тиск від дії рушіїв) пришвидшують процес самоорганізації ґрунту, що призводить до зростання абразивних властивостей ґрунту. Зовнішні чинники не впливають на загальну закономірність інтенсивнішого процесу самоорганізації ґрунтового середовища на початку її функціонування після механічного руйнування структури. Розроблені математичні моделі, з урахуванням зовнішніх чинників, дозволяють прогнозувати зміну абразивних властивостей ґрунту.

Проведені дослідження дозволяють прийти до висновку, що на процес самоорганізації ґрунту впливають зовнішні чинники (опади та дія рушіїв сільськогосподарських машин). На різних типах ґрунтів зовнішні фактори впливають по-різному на процес самоорганізації, так дія рушіїв сільськогосподарських машин більш суттєво інтенсифікує процес самоорганізації на піщаних ґрунтах, а наявність вологи – на глинистих ґрунтах.

Зменшення інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин можна досягти за рахунок більш раннього повторного обробітку (після механічного руйнування структури ґрунту), поки не відбулися процеси підвищення абразивних властивостей у результаті самоорганізації ґрунту.

#### Список використаних джерел

1. Аулін В. В., Тихий А. А. Модель взаємодії дисперсного середовища ґрунту з поверхнею робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2014. Вип. 27. С. 140–149.
2. Беркович И. И., Болотов А. Н., Морозова Ю. И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью: монография. Тверь, 2012. 92 с.
3. Левин С. В. Механика ґрунтов. Москва, 1964. 164 с.
4. Шелудченко Б. А. Агротехніка ґрунтів. Житомир, 1992. 249 с.
5. Дьяков В. П. Механика почвы и реология ґрунтов. Точки соприкосновения и различия. *Достижение науки и техники АПК*. 2007. № 7. С. 48–51.
6. Dvoruk V. I., Borak K. V. Research of the degree of fixation of abrasive particle in the soil. *Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології"*. Хмельницький, 2019. № 1. С. 67–72.

#### References

1. Aulin, V. V., Tykhyi, A. A. (2014). Model vzaiemodii dyspersnoho seredovishcha gruntu z poverkhneiu robochych orhaniv gruntoobrobnykh ta zemlerynykh mashyn [Model the interaction of dispersed soil environment with working parts of cultivation and digging machine]. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Engineering in agricultural production, industry engineering, automation*, 27, 140–149 [in Ukrainian].
2. Berkovich, I. I., Bolotov, A. N., & Morozova, Iu. I. (2012). *Teoreticheskie osnovy friktsionnogo vzaimodeistviia dispersnykh materialov s tverdoi poverkhnostiu* [The theoretical basis of the frictional interaction of dispersed materials with a solid surface]. Tver: TVGTU [In Russian].
3. Levin, S. V. (1964). *Mexanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow: Nedry [in Russian].
4. Sheludchenko, B. A. (1992). *Ahromekhanika gruntiv* [Soil Agromechanics]. Zhytomyr: Polissia [in Ukrainian].

5. Diakov, V. P. (2007). Mekhanika pochvy i reologiiia gruntov. Tochki soprikosnoveniia i razlichiiia [Soil mechanics and soil rheology. Points of contact and differences.]. *Dostizhenie nauki i tekhniki APK – Achievement of science and technology of agribusiness*, 7, 48–51 [in Russian].

6. Dvoruk, V. I., Borak, K. V. (2019). Research of the degree of fixation of abrasive particle in the soil. *Problems of Tribology*, 1, 67–72.

UDC 631.431

*Kostiantyn Borak*

## THE PROGNOSTICATION OF THE CHANGE IN SOILS ABRASIVE PROPERTIES TO ENSURE THE RELIABLE OPERATION OF WORKING BODIES

**Urgency of the research.** Studies of the change in soils abrasive properties and taking them into account when choosing the materials and the working organs operating regimes of the tillers which will allow to reduce the amortization intensity, is definitely an urgent issue.

**Target setting.** The agrarian production intensification sets conditions for tough requirements to wearability of the working organs of the tillers.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The existing models of soil environment regard soil as an ideal medium which does not change its characteristics in the long run and these models do not regard its abrasive properties.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There are no theoretical and experimental research concerning any change in soils abrasive properties in the process of self-organization.

**The research objective.** The purpose of the research is to develop a mathematical model of the change in soils abrasive properties in the process of self-organization.

**The statement of basic materials.** Consistency patterns of changes in soils abrasive properties in the process of self-organization can be described by a polynomial function of the second order. The coefficients of the given function were determined experimentally with due regards to the most meaningful factors.

**Conclusions.** The soil abrasive property increases in the process of self-organization. External factors (precipitation, ground pressure from applied forces) speed up the process of soil self-organization, that results in the increase in soils abrasive properties. External factors do not affect the consistency pattern of a more intensive process of soil medium self-organization at the beginning of its functioning. The developed mathematical models, with due regards to the external factors, will allow to prognosticate some change in soils abrasive properties. A less intensive wear-out of tillers' working organs can be achieved by a much earlier repeated soil tillage (after a mechanical distortion of soil structure) before the processes of increasing of soils abrasive properties as a result of soil self-organization occur.

**Keywords:** self-organization; soil; system; specific cohesion; degree of fixation; ground pressure; precipitation.

Fig.: 12. Table: 5. References: 6.

**Борак Костянтин Вікторович** – кандидат технічних наук, Житомирський агротехнічний коледж (вул. Покровська, 96, м. Житомир, 10031, Україна).

**Borak Kostiantyn** – PhD in Technical Science, Zhytomyr Agrarian and Technical College (96 Pokrovskaya Str., 10031 Zhytomyr, Ukraine).

**E-mail:** koss1983@meta.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5611-4707>

**ResearcherID:** G-6568-2016

Ірина Захарова, В'ячеслав Роянов

## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПУЛЬСАТОРА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПУЛЬСУЮЧОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ ПРИ ДУГОВІЙ МЕТАЛІЗАЦІЇ

**Актуальність теми дослідження.** У світовій практиці застосування понад 50 % займають металеві покриття, що наносяться методом електродугової металізації, яка має такі переваги: висока продуктивність, простота обладнання, низька енергоємність, можливість отримання покриттів з високими експлуатаційними властивостями за рахунок застосування недефіцитних і недорогих дротів промислового виробництва.

**Постановка проблеми.** При дуговому напиленні має місце інтенсивне окислення металу, який розпилюється киснем повітря, що призводить до значного вигорання легуючих елементів та значно знижує якість нанесеного покриття.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато робіт науковців спрямовано на вдосконалення конструкцій розпилювальних головок електродугових металізаторів, що передбачає вдосконалення конструкції повітряного сопла шляхом використання вставок і пристроїв, що забезпечують зміну в повітряно-розпилювальному потоці та призводить до значного удорожчання процесу.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відомі розпилювальні головки не суттєво знижують окисний вплив розпилювального повітря, не забезпечують ресурсозбереження за рахунок зменшення витрати розпилювального повітря і витрат електроенергії на його отримання.

Таким чином, **метою досліджень** є зниження окислення часток металу, при дуговій металізації для отримання покриттів із зазначеними властивостями та застосування ресурсозбереження.

**Виклад основного матеріалу.** З метою зниження окисного впливу повітряно-розпилювального струменя на рідкий метал електродів розроблений метод пульсуючої подачі повітря в зону плавлення електродів. У даній роботі представлено пристрій для створення пульсуючого розпилювального потоку повітря при електродуговому напиленні.

**Висновки відповідно до статті.** Показано, що при використанні різних перетинів клапана пульсатора для створення пульсуючого розпилювального потоку для дугової металізації, спостерігаються зміни в обсязі повітря та маси кисню розпилювального струменя в кілька разів.

**Ключові слова:** продуктивність; дугове напилення; пульсуючий струмінь; нанесення покриттів; міцність зчеплення.  
Рис.: 5. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Нині процеси газотермічного напилення знаходять дедалі більш широке використання для відновлення зношених деталей та придання різноманітних властивостей поверхням нових деталей. Використання дугової металізації також дозволяє відновлювати втрачені розміри деталей в результаті зношення при їх експлуатації. Для цього застосовуються матеріали з необхідним хімічним складом і відповідальний спосіб напилення.

У світовій практиці застосування понад 50 % займають металеві покриття, що наносяться методом електродугової металізації, яка має такі переваги: висока продуктивність, простота обладнання, низька енергоємність, можливість отримання покриттів із високими експлуатаційними властивостями за рахунок застосування недефіцитних і недорогих дротів промислового виробництва.

**Постановка проблеми.** У процесі електродугового напилення відбувається інтенсивна хімічна взаємодія розпилювального струменя повітря з матеріалом, що розпилюється, яке призводить до значного вигорання легуючих елементів [8–11]. Інтенсивність окислення збільшується зі збільшенням параметрів, таких як тиск стисненого повітря, відстань від сопла апарату до деталі, що чинить негативний вплив на механічні властивості покриттів та знижує їхню якість.

Ця проблема є однією з основних при дуговій металізації, її вирішенню приділяється значна увага науковців.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато робіт спрямовано на вдосконалення конструкцій розпилювальних головок електродугових металізаторів [2–6], виконаних у вигляді корпусу, в якому розташовується повітряно-розпилювальне сопло, забезпечується подача стисненого повітря шляхом використання вставок і пристроїв, що забезпечують зміну в повітряно-розпилювальному потоці, та приводить до значного удорожчання процесу. Відомі розпилювальні головки не суттєво знижують окисний вплив розпилювального повітря, не забезпечують ресурсозбереження за рахунок зменшення витрати розпилювального повітря і витрат електроенергії на її отримання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність науково-обґрунтованої економічної технології зниження впливу кисню з розпилювального струменя на рідкий метал торців електродів, що розплавляються, спонукало до розробки методу дугової металізації з використанням пульсуючого розпилювального потоку повітря та конструкції пристрою для забезпечення зниження вигорання легуючих елементів і поліпшення властивостей покриття. Раніше дослідження в цьому напрямі не відомі й потребують теоретичних і технологічних обґрунтувань щодо практичного використання методу.

Отже, **метою досліджень** є зниження окислення часток металу при дуговій металізації для отримання покриттів із зазначеними властивостями та застосування ресурсозбереження.

**Постановка завдання.** З метою зниження окисного впливу розпилювального струменя на рідкий метал торців електродів, що плавляться, пропонується використовувати пульсуючий розпилювальний струмінь повітря, який, за рахунок пульсацій визначеної частоти зменшить вплив кисню на розплавлений метал електродів [7]. Для вирішення поставленого завдання було розроблено відповідний пристрій [9].

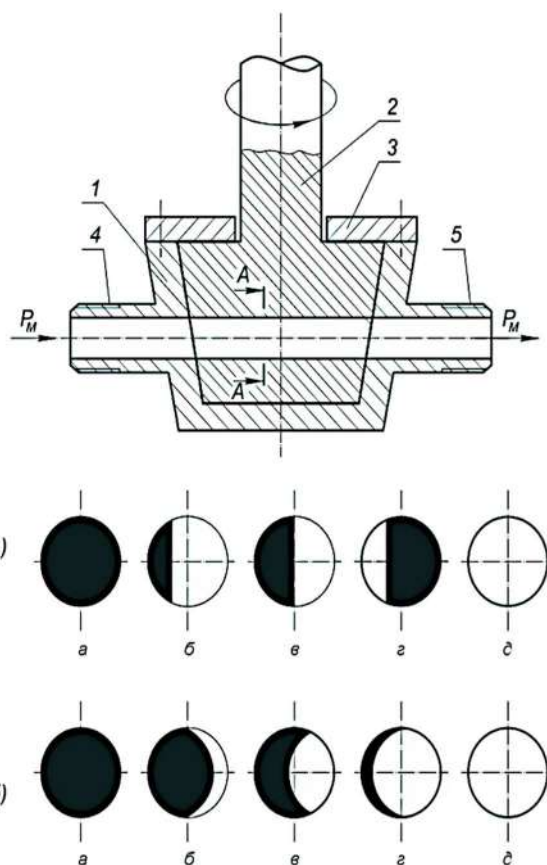
**Виклад основного матеріалу.** У роботі наведено обґрунтування конструкції цього пристрою. Пульсуючий пристрій являє собою циліндричний корпус із входним і вихідним патрубком для підведення і виведення стисненого повітря, всередині якого встановлено вал з отвором і можливістю обертання.

Застосування різного перетину прохідного отвору клапана пульсатора дозволяє змінювати і характер наростання імпульсу. При використанні круглого перетину (прототип) – імпульс має синусоїдальну форму. При використанні прямокутного перетину – імпульс має прямокутну форму наростання і падіння напору струменя. Загальним для синусоїдальної і прямокутної форм перекриття є наявність паузи в розпиленні, необхідної для утворення рідкого металу на торцях плавких електродів.

Однак прямокутна форма перетину прохідного отвору клапана пульсатора забезпечує більш різкий режим наростання і падіння напору струменя. Розроблений пристрій дозволяє отримати пульсуючий режим повітряно-розпилювального струменя з імпульсами прямокутної форми. При цьому оптимальний перетин прохідного отвору обертового клапана – прямокутник зі співвідношенням сторін  $h / b = 1,3 \dots 1,5$ .

Геометричні параметри робочого отвору клапана виражені певним співвідношенням.

Сутність запропонованого рішення та обґрунтування позитивного ефекту пояснюються кресленнями, на якому зображено схема принципу конструкції пульсатора (рис. 1), який складається з корпусу, кришки, входного та вихідного патрубків. А також вірогідні схеми перекриття каналу проходження повітря через клапан пульсатора.



*Рис. 1. Схема пульсатора з обертовим клапаном:*

*1 – корпус; 2 – шток; 3 – кришка; 4, 5 – патрубок;  
а – форма перетину прохідного отвору клапана пульсатора («коло-квадрат»);  
б – форма перетину прохідного отвору клапана пульсатора («коло-коло»)*

Площі перекриття для перетинів різної форми представлені на графіках (рис. 2, 3).

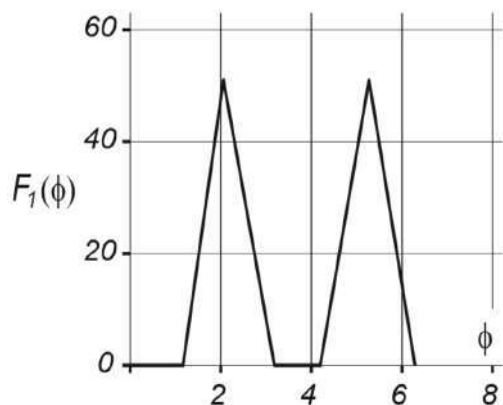


Рис. 2. Площа перекриття для перетину «коло-коло»

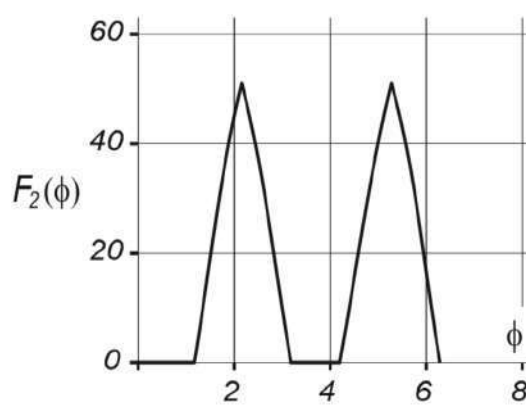


Рис. 3. Площа перекриття для перетину «коло-квадрат»

Для цих варіантів величина площі становила: перетин «коло-коло»  $P_1 = 92,04 \text{ мм}^2$ ; перетин «коло-квадрат»  $P_2 = 46,02 \text{ мм}^2$ .

Провівши аналіз, можна зробити висновок, що більша площа перекриття характерна для випадку «коло-коло», відповідно до змін площі перетину змінюється і витрата повітря, що, у свою чергу, збільшує продуктивності й ефективності використання матеріалу, який розпилюється.

Для реалізації способу дугового металізації з пульсуючим розпилювальним потоком з урахуванням проведених досліджень за основними показниками способу запропонована конструкція пульсатора для промислового виконання (рис. 4).

Конструкція пульсатора забезпечує стабільність отримання імпульсів потоку заданої частоти, за рахунок підшипників при фіксуванні клапана-пульсатора в корпусі. З'ємна кришка забезпечує мобільність клапана пульсатора за наявності зносу при тривалій роботі. Конструкція передбачає вільне обертання клапана пульсатора при наявності зависокого тиску (5-6 атмосфер) у системі подачі повітря.

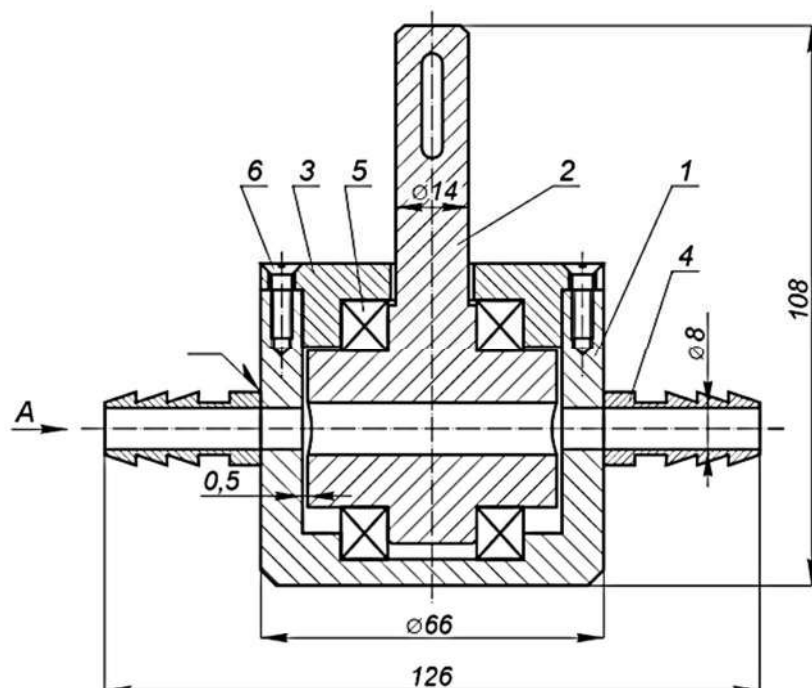


Рис. 4. Складальна схема клапана – пульсатора:  
1 – корпус; 2 – шток; 3 – кришка; 4 – патрубок; 5 – підшипник; 6 – гвинт

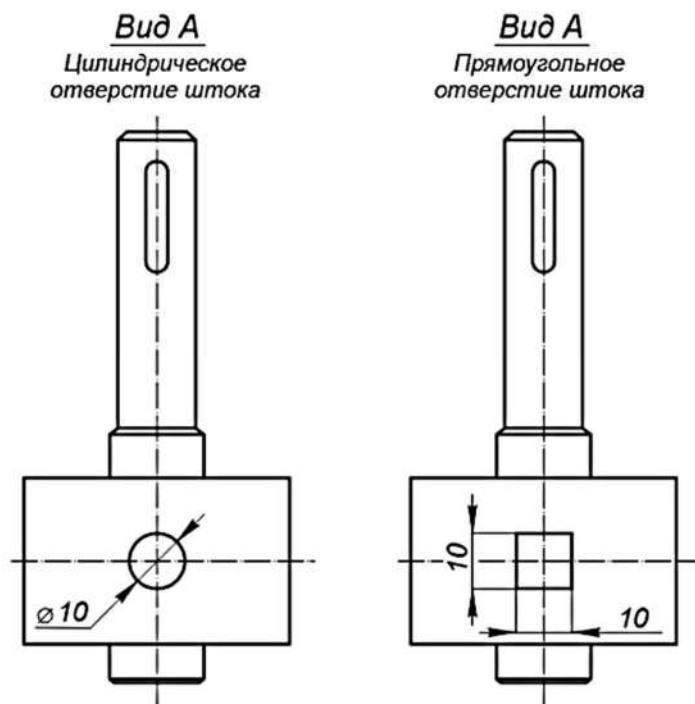


Рис. 4. Аркуш 2

Наявність клапана пульсатора у системі подачі повітря не впливає на проведення процесу дугової металізації проте зменшує потрібну кількість повітря.

Авторами було зроблено аналіз впливу частоти пульсацій потоку повітря на ряд показників, окремо на масу кисню, яка бере участь у процесі транспортування розплавлених часток металу електродів та представлені деякі результати у вигляді графіку (рис. 5) [7; 11].

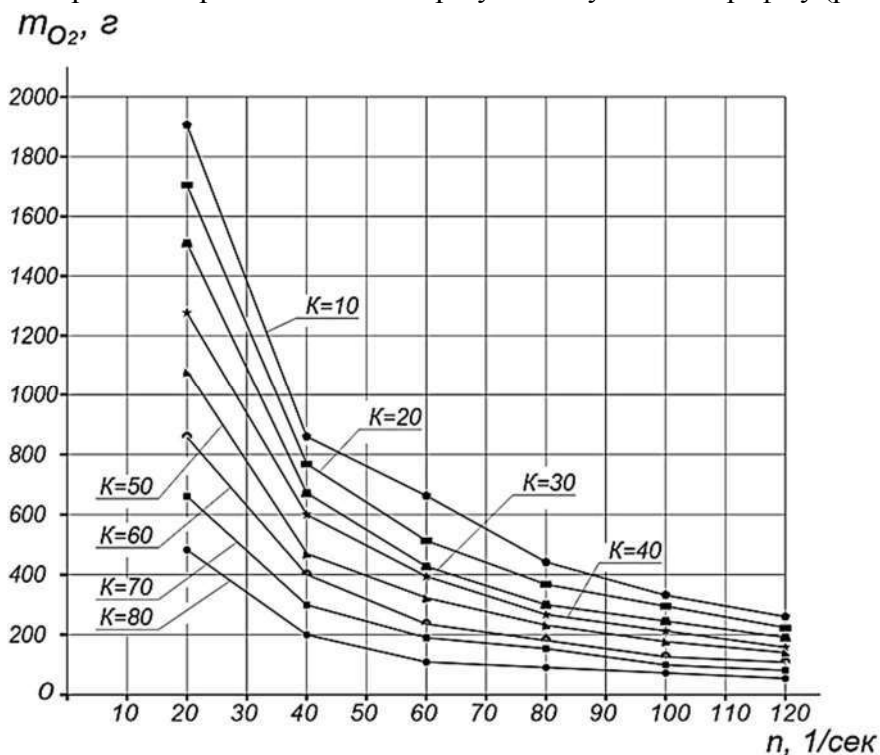


Рис. 5. Вплив частоти імпульсів пульсатора на величину маси кисню повітря, що проходить через сопло (для значень перекриття каналу сопла  $p = 80$ , протягом 60 с)

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

З рис. 5 можна побачити, що обсяг повітря і маса кисню розпилювального струменя знижується з ростом частоти пульсацій в кілька разів, а значить, також знижується його вплив на вигорання легуючих елементів у нанесеному покритті.

**Висновки відповідно до статті.** З метою вирішення проблеми зниження окислювального впливу на метал електродів, які розпилюються, запропоновано пульсуючу подачу повітряного розпилювального потоку при електродуговій металізації за рахунок введення додаткового елемента в розпилювальну головку металізатора.

Пульсуючий пристрій являє собою циліндричний корпус із вхідним і вихідним патрубком для підведення і виведення стисненого повітря, всередині якого встановлено вал з отвором і можливістю обертання.

Ефект пульсуючої подачі досягається за рахунок обертання валу з отвором періодично з'єднує вхідний і вихідний патрубок циліндра пульсатора.

Розроблений пристрій (пульсатор) встановлюється перед розпилювальною системою дугового металізатора, дозволяє значно скоротити витрати повітря і не становить незручності (перешкод) при виконанні процесу дугового напилення.

### Список використаних джерел

1. А.с. 1787049 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Распыляющая металлизационная головка / В. А. Роянов, Г. А. Мосиенко, В. П. Семенов, В. Я. Лавренов. № 990322; Заявл. 22.11.89; Опубл. 07.01.93, бюл. № 1.
2. А.с. 1727923 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Устройство для электродуговой металлизации / Ю. С. Борисов, А. Г. Ильенко, Е. А. Астахов, А. Л. Гайдаренко. № 1329835; Заявл. 26.06.89; Опубл. 23.04.92, бюл. № 15.
3. Тер-Даниэльян Б. И., Красниченко Л. В. Новая распылительная головка электродугового металлизатора. *Сварочное производство*. 1983. № 12. С. 30–32.
4. Войцеховский Е. В., Роянов В. А., Войцеховский Е. В. Некоторые газодинамические и технологические характеристики воздушно-распыляющих сопел электрометаллизационных аппаратов. *Сварочное производство*. 1977. № 12. С. 18–19.
5. Кравченко Л. В. Новая распылительная головка электродугового металлизатора. *Сварочное производство*. 1983. № 12. С. 30–32.
6. Роянов В. А., Бобиков В. И. Устройство для электродуговой металлизации с пульсирующим режимом истечения воздушно-распыляющей струи. *Сварочное производство*. 2015. № 4. С. 12–15.
7. Роянов В. А., Захарова И. В., Крючков Н. С. Снижение воздействия кислорода на жидкий металл при электродуговом напылении пульсирующей струей воздуха. *WorldScience*. 2019. № 5(45). Warsaw RS Global Sp.2.O.O.IndexCopernicus, academia.edu.
8. Roianov V., Zakharova I., Lavrova E. Development of properties of spray flow and nature of pressure distribution in electric arc metalization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6/5 (90). С. 41–49.
9. Роянов В. А., Захарова И. В., Крючков Н. Изучение влияния конструкций распыляющего устройства на качество напыленного слоя. *Университетская наука – 2017: Междун. науч.-техн. конф. (г. Мариуполь, 18-19 мая 2017 г.) / Приазовский государственный технический университет. Мариуполь: ГБУЗ «ПГТУ», 2017. Т. 2. С. 86–87.*
10. Захарова И. В., Роянов В. О., Крючков М. С. Вплив пульсуючого розпилювального потоку на ефективність використання електродів, при утворенні покриттів. *Topical issues of the development of modern science: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (Софія, Болгарія, 11-13 грудня)*. Софія, 2019. С. 88–94.
11. Захарова И. В., Роянов А. О., Крючков М. С. Вплив частоти пульсацій на міцність зчеплення покриття з основою. *The 16th International conference "Science and society" (December 27, 2019)*. Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada, 2019. P. 6–11.

### References

1. Roianov, V. A., Mosienko, G. A., Semenov, V. P., Lavrenov, V. Ia. (1993). *Raspyliaiuschaia metallizatsionnaia golovka [Spray head]*. A.s. 1787049 SSSR, MКИ V 05 V 7/22, № 990322 [in Russian].



2. Borisov, Iu. S., Ilenko, A. G., Astakhov E. A., Gaidarenko A. L. (23.04.92). *Ustroistvo dlia elektrodugovoi metallizatsii [Device for electric arc metallization]*. A.s. 1727923 SSSR, MKI V 05 V 7/22. № 1329835 [in Russian].
3. Ter-Danielian, B. I., Krasnichenko, L. V. (1983). Novaia raspylitelnaia golovka elektrodugovogo metallizatora [New spray head of the electric arc metallizer]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 12, 30–32 [in Russian].
4. Roianov, V. A., Voitcekhovskii, E. V. (1977). Nekotorye gazodinamicheskie i tekhnologicheskie kharakteristiki vozdušno-raspyliaiushchikh sopel elektrometallizatsionnykh apparatov [Some gas-dynamic and technological characteristics of air-spraying nozzles of electrometallization apparatuses] *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 12, 18–19 [in Russian].
5. Kravchenko, L. V. (1983). Novaia raspylitelnaia golovka elektrodugovogo metallizatora [New spray head of the electric arc metallizer]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 12, 30–32 [in Russian].
6. Roianov, V. A., Bobikov, V. I. (2015). Ustroistvo dlia elektrodugovoi metallizatsii s pulsiruiushchim rezhimom istecheniia vozdušno-raspyliaiushchei strui [A device for electric arc metallization with a pulsating regime of the expiration of the air-spray jet]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 4, 12–15 [in Russian].
7. Roianov, V. A., Zakharova, I. V., Kriuchkov, N. S. (2019). Snizhenie vozdeistviia kisloroda na zhidkii metall pri elektrodugovom napylenii pulsiruiushchei strui vozdukha [Reducing the effect of oxygen on liquid metal during electric arc spraying with a pulsating air stream]. *WorldScience*, 5(45), Warsaw RS Global Sp.2.O.O.IndexCopernicus, academia.edu [in Russian].
8. Roianov V., Zakharova I., Lavrova E.. [2017] Development of properties of spray flow and nature of pressure distribution in electric arc metalization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/5 (90), 41–49 [in English].
9. Roianov, V. A., Zakharova, I. V., Kriuchkov, N. (2017). Izuchenie vliianiia konstruktsii raspyliaiushchego ustroistva na kachestvo napylenogo sloia [Studying the influence of spray device designs on the quality of the sprayed layer]. Proceeding from *Universitetskaia nauka – 2017: Mezhdun. nauch.-tekhn. konf. – University Science – 2017: Int. scientific and technical Conf. (Mariupol, May 18-19, 2017)* (Vol. 2, pp. 86-87). Mariupol: State Higher Educational Institution “PSTU” [in Russian].
10. Zakharova, I. V., Roianov, V. O., Kriuchkov, M. S. (2019). Vpliv pulsuiuchogo rozpiliuvalnogo potoku na effektivnist vikoristannia elektrodov, pri utvorenni pokryttiv. [Introducing a pulsating rospiliuvial flow to the efficiency of the electrical circuits, with the approved coverage]. Proceeding from *IV Mizhnarodna naukovopraktichna konferentsiia «Topical issues of the development of modern science» – Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Topical issues of the development of modern science»* (Sofia, Bulgaria, December 11-13) (pp. 88–94). Sofia [in Ukrainain].
11. Zakharova, I. V., Roianov, A. O., Kriuchkov, M. S. (2019). Vpliv chastoti pulsatsii na mitenist zchepлення pokryttia z osnovoiu. [Influence of the frequency of ripples on the strength of adhesion of the coating to the substrate]. *The 16th International conference «Science and society» (December 27)* (pp. 6–11). Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada [in Ukrainain].

UDC 621.798.927

*Irina Zakharova, Vyacheslav Royanov*

## **OBJECTIVE REASONING OF PULSATOR DESIGN FEATURES FOR THE PROVISION OF PULSATING SPRAYING AIR FLOW DURING ARC METALLIZATION**

**Relevance of the topic of study.** In global practice, more than 50 % of the metal coatings are applied by the method of electric arc metallization, which has the following advantages: high productivity, ease of use of equipment, low power consumption, the ability to obtain coatings with high-performance properties through the use of non-deficient and inexpensive wires industrial production.

**Problem setting.** During arc spraying, intensive oxidation of the metal, which is sprayed by ambient oxygen, takes place, which leads to significant burnout of alloying elements and significantly reduces the quality of the applied coating.

**Analysis of recent studies and publications.** A number of scientific works are aimed at improving the design of spray heads of electric arc metallizers, which involves improving the design of the air nozzle through the use of inserts and devices that provide a change in the air-spraying flow, and leads to a significant increase in the cost of the process.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Identification of previously unexplored parts of the general problem.** Conventional spray heads do not significantly reduce the oxidative effect of spraying air and do not provide resource saving by reducing the consumption of spraying air and electricity consumption for its production.

Thus, **the purpose of the research** is to reduce the oxidation of metal particles during arc metallization to obtain coatings with mentioned properties and to achieve resources saving.

**The statement of basic materials.** In order to reduce the oxidative effect of air-spraying jet on the liquid metal of electrodes, the method of pulsating air supply to the electrode melting zone is developed. This study presents the device for the creation of a pulsating spraying airstream at electrode spraying.

**The article's summary.** It is shown that changes by several times in the air volume and oxygen mass of the spray stream are observed when using different cross-sections of the pulsator valve to create a pulsating spray stream for arc metallization.

**Keywords:** productivity; arc spraying; pulsating jet; coating; adhesion strength.

Fig.: 5. References: 11.

**Захарова Ірина В'ячеславівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Автоматизація та механізація зварювального виробництва», ЗВО Приазовський державний технічний університет (вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна).

**Zakharova Irina** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Automation and Mechanization of Welding Production, State Higher Educational Institution «Priazovskiy State Technical University» (7 Universytetska Str., 87555 Mariupol, Ukraine).

**E-mail:** Zsv-73@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3492-0134>

**Роянов В'ячеслав Олександрович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Автоматизація та механізація зварювального виробництва», Почесний професор ДГМА, почесний громадянин міста Маріуполь, ЗВО Приазовський державний технічний університет (вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна).

**Royanov Vyacheslav** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Automation and Mechanization of Welding Production, Honorary professor of DGMA, honorary citizen of the city of Mariupol, State Higher Educational Institution «Priazovskiy State Technical University» (7 Universytetska Str., 87555 Mariupol, Ukraine).

**E-mail:** rva-41@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5379-9096>

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-72-80

*Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Володимир Венжега, Володимир Винник*

## МОДЕРНІЗАЦІЯ УНІВЕРСАЛЬНО-ЗАТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК В3208Ф3 ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Технологія високошвидкісного фрезерування є однією з найбільш сучасних і ефективних альтернатив класичним методам обробки, що значно відрізняється якістю і швидкістю обробки, а також можливістю виготовлення виробів із важкооброблюваних матеріалів.

**Постановка проблеми.** Швидкісне фрезерування переважно реалізується за допомогою багатокоординатних верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), проте стійкий процес різання неможливо забезпечити на наявному обладнанні без модернізації системи ЧПК, приводу головного руху, який би забезпечував необхідну швидкість різання та використання спеціального інструменту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основними вимогами до системи ЧПК при високошвидкісній обробці є її швидкодія, можливість забезпечення гладких траєкторій руху інструменту для рівномірного навантаження на нього без численних врізань і виходів. Використання ефективного змащувально-охолоджувального середовища (ЗОТС) зменшує пружні віджимання в технологічній системі при її фіксованій жорсткості.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Впровадження високошвидкісного фрезерування на верстатах із ЧПК стримується відсутністю практичних рекомендацій і потребує додаткових досліджень, зокрема жорсткості верстата.

**Постановка завдання.** Дослідити можливість модернізації універсально-заточувального верстата з ЧПК моделі В3208Ф3 з метою розширення його технологічних можливостей для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання дисковою фрезою, оснащеною різальними елементами з кубічного нітриду бору.

**Виклад основного матеріалу.** Високошвидкісне фрезерування – сучасний високотехнологічний метод обробки, що дозволяє отримувати найменші перетини зрізу металу при використанні високих швидкостей знімання. Сутність цієї технології полягає у використанні певного діапазону швидкостей різального інструменту, що веде до істотного зниження опору матеріалу при його обробці, чим забезпечується обробка важкооброблюваних матеріалів. Особливістю такої технології є те, що тепло, яке виділяється при обробці, практично повністю зосереджено в стружці і не перебуває тривалий час у зоні обробки, через що фреза й деталь мало схильні до термічного впливу.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі досліджено технологічні можливості універсально-заточувального верстата з ЧПК моделі В3208Ф3 з метою його використання для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання дисковою фрезою, оснащеною різальними елементами із кубічного нітриду бору та обґрунтовано модернізацію його системи ЧПК та вузлів.

**Ключові слова:** високошвидкісне фрезерування; фрези з різальними елементами з надтвердих матеріалів; точність обробки; продуктивність обробки.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Нині значну роль у підвищенні ефективності виробництва мають методи високошвидкісної обробки, серед них і високошвидкісне фрезерування, які належать до прогресивних технологій. Їхня роль дуже важлива при виробництві в машинобудуванні та інших галузях, що визначають науково-технічний прогрес, тому що вони забезпечують високу точність та якість оброблених поверхонь і значно скорочують час на виготовлення виробів.

**Постановка проблеми.** При роботах на великих робочих подачах і високій швидкості різання, якими характеризується високошвидкісне фрезерування, необхідно забезпечити стійкий процес різання, що є неможливим на наявному стандартному обладнанні без його модернізації. Для реалізації методу високошвидкісної обробки на універсально-заточувальному верстаті з ЧПК моделі В3208Ф3, що має базову систему ЧПК 2С42, яка морально та фізично застаріла, потрібно провести її заміну, дослідити можливості верстата, вдосконалити деякі існуючі вузли та підібрати інструмент.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] проаналізовано перспективні напрями підвищення продуктивності обробки різанням, з'ясовано, що головний ефект високошвидкісної обробки полягає в підвищенні якості обробки й можливості ефективного використання сучасних верстатів із ЧПК. Підвищення швидкості різання за рахунок використання більш ефективного ЗОТС пов'язано зі зменшенням сил різання при точінні та розточуванні. Це, у свою чергу, призводить до зменшення пружних

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

відтискань у технологічній системі при фіксованій її жорсткості. Тобто перетворення ресурсу стійкості різального інструменту в ресурс збільшення швидкості різання одночасно приводить до збільшення точності обробки за виконаним розміром.

У роботі [2] розглядалось питання про введення коефіцієнта технологічної ефективності, яким враховувалось можливе збільшення швидкості різання. Проте в цій роботі доведено, що підвищення стійкості самого інструменту не дає значного приросту швидкості різання. Обґрунтовано технологічні переваги методів високошвидкісної обробки та застосування високошвидкісних інструментальних шпинделів.

У [3] підвищення ефективності технології фінішної обробки деталей пар тертя поршневих насосів пропонується за рахунок високошвидкісної обробки.

У [4] обробку довгомірних валів пропонується реалізувати за способом фрезоточіння. Як різальний інструмент застосовується фреза дискового типу, оснащена різальними елементами з надтвердих матеріалів (НТМ) цільної або збірної конструкції. У цьому випадку фрезоточіння має такі переваги:

- чистовий різець обробляє заготовку з точністю до 8-го квалітету і шорсткістю  $R_a$  до 1,6...3,2 мкм, фрезоточіння дозволяє поліпшити обидва параметри на 1-2 класи, оскільки на відміну від різця фреза має кілька різальних крайок, а значить більший ресурс стійкості;

- при точінні на різець будуть діяти великі навантаження, для усунення яких доводиться знижувати подачу, зменшуючи продуктивність, а фреза здатна працювати в умовах високих навантажень при великій подачі;

- при обробці різцем для дроблення стружки доводиться використовувати стружколоми, при обробці ж фрезою стружка знімається кожним зубом фрези і дробиться на окремі частинки;

- можлива обробка на токарних верстатах заготовок із наявністю твердої кірки (поковок, виливок), а також важкооброблюваних матеріалів, оскільки зуб фрези в цьому випадку буде плавно різати під кірку, що допомагає істотно знизити знос фрези та збільшити її стійкість;

- фрези, оснащені НТМ, можуть замінити операцію шліфування, забезпечуючи розмірну стійкість, оскільки на відміну від шліфувального круга не мають процесу викришення.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність рекомендацій і технологічних досліджень з високошвидкісного різання матеріалів стримує розвиток цього прогресивного напрямку на верстатах із ЧПК.

**Метою цієї роботи** є дослідження технологічних можливостей універсально-заточувального напівавтомата з ЧПК моделі В3208Ф3 для високошвидкісного фрезерування з використанням інструментів, оснащених надтвердими матеріалами.

**Виклад основного матеріалу.** Універсально-заточувальний напівавтомат з ЧПК моделі В3208Ф3 у базовій комплектації призначений для заточування і доведення циліндричних інструментів по переднім і заднім поверхням, розташованих на периферії і торцю, шліфувальними кругами в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва.

Він складається з таких основних частин: станини 1; столу 2; каретки з колоною 3; механізмів поперечної 4, поздовжньої 5 та вертикальної 6 подачі; шліфувальної бабки 7; бабки виробу 8. Керування забезпечується системою ЧПК 2С42, за чотирма координатами (за трьома одночасно). Кінематична схема верстата наведена на рис. 1.

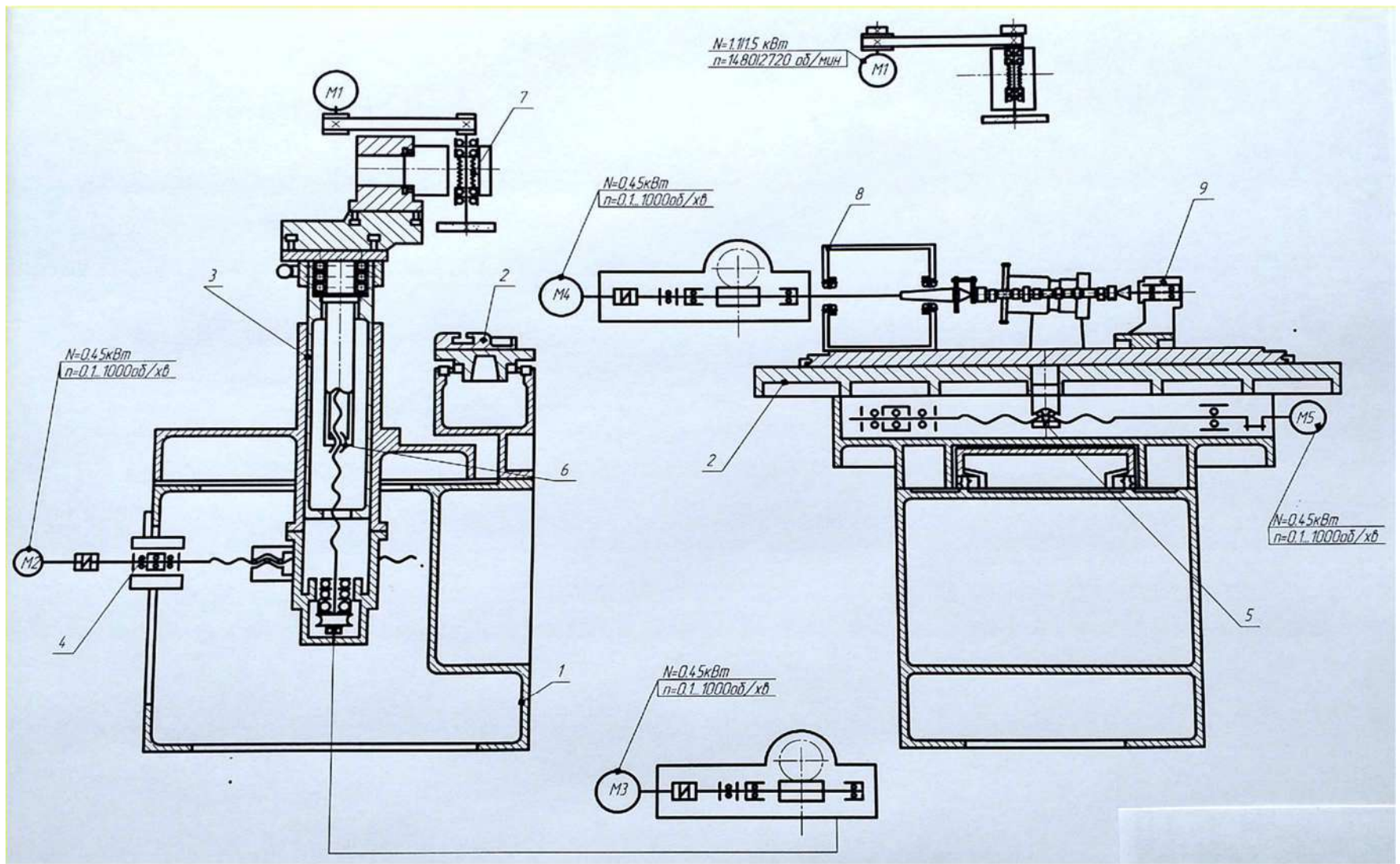


Рис. 1. Кінематична схема верстата В3 208Ф3

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Конструкція верстата забезпечує такі переміщення робочих органів:

- обертання шліфувального круга;
- вертикальне переміщення шліфувальної головки;
- поперечне переміщення шліфувальної головки;
- поздовжнє переміщення столу;
- обертання виробу.

Обертання шпинделя здійснюється від електродвигуна М1 через поліклінову передачу зі змінними шківками. Вертикальне переміщення шліфувальної бабки – від електродвигуна М3 через черв'ячну передачу на передачу гвинт-гайка б. Поперечне переміщення каретки і поздовжнє переміщення столу відбувається завдяки приводам з двигунами М2 і М5, що передають обертання на передачу гвинт-гайка кочення прямо через з'єднувальні муфти. Обертання виробу здійснюється від електродвигуна М4 через черв'ячну передачу.

Випробування верстата на відповідність нормам точності по ТУ2 5544518.112-86 показали наступні результати:

- радіальне биття конічного отвору шліфувального шпинделя – 2 мкм при допуску 3 мкм;
- осьове биття шліфувального шпинделя 2 мкм при допуску 3 мкм;
- неперпендикулярність поперечного переміщення шліфувальної головки поздовжньому переміщенню стола 15 мкм (допуск 20 мкм);
- неперпендикулярність вертикального переміщення шліфувальної головки до робочої поверхні стола в напрямку поздовжнього переміщення стола й поперечного переміщення шліфувальної головки – 15 мкм при допуску 20 мкм;
- одновисотність розташування осі шліфувального шпинделя відносно робочої поверхні стола при повороті шліфувальної головки навколо вертикальної осі 35 мкм при допуску 45 мкм;
- дискретність переміщення за координатами X, Y, Z становить 0,001 мм і кутового переміщення шпинделя виробу – 0,001 град.

Високошвидкісне фрезерування (ВФ) – сучасний високотехнологічний метод обробки, що дозволяє отримувати найменший перетин зрізу металу при використанні високих швидкостей знімання. Сутність цієї технології полягає у використанні певного діапазону швидкостей різального інструменту, що веде до істотного зниження опору матеріалу при його обробці. Особливістю такої технології є те, що тепло, що виділяється при обробці, практично, повністю зосереджено в стружці й не перебуває тривалий час в зоні обробки, через що фреза і деталь, практично, не схильні до термічного впливу.

При звичайній обробці зі збільшенням швидкості різання і зменшенням товщини стружки безперервно підвищується температура оброблюваної заготовки, стружки й інструменту. Але якщо підвищити швидкість подачі в 5-10 разів, як це має місце при високошвидкісному фрезеруванні, то температура інструменту підвищується незначно. Причина цього полягає в тому, що швидкість подачі перевищує швидкість теплопровідності оброблюваного різанням основного матеріалу. Фреза «випереджає» поширення тепла. Тим самим тепло, що утворюється в зоні контакту, в основний метал заготовки і фрези переважно не попадає, а основна доля тепла від різання відводиться зі стружкою. Завдяки цьому значно збільшується стійкість інструменту. Дослідження японських фахівців показали, що під час високошвидкісної обробки (ВШ) 75 % тепла відводиться із стружкою, 20 % – через інструмент і 5 % – через оброблювану деталь. Деталь у процесі різання нагрівається незначно, що позитивно впливає на точність обробки. Ця особливість дозволяє використовувати високошвидкісне фрезерування для обробки загартованих конструкційних сталей, не боячись при цьому їх термічного відпуску.



Також з'являється можливість обробляти дюралюмінієві сплави без їх термічного розміцнення. При обробці алюмінієвих сплавів зменшення сил різання має місце при швидкості близько 700 м/хв, а найбільш ефективним є діапазон від 1400 до 1600 м/хв. У деяких випадках швидкість оптимальної обробки може досягати 8000 м/хв і більше.

Істотні переваги можуть бути досягнуті за допомогою високошвидкісного фрезерування виробів з важкооброблюваних матеріалів.

Такі швидкості різання на цьому верстаті можуть бути забезпечені приводом головного руху з двигуном М1, що має дві частоти обертання 1480 і 2720 об/хв, через поліклинову передачу зі змінними шківками.

З появою надтвердих матеріалів (НТМ) можливості високошвидкісної обробки значно розширилися. При порівнянні швидкостей різання фрезами, оснащеними композитом і твердим сплавом очевидна перевага композитів перед твердими сплавами при рекомендованих для композитів перетинах зрізу. Фрезерування чавунів і сталей інструментом із композиту принципово відрізняється від обробки твердосплавними фрезами: при обробці інструментами, оснащеними композитами, швидкість різання сталей в 4-8 разів, а чавунів в 10-30 разів вище; подача на зуб відповідно в 2-5 разів, а сили різання в 2-4 рази менше, питома витрата електроенергії на деталь залишається незмінною, відхилення від площинності й параметр шорсткості обробленої поверхні на 2-4 класи нижчий; відсутній наклеп, продуктивність в 1,5...3 рази вища.

Як різальний інструмент можна запропонувати дискові фрези з різальними елементами із надтвердих матеріалів (рис. 2).

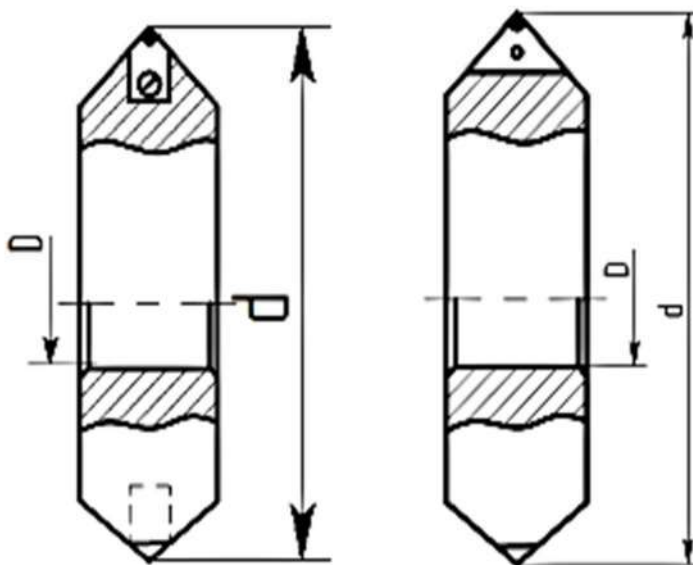


Рис. 2. Інструмент для швидкісного фрезерування

Через великий об'єм зрізаного при високошвидкісному фрезеруванні матеріалу, слід застосовувати фрези з невеликою кількістю зубців, що дозволяє стружці вільно розташовуватися між зубцями. Також бажано застосування фрез і різальних пластин із великими кутами передньої заточки, які створені спеціально для високошвидкісної обробки.

Ефективність фрез, оснащених НТМ на основі алмазу й нітриду бору найбільшою мірою проявляється на багатокординатних верстатах, оснащених сучасними системами керування, оскільки вони дозволяють реалізувати режими різання, близькі до оптимальних для інструменту з НТМ, і тим самим забезпечити продуктивність обробки, відповідну отриманню найбільшого економічного ефекту та плавний вхід і вихід інструменту на знижених подачах, чим підвищується надійність процесу.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Встановлено, що найбільша техніко-економічна ефективність застосування інструменту з НТМ досягається при його експлуатації в оптимальних умовах, які характеризуються високими швидкістю різання, жорсткістю і вібростійкістю верстата й системи верстат-приспособування-інструмент-заготовка, стабільністю розмірів і фізико-механічних характеристик заготовок. Вимога високих жорсткості й вібростійкості обладнання і всієї системи верстат-приспособування-інструмент-деталь обумовлено не тільки тим, що інструмент з НТМ застосовують здебільшого для виготовлення деталей із високою точністю і низькою шорсткістю, але й дуже істотною залежністю стійкості ріжучого інструменту з НТМ від згаданих характеристик верстата. Велике значення мають жорсткість верстата, рівномірність обертання шпинделя і руху подачі, а також кінематична точність обертання шпинделя. Важливим фактором є не тільки жорсткість самого шпинделя і механізму його кріплення, а й загальна жорсткість верстата. Експериментальні дослідження показали, що при торцевому фрезеруванні жорсткість привода верстата впливає на опір викришування різальних крайок, у той час як загальна жорсткість верстата впливає на знос різальних інструментів. Тому проведемо перевірку напівавтомата ВЗ208 ФЗ на жорсткість.

1. Відносне переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки, і столу під радіальним навантаженням за схемою рис. 3. Відповідно до схеми фреза навантажується силою  $P = 137$  Н, діючою у вертикальній площині під кутом  $20^\circ$  до вертикальної осі фрези. Стіл попередньо закріплюється зведенням упорів. Переміщення фрези вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Навантаження проводиться 3 рази, причому точка прикладення сили  $P$  зміщується по колу приблизно на  $120^\circ$ . Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 14 мкм при допустимому значенні 18 мкм.

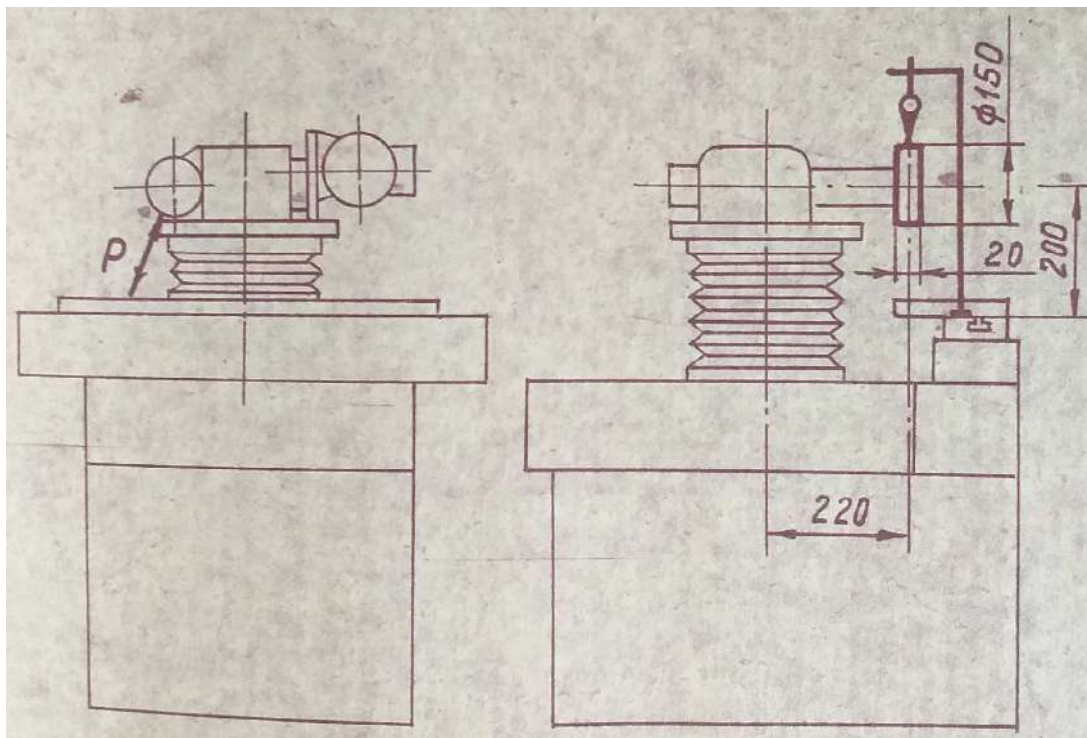


Рис. 3. Схема перевірки відносного переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки під навантаженням

2. Відносне переміщення фрези, закріпленої в шпинделі шліфувальної бабки і столу під дією осьового навантаження за схемою рис. 4.



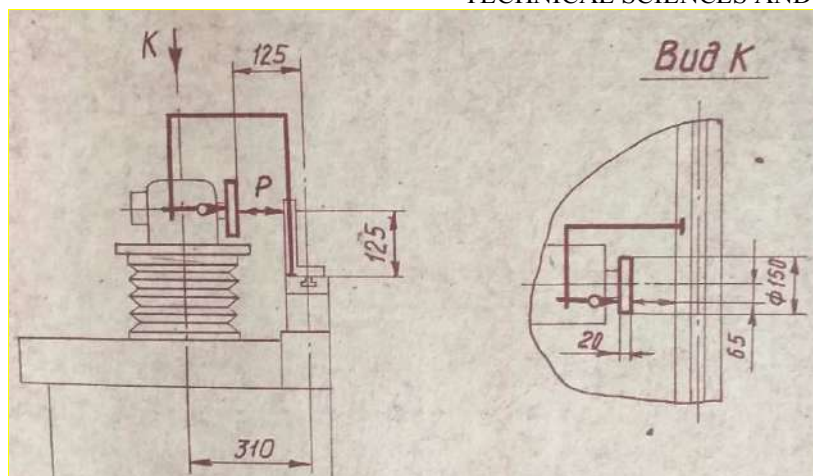


Рис. 4. Схема перевірки осьового переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки під навантаженням

Відповідно до схеми (рис. 4) фреза навантажується силою  $P = 137$  Н, діючою у напрямку осі шпинделя на радіусі 65 мм. Стіл попередньо закріплюється зведенням упорів. Переміщення фрези вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм, закріпленим на столі напівавтомата. Навантаження проводиться 3 рази, причому точка прикладення сили  $P$  зміщується по колу приблизно на  $120^\circ$ . Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 30 мкм при допустимому значенні 35 мкм.

3. Відносне переміщення шпинделя шліфувальної голівки і шпинделя бабки виробу за схемою рис. 5.

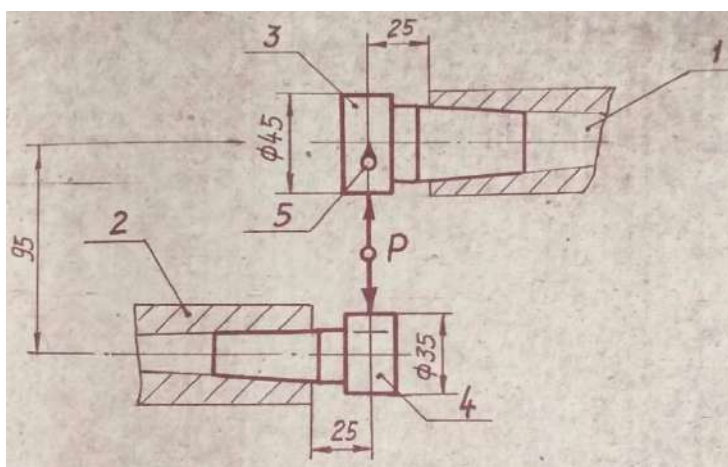


Рис. 5. Схема перевірки відносного переміщення шпинделя шліфувальної головки і шпинделя бабки виробу

У конус шпинделя шліфувальної головки 1 замість фрези закріплюється оправка 3. В отвір шпинделя бабки виробу 2 встановлюють оправку 4 з навантажувальним пристроєм. За допомогою ексцентричної плити шліфувальну бабку зміщують у крайнє ліве положення. Бабку встановлюють на верстаті таким чином, що торець оправки 4 знаходився на відстані 100 мм від центру столу. Стіл, шліфувальна бабка і бабка виробу установлюється в нульове положення і закріплюється. Перед кожним виміром шпиндель шліфувальної головки повертають, а стіл і шліфувальну бабку установлюють так, щоб їх взаємне положення відповідало кресленню. Останнє перед виміром переміщення шліфувальної бабки повинно бути тільки в сторону столу. Між шпинделем шліфувальної бабки і бабки виробу створюється плавно зростаюча до 137 Н сила  $P$ , направлена по лінії, що з'єднує шпинделі. Сила  $P$  заміряється динамометром. Одночасно в тому ж напрямку за допомо-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

гою індикатора годинникового типу вимірюється переміщення шпинделя шліфувальної головки відносно шпинделя бабки виробу. Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 40 мкм при допусковому значенні 45 мкм.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі проведені дослідження точнісних та жорсткісних характеристик універсально-заточувального верстата моделі В3208Ф3 з базовою системою ЧПК 2С42 з метою використання його для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання. Обґрунтовано та запропоновано рішення з переобладнання системи ЧПК сучасною від персонального комп'ютера, окремих вузлів приводу головного руху, використання як інструмента дискових фрез, оснащених різальними пластинами із кубічного нітриду бору.

**Список використаних джерел**

1. Левченко Я. К., Маршуба В. П. Умови ефективного застосування високошвидкісної обробки. *Машинобудування*. 2012. № 9. С. 52–60.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / под общ. ред. Ф. В. Новикова, А. В. Якимова: в 10 т. Т. 2. «Теплофизика резания материалов». Одесса: ОНПУ, 2003. 625 с.
3. Новиков Ф. В., Яценко С. М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов. *13-я Международная научно-техническая конференция «Физические и компьютерные технологи»*. Харьков: ХНПК «ФЭД». 2007. С. 8–20.
4. Гречишников В.А., Приходько А.С., Романов В.Б. Фрезы, оснащенные СТМ для обработки тел вращения сложной формы на токарном станке. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. № 08. Ч. 2. С. 69–74.
5. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. Москва: Машиностроение. 1976. 178 с.
6. Кауппінен В., Паро Дж. Високошвидкісне фрезерування - кілька прикладів. *Дослідження та розробки в механічній промисловості: матеріали пленарної доповіді III Міжнародної конференції. Герцег-Нові, Сербія і Чорногорія, 2003*. С. 19–23.
7. Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А., Ипполитов Г. М. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: справочник. Москва: Машиностроение, 1987. 320 с.

**References**

1. Levchenko, Ya. K., Marshuba, V. P. (2012). Umovy efektyvnoho zastosuvannya vysokoshvydkisnoyi obrobky [Conditions for effective application of high-speed processing]. *Mashynobuduvannya – Engineering*, 9, 52–60 [in Ukrainian].
2. Novikov, F. V., Yakimov, A. V. (2003). *Fiziko-matematicheskaia teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniia [Physical and mathematical theory of material processing processes and engineering technology]*. (Vol. 2 “Thermophysics of cutting materials”). Odessa: ONPU [in Russian].
3. Novikov, F. V., Yatsenko, S. M. (2007). Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoi obrabotki detalei par treniia porshnevykh nasosov [Improving the efficiency of the technology of finishing processing of friction pair parts of piston pumps]. Proceeding from *13-ia Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia «Fizicheskie i kompiuternye tekhnologii» – 13th International Scientific and Technical Conference “Physical and Computer Technologists”* (pp. 8–20). Kharkov: KHNPК “FED” [in Russian].
4. Grechishnikov, V. A., Prikhodko, A. S., Romanov, V. B. (2017). Frezy, osnashchennyye STM dlya obrabotki tel vrashcheniya slozhnoy formy na tokarnom stanke [Milling cutters equipped with STM for machining bodies of revolution of complex shape on a lathe]. *Izvestiia Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskii nauki – Bulletin of Tula State University. Technical science*, 08 (2), 69–74 [in Russian].
5. Makarov, A. D. (1976). *Optimizatsiia protsessov rezaniia [Optimization of cutting processes]*. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].
6. Kauppinen, V., Paro, Dzh. (2003). Vysokoshvydkisne frezeruvannya – kilka prykladiv [High-speed milling – some examples]. Proceeding from *Doslidzhennya ta rozrobky v mekhanichnii promyslovosti: materialy plenarnoyi dopovidi III mizhnarodnoyi konferentsiyi – Proceedings of the Plenary Report of the Third International Conference* (pp. 19–23). Hertseh-Novi, Serbiia i Chornohoriia [in Ukrainian].
7. Zhed, V. P., Borovskiy, G. V., Muzykant, Ya. A., Ippolitov, G. M. (1987). *Rezhushchiye instrumenty, osnashchennyye sverkhтвердыми i keramicheskimi materialami i ikh primeneniye: spravochnik [Cutting tools equipped with superhard and ceramic materials and their application: a reference book]*. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].

UDC 621.923.42

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Volodymyr Vinnik

**MODERNIZATION OF THE UNIVERSAL-BINDING MACHINE WITH CHPC VZ208F3 WITH THE PURPOSE OF EXTENSION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR HIGH-SPEED FRESH MACHINE**

**Urgency of the research.** High-speed milling technology is one of the most up-to-date and effective alternatives to classic machining methods, which is significantly different in quality and speed of machining, as well as the ability to manufacture products from difficult-to-process materials.

**Target setting.** High-speed milling is predominantly implemented using multi-coordinate numerically controlled numerical control (CNC) machines, but a steady cutting process cannot be ensured on existing equipment without upgrading the CNC system, the main movement drive, which would provide the required cutting speed and use of a special tool.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The main requirements for the CNC system for high-speed machining is its speed, the ability to provide smooth trajectories of the tool for uniform load on it without numerous cuts and outputs. The use of an effective lubricant-cooling medium reduces elastic pressures in the process system with its fixed rigidity.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The introduction of high-speed milling on CNC machines is constrained by the lack of practical recommendations and requires additional research, in particular the rigidity of the machine.

**The purpose of the article.** Investigate the possibility of modernization of the universal grinding machine of the CNC model VZ208F3 in order to expand its technological capabilities for high-speed milling of the surfaces of rotation by a circular milling cutter equipped with cutting elements from cubic boron nitride.

**The presentation of the main material.** High-speed milling is a state-of-the-art, high-tech machining method that allows you to obtain the smallest cross-section of a metal slice when using high speeds of removal. The essence of this technology is to use a certain range of speeds of the cutting tool, which leads to a significant reduction in the resistance of the material during its processing, which ensures the processing of difficult materials. A feature of this technology is that the heat released during machining is practically completely concentrated in the chips and does not stay in the machining zone for a long time, making the milling cutter and the workpiece virtually unaffected by heat.

**Conclusions and suggestions.** The technological possibilities of the universal sharpening machine from the CNC of the VZ208F3 model with the purpose of its use for high-speed milling of surfaces of rotation by a disk milling cutter, equipped with cutting elements from cubic boron nitride and substantiation of its systems are substantiated.

**Keywords:** high-speed milling; milling cutters made of ultra-hard materials; precision machining; machining performance. Fig.: 5. References: 7.

**Кальченко Віталій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kalchenko Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kalchenkovi@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

**ResearcherID:** G-9477-2014

**Кальченко Володимир Віталійович** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kalchenko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vvkalchenko74@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

**ResearcherID:** G-6752-2014

**Венжега Володимир Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Venzhega Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vivenzhega@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

**ResearcherID:** H-3560-2014

**Винник Володимир Олександрович** – аспірант, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Vinnik Volodymyr** – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** itmia@ukr.net

Олександр Литвин, Сергій Паньков

## РОБОТИЗОВАНІ МАНІПУЛЯТОРИ ОСОБЛИВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Дослідження дистанційно керованих маніпуляційних роботів особливого призначення є досить актуальним на сьогодні, оскільки вони використовуються для виконання робіт у недоступних або небезпечних для здоров'я людини умовах.

**Постановка проблеми.** Вивченню та дослідженню роботизованих маніпуляторів особливого призначення приділено недостатньої уваги. Тому дослідження роботизованих пристроїв особливого призначення дозволить вдосконалити системи з урахуванням їхніх особливостей, що забезпечить більш швидке їх пристосування до виконання робіт у недоступних або небезпечних для здоров'я людини умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз показав, що науковцями широко досліджуються промислові роботи, водночас вивченню сервісної робототехніки приділено меншої уваги.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Одним з основних недоліків наявних класифікацій є те, що не відокремлюється в окремих підкласах робототехніки спеціального призначення, що уможливує розгляду систем за подібними характеристиками, екстремальним середовищем та умов їх використання.

**Постановка завдання.** Основним завданням на початку розробки нових прототипів роботизованих механізмів є конкретизація параметрів майбутнього робота, відповідно, до сфери та умов його застосування. В цьому безсумнівно допомогу надає їх класифікація.

**Виклад основного матеріалу.** Представлення класифікації робототехніки спеціального призначення, де основними параметрами є функція робіт, сфера, умови та середовище застосування, а також спеціальні характеристики маніпулятора дозволить вирішити проблему відсутності єдиного термінологічного апарату, в тому числі забезпечить їх поділ на категорії для подальшої диференціації.

**Висновки відповідно до статті.** За результатами проведеного аналізу, буде поставлена концепція по вдосконаленню існуючих чи створенню нових прототипів роботизованих механізмів. Аналіз та диференціація спільних ознак буде в подальшому використана для створення методики синтезу конструктивних елементів роботизованих маніпуляторів особливого призначення.

**Ключові слова:** класифікація; робототехніка; робот-маніпулятор; сервісна робототехніка; екстремальна робототехніка; військова робототехніка.

Рис.: 12. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Протягом останнього десятиліття спостерігається швидкий темп науково-технічного прогресу, що стимулює розвиток усіх сфер життєдіяльності людини. Так, однією з найбільш перспективних сфер є робототехніка – сучасний каталізатор соціально-індустріального розвитку суспільства. Нині дедалі складніше знайти сферу, яка б не зазнала роботизації. Це, насамперед, пов'язано з розвитком технологій, автоматизацією та оптимізацією процесів діяльності людини.

Бурхливий розвиток робототехніки в останні роки дав початок великій кількості нових роботизованих пристроїв, які застосовуються в різних сферах. Дослідження дистанційно керованих маніпуляційних роботів особливого призначення є досить актуальним на сьогодні, оскільки вони використовуються для виконання робіт у недоступних або небезпечних умовах для здоров'я людини. Саме від таких важливих характеристик робота-маніпулятора, як швидкодія, маневреність, точність позиціонування, можливість роботи в обмежених просторах залежить життя людей.

**Постановка проблеми.** На сьогодні широко досліджуються промислові роботи, які призначені для виконання рухових та керуючих функцій у виробничому процесі. Промислові роботи застосовуються, зазвичай, у межах типових проектів промислового виробництва. Вивченню та дослідженню роботизованих маніпуляторів особливого призначення приділено менше уваги. Тому дослідження роботизованих пристроїв особливого призначення дозволить вдосконалити системи з урахуванням їхніх особливостей, що забезпечить більш швидке їх пристосування до виконання робіт у недоступних або небезпечних для здоров'я людини умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1; 2] авторами обговорено історію, еволюцію розвитку й новітні технології медичної робототехніки, також представлена її класифікація. У статті [3] представлено огляд робототехніки, яка розроблена для застосування в екстремальних середовищах та умовах. Огляд останніх досягнень у

галузі військової робототехніки та їх класифікація наведені в роботах [4; 5]. У роботі [6] наведено огляд технічних досягнень космічних робототехнічних систем та орбітальних роботів. Наочно представлена космічна робототехніка та їх математичні моделі. У статті [7] розглянуто історію розвитку підводної робототехніки, прогрес підводних навігаційних роботів та методів зондування.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Одним з основних недоліків наявних класифікацій є те, що не відокремлюється в окремий підклас робототехніки спеціального призначення, що унеможливує розгляд систем за подібними характеристиками, екстремальним середовищем та умовами їх використання. Також відсутній єдиний термінологічний апарат у робототехніці спеціального призначення, оскільки їх вивчають поодиноко за сферою використання або в комплексі як промислову або сервісну робототехніку.

**Постановка завдання.** Основним завданням на початку розробки нових прототипів роботизованих механізмів є конкретизація параметрів майбутнього робота, відповідно, до сфери та умов його застосування. У цьому безсумнівно допомогу надає їх класифікація. Представлення класифікації робототехніки спеціального призначення, де основними параметрами є функція роботів, сфера, умови та середовище застосування, а також спеціальні характеристики маніпулятора, дозволить вирішити проблему відсутності єдиного термінологічного апарату, у тому числі забезпечить їх поділ на категорії для подальшої диференціації.

**Виклад основного матеріалу.** Протягом останніх років спостерігається стрімкий розвиток робототехніки, який дав початок великій кількості нових роботизованих пристроїв, яким знайшли застосування в різних сферах (машинобудування, будівництва, побуту, логістична, авіаційна, космічна, медична, військова, екстремальна тощо).

Одним із початкових етапів у складанні класифікації є конкретизація основних термінів (робот, робототехніка), оскільки нині немає основного загальноприйнятого визначення. Основною причиною цього, слугує те, що розуміння робототехніки змінюється в міру розвитку технологій, обростаючи все новим сенсом.

Так, одним із компромісним визначенням терміна «робот» можна вважати його трактування Міжнародної федерації робототехніки (International Federation of Robotics, далі - IFR): «Робот – це робочий механізм, програмований по декількох осях із деяким ступенем автономності (варіюється від часткової автономії – включаючи взаємодію «людина-оператор – робот», до повної автономії – без активного втручання людини) та здатний пересуватися в межах певного середовища, виконуючи поставлені завдання» [8].

У цьому визначенні враховуються особливості роботів, що відрізняють їх від інших механічних пристроїв, – автономність і самостійне виконання поставленого завдання. Робот здатний самостійно рухатися в середовищі й адаптуватися під поставлені завдання.

Проаналізувавши різні підходи, запропонуємо власне трактування цієї термінології: робототехніка – напрям науки та техніки, який пов'язаний із розробкою і експлуатацією автоматизованих технічних систем (роботів). Основним об'єктом вивчення є робот – автоматичний пристрій, що призначений для виконання спеціалізованих операцій та відтворення рухових та інтелектуальних функцій людини.

Традиційний підхід IFR поділяє робототехніку на два класи: промислова робототехніка (використовується з метою промислової автоматизації) та сервісна (використовується для виконання необхідної для людини (обладнання) роботи). Оскільки об'єктом нашого дослідження є робототехніка спеціального призначення, яка відноситься безпосередньо до сервісної робототехніки, то детальніше зупинимось на класифікації саме неї.

Можна використовувати декілька підходів до класифікації роботів (за класом, сферою та середовищем використання, видом, призначенням, способом пересування тощо). Перші відмінності можна зробити на основі механічної будови роботів. Їх можна поділи-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ти на нерухомих роботів, тобто маніпуляторів, мобільних та комбінованих. Останні два класи використовують для пересування рухоме шасі з автоматично керованими приводами. За способом пересування їх розрізняють: колісні, крокуючі, гусеничні, летючі, повзучі та плаваючі. За видом поділяють на автоматичні, біотехнічні, інтерактивні.

За робочим середовищем поділяють на виробничу та вдосконалену. Виробнича робототехніка розташована в структурованому середовищі, геометричні чи фізичні характеристики якого здебільшого відомі, вдосконалена – розташована в неструктурованому середовищі, характеристики якого невідомі. Вона, у свою чергу, поділяється на природну (середовище не є безпечним) та службову (застосовується для покращення якості життя). Детальніша класифікація представлена на рис. 1.

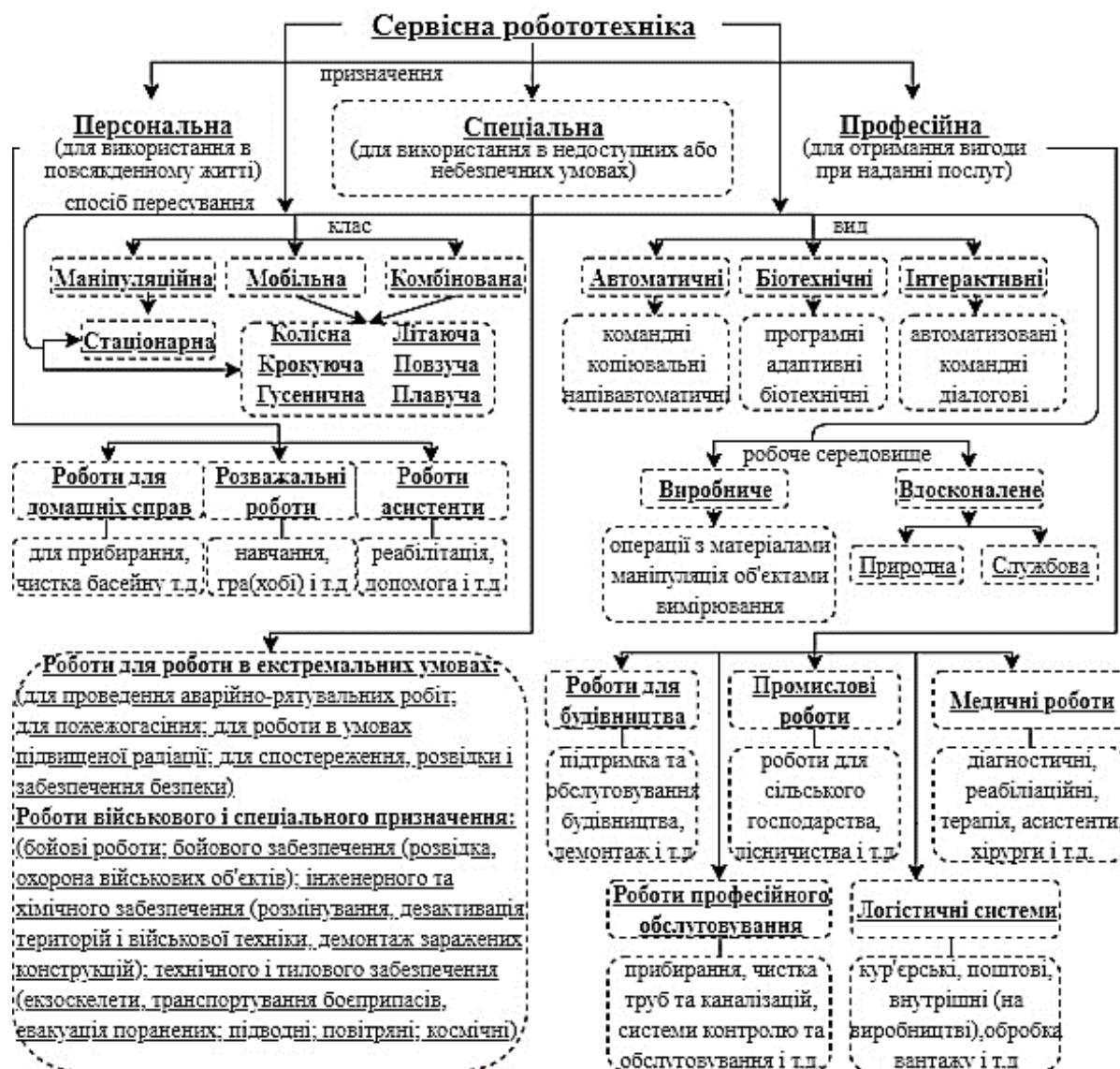


Рис. 1. Класифікація сервісної робототехніки

Більш детально представимо спеціальні роботизовані маніпулятори, які призначені для виконання своїх функцій у небезпечних умовах та середовищах.

Умовно їх поділимо за специфікою роботи на такі групи:

1. Роботизовані маніпулятори для використання під час проведення операцій у зоні дії рентгенівського випромінювання (при комп'ютерній томографії, ангіографії і т. ін.) (рис. 2) та/або які потребують високоточних маніпуляцій із високою точністю (рис. 3).





*Рис. 2. Роботизована система для внутрішньошкірного коронарного втручання «CorPath GRX»*



*Рис. 3. Роботизована хірургічна система-маніпулятор «Da Vinci»*

2. Роботизовані маніпулятори для використання під час пошуку мін та розмінування (рис. 4-5), підводно-технічних операцій на великих глибинах (рис. 6) та у космосі (рис. 7).



*Рис. 4. Робот для пошуку мін та розмінування «Talon GEN IV»*



*Рис. 5. Робот для пошуку мін та розмінування «Caliber MK3»*



*Рис. 6. Робот для підводно-технічних операцій «Ageotec Sirio»*



*Рис. 7. Гнучкий маніпулятор спеціального призначення «Dextre»*

3. При роботі з радіоактивними речовинами великої активності, у тому числі й операцій з обслуговування та ремонту атомних енергетичних установок застосовують автоматизоване роботизоване устаткування із системою дистанційного керування (рис. 8-9).



Рис. 8. Робот-наук для видалення та сортування радіоактивних матеріалів «Latro»



Рис. 9. Робот спеціального призначення для роботи на атомних станціях «МНІ-МЕІSTeR»

4. Роботизовані комплекси пожежогасіння використовуються для гасіння пожеж у небезпечних для життя умовах та важкодоступних районах (рис. 10-11).



Рис. 10. Багатофункціональний пожежний робот «MVF-5»



Рис. 11. Пожежний робот «COLOSSUS»

У разі виникнення техногенних аварій у зонах підвищеного ризику, зумовлених наявністю радіації, хімічної або біологічної зараженості місцевості, необхідно максимально скоротити безпосереднє знаходження людей у небезпечних зонах, виключивши при цьому можливість їх ураження. Для цього використовують роботизовані маніпулятори.

Саме екстремальні середовища, з їх недетермінованими умовами роботи та різноманітністю операцій, зумовлюють проведення інтенсивних дій зі створення і вдосконалення маніпуляційних пристроїв, керованих людиною-оператором. Це пояснюється тим, що в подібних середовищах здебільшого виконуються складні нетипові операції дослідного, монтажно-складального або ремонтного характеру. Використання сучасних засобів автоматичного управління маніпуляційними механізмами, в умовах підвищеного ризику, вимагає стійких характеристик апаратури спостереження, аналізу ситуації, прийняття рішення і формування керуючих впливів.

На цьому етапі розвитку сервісної робототехніки на ринку представлена велика кількість їх різновидів. Швидкий розвиток та поширення сфер застосування викликає великий інтерес, що породжує попит на цей клас робототехніки.

Так, за даними IFR, темп зростання професійної сервісної робототехніки в 2017 році збільшився на 85 %, що кратно перевищило темпи зростання промислової робототехніки (31 %) і світового ВВП (3,7 %). Таким чином, за результатами 2017 року в усьому світі було продано 109 500 сервісних роботів. За оцінками експертів, у 2018 році було продано на 50 % роботів більше, ніж у 2017 році. У результаті обсяг



ринку до 2018 року вже досяг 8,7 млрд дол. За прогнозами експертів, з 2019 по 2021 рр. продажі професійних сервісних роботів щорічно будуть збільшуватися в середньому на 21 % (рис. 12) [10].

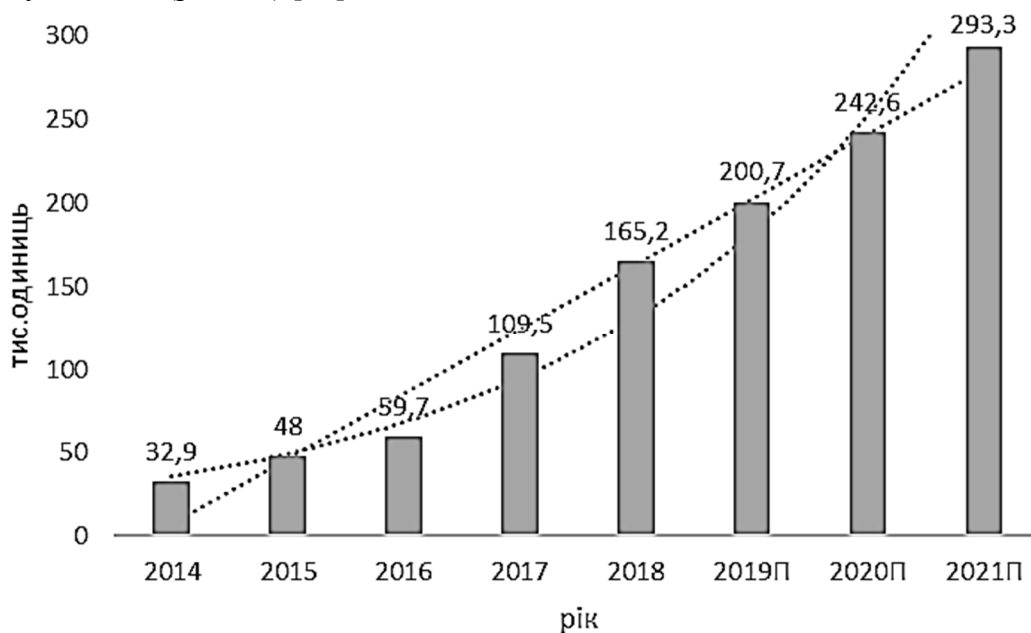


Рис. 12. Динаміка продажу професійної сервісної робототехніки в 2014–2017 рр. та прогноз (П) на 2019–2021 рр.

**Висновки відповідно до статті.** Представлений аналіз роботизованих маніпуляторів спеціального призначення та класифікація сервісної робототехніки дозволять узагальнити сучасні уявлення про можливості та сфери їх застосування в наші дні. З проведеного аналізу можемо спостерігати як робототехніка проникла й успішно використовується в різних сферах життєдіяльності людини. При всьому цьому, робототехніка все ще залишається дуже перспективною та швидко розвиваючою наукою.

За результатами проведеного аналізу та згідно з розробленою класифікацією буде поставлена концепція щодо вдосконалення наявних чи створення нових прототипів роботизованих механізмів. Аналіз та диференціація спільних ознак буде в подальшому використана для створення методики синтезу конструктивних елементів роботизованих маніпуляторів особливого призначення або оптимізації існуючих [11] на основі нових технологій із використанням машинного навчання [12].

#### Список використаних джерел

1. Kasina H., Bahubalendruni M. R., & Botcha R. Robots in medicine: past, present and future. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMME)*. 2017. Vol. 7(4). P. 44-64. DOI: 10.4018/IJMME.2017100104.
2. Краевский С. В., Рогаткин Д. А. Медицинская робототехника: первые шаги медицинских роботов. *Технологии живых систем*. 2010. Т. 7, № 4. С. 3-14.
3. Wong C., Yang E., Yan X., & Gu D. Autonomous robots for harsh environments: a holistic overview of current solutions and ongoing challenges. *Syst. Sci. Control Eng.* 2018. Vol. 6. P. 213–219. DOI: 10.1080/21642583.2018.1477634.
4. Sapaty P. Military robotics: latest trends and spatial grasp solutions. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*. 2015. Vol. 4(4). P. 9-18. DOI: 10.14569/IJARAI.2015.040402.
5. Кучеров Д. П., Копилова З. М., Мякухін Ю. В. Перспективи розвитку роботизованих систем військового призначення. *Системи озброєння і військова техніка*. 2007. № 1. С. 44-46.
6. Yoshida K., Wilcox B., Hirzinger G., & Lampariello R. Space Robotics. *Springer Handbook of Robotics*. 2016. P. 1423–1462. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1\_55.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Chutia S., Kakoty N. M., & Deka D. A Review of Underwater Robotics, Navigation, Sensing Techniques and Applications. *Proceedings of the Advances in Robotics on – AIR '17*. 2017. DOI: 10.1145/3132446.3134872.

8. Service Robots. *International Federation of Robotics*. URL: <https://www.ifr.org/service-robots>.

9. *World Robotics 2017*. *International Federation of Robotics*. URL: [https://ifr.org/downloads/press/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2017\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads/press/WR_Industrial_Robots_2017_Chapter_1.pdf).

10. World Robotics. *International Federation of Robotics*. URL: <https://ifr.org/worldrobotics>.

11. Литвин О. В., Ящук І. Р., Паньков С. Б. Аналіз передумов застосування нейронних мереж при синтезі конструкцій в машинобудуванні. *Наукові нотатки*. 2018. № 64. С. 92-98.

12. Ящук І. Р., Паньков С. Б. Оптимизация процесса синтеза новых технических решений в машиностроении. *Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апреля 2019 г. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. С. 65-68.*

### References

1. Kasina, H., Bahubalendruni, M. R., & Botcha, R. (2017). Robots in medicine: past, present and future. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMMME)*, 7(4), 44-64. DOI: 10.4018/IJMMME.2017100104.

2. Kraevskij, S. V., & Rogatkin, D. A. (2010). Mediczinskaya robototekhnika: pervy`e shagi mediczinskikh robotov [Medical robotics: the first steps of medical robots]. *Tekhnologii zhivy`kh system - Journal Technologies of Living Systems*, 7(4), 3-14 [in Russian].

3. Wong, C., Yang, E., Yan, X., & Gu, D. (2018). Autonomous robots for harsh environments: a holistic overview of current solutions and ongoing challenges. *Syst. Sci. Control Eng.* 6, 213–219. DOI: 10.1080/21642583.2018.1477634.

4. Sapaty, P. (2015). Military robotics: latest trends and spatial grasp solutions. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 4(4), 9-18. doi:10.14569/IJARAI.2015.040402.

5. Kucherov, D. P., Kopylova, Z. M., & Miakukhin, Yu. V. (2007). Perspektivy rozvytku robotyzovanykh system viiskovoho pryznachennia [Prospects of development of military robotic systems]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika - Systems of Arms and Military Equipment*, (1), 44-46 [in Ukrainian].

6. Yoshida, K., Wilcox, B., Hirzinger, G., & Lampariello, R. (2016). Space Robotics. *Springer Handbook of Robotics*, 1423–1462. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1\_55.

7. Chutia, S., Kakoty, N. M., & Deka, D. (2017). A Review of Underwater Robotics, Navigation, Sensing Techniques and Applications. *Proceedings of the Advances in Robotics on – AIR '17*. DOI: 10.1145/3132446.3134872.

8. International Federation of Robotics (2015). *Service Robots*. Retrieved from <https://www.ifr.org/service-robots/>.

9. International Federation of Robotics (2017). *World Robotics 2017*. Retrieved from [https://ifr.org/downloads/press/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2017\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads/press/WR_Industrial_Robots_2017_Chapter_1.pdf).

10. International Federation of Robotics (2018). *World Robotics 2018*. Retrieved from <https://ifr.org/worldrobotics/>.

11. Lytvyn, O. V., Yashchuk, I. R., & Pankov, S. B. (2018). Analiz peredumov zastosuvannia neuronnykh merezh pry syntezi konstrukttsii v mashynobuduvanni [Analysis of the background of the application of neural networks in the design synthesis in mechanical engineering]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, (64), 92-98 [in Ukrainian].

12. Yashchuk, I. R., Pankov, S. B. (2019). Optimizatsiia protsessa sinteza novykh tekhnicheskikh reshenii v mashinostroeni [Optimization of the synthesis of new technical solutions in mechanical engineering]. Proceeding from *Issledovaniia i razrobotki v oblasti mashinostroeniia energetiki i upravleniia: materialy XIX Mezhdunar nauch.-tekhn. konf. studentov aspirantov i molodykh uchenykh – Research and development in the field of engineering, energy and management: materials of the XIX Intern. scientific and technical conf. students, graduate students and young scientists* (Gomel, April 25–26) (pp. 65-68). Gomel: GSTU named after P. O. Sukhoi [in Russian].

UDC 621.865.8 (045)

Oleksandr Litvin, Serhii Pankov

**ROBOTIC MANIPULATORS SPECIAL PURPOSE**

**Urgency of the research.** Research on robotic manipulators with remote control is especially important today because they are used to perform work in difficult or dangerous conditions for human health.

**Target setting.** The study and research of robotic manipulators for special purposes are given less attention. Therefore, the study of robotic special-purpose devices will allow them to improve the systems taking into account their features, which will allow them to adapt more quickly to the performance of work in inaccessible or dangerous conditions for human health.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis showed that scientists are widely researching industrial robots, at the same time, less attention is paid to the study of service robotics.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** One of the main disadvantages of the existing classifications is that it is not separated into a separate subclass of special purpose robotics, which makes it impossible to consider systems by similar characteristics, extreme environment, and conditions of their use.

**The research objective.** The main task at the beginning of the development of new prototypes of robotic mechanisms is to specify the parameters of the future robot, according to the scope and conditions of its application. This is clearly helped by their classification.

**The statement of basic materials.** The introduction of the classification of special-purpose robotics, where the main parameters are the function of the robots, the area, conditions and environment of application, as well as the special characteristics of the manipulator, will solve the problem of the lack of a single terminological apparatus, including ensuring their division into categories for further differentiation.

**Conclusions.** Based on the results of the analysis, a concept will be put forward to improve existing or create new prototypes of robotic mechanisms. Analysis and differentiation of joint features will be further used to create methods for the synthesis of structural elements of robotic manipulators for special purposes.

**Keywords:** classification; robotics; robot manipulator; service robotics; extreme robotics; military robotics.

Fig.:12. References: 12.

**Литвин Олександр Валеріанович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання верстатів і машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Litvin Oleksandr** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Design of Machine Tools and Machines, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** litvinkpi@gmail.com

**SCOPUS Author ID:** 57210737943.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0137-9177>

**Паньков Сергій Борисович** – аспірант кафедри конструювання верстатів і машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Pankov Serhii** – PhD Student of Department of Design of Machine Tools and Machines, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

Наталія Стельмах, Сергій Сапон, Ярослав Рижук

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА БАЗІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОЦІНКИ ЙОГО ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

**Актуальність теми дослідження.** Технологічне підготовлення виробництва є важливим етапом, оскільки саме на ньому розробляється технологічний процес (ТП) виготовлення деталі, від якого залежать техніко-економічні показники, які визначають конкурентоспроможність деталі на ринку продукції.

**Постановка проблеми.** Час, який витрачається багатьма вітчизняними підприємствами на розрахунок техніко-економічних показників технологічного процесу виготовлення деталі, сьогодні є досить значним, що суттєво сповільнює технологічне підготовлення виробництва. У сучасних умовах швидкості навколишніх змін, перетворень та конкуренції на ринку це недопустимо.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Нині є значна кількість програмного забезпечення для розрахунку техніко-економічних показників ТП виготовлення деталей. Кожна програма має свої переваги і недоліки.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Важливим елементом програмного забезпечення для розрахунку техніко-економічних показників ТП виготовлення деталей має бути можливість оперативного розрахунку оптимального ТП за показниками, які є найбільш важливими в конкретних виробничих умовах. Тобто має бути можливість вибору параметра оптимізації.

**Метою статті** є удосконалення методу розрахунку вартості та часу виготовлення деталі залежно від типу виробництва.

**Вклад основного матеріалу.** На прикладі конкретної деталі, продемонстровано можливості програмного забезпечення «Auto price» для розрахунку вартості деталі, залежно від типу виробництва і структури технологічного процесу. Вибрано оптимальне рішення, враховуючи вартість та час виготовлення, зважаючи на ваговий коефіцієнт, який було обрано за допомогою експертної оцінки.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі було удосконалено метод розрахунку вартості та часу виготовлення деталі залежно від типу виробництва, що дозволило отримати оптимальний технологічний процес з урахуванням техніко-економічних показників та реалізувати цей метод програмно.

**Ключові слова:** приладобудування; вартість виготовлення; час виготовлення; оптимальний технологічний процес; тип виробництва.

Рис.: 7. Бібл.: 5.

**Актуальність теми дослідження.** У приладобудуванні важливим етапом виготовлення деталі є технологічне підготовлення виробництва, оскільки саме на цьому етапі розробляється технологічний процес (ТП) виготовлення деталі, виконуються розрахунки вартості та часу, виготовлення заданої партії деталей. Від того, наскільки ефективно побудовано ТП, залежать техніко-економічні показники виготовлення деталі, які є ключовими факторами конкурентоспроможності на ринку продукції.

**Постановка проблеми.** Час, який витрачається багатьма вітчизняними підприємствами на розрахунок техніко-економічних показників технологічного процесу виготовлення деталі, на сьогодні є досить значним, що суттєво сповільнює технологічне підготовлення виробництва. Це можна пояснити використанням застарілих методик та підходів для подібних розрахунків. Проте в сучасних умовах швидкості навколишніх змін, перетворень та конкуренції на ринку це недопустимо.

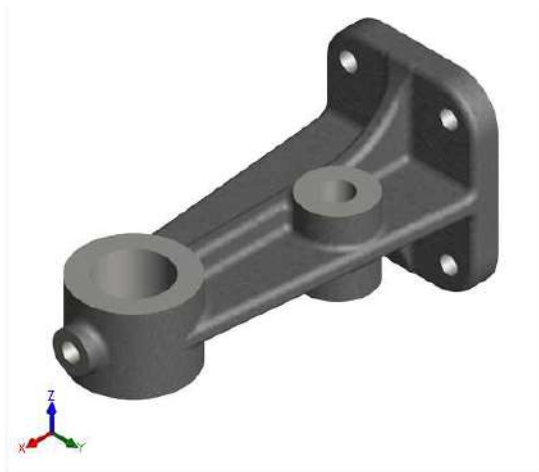
Деякі підприємства використовують програми, що виконують розрахунок в досить спрощеному варіанті для розрахунку вартості, але недоліком таких програм є те, що кількість параметрів, які використовуються для розрахунку, зазвичай обмежується габаритними розмірами. Такі розрахунки мають низьку точність, тому можна отримати достатньо приблизне уявлення про вартість виготовлення деталі, що не завжди задовольняє замовника. З іншого боку, занадто велика ціна буде не конкурентоспроможною, а недостатня вартість загрожує збитками для підприємства.

Отже, питання автоматизації розрахунку вартості та часу виготовлення виробу є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню продуктивності виробництва, зменшенню часу на розрахунки та, як наслідок, підвищенню конкурентоспроможності продукції приладобудівної промисловості [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні чимало вітчизняних підприємств використовують для розрахунку вартості виготовлення партії деталей функціональні можливості табличного процесора «Microsoft Excel», що є досить трудомістким процесом та не завжди дає змогу отримати досить точний результат.

На іноземних виробництвах використовуються більш складні спеціалізовані програми для розрахунку вартості виготовлення деталей. Розглянемо приклад розрахунку вартості виготовлення в програмному середовищі «Custom partner» [2]. Для прикладу розрахунку візьмемо деталь типу «кронштейн», яку зображено на рис. 1, а.


На рис. 1, б представлено інтерфейс програмного забезпечення «Custom partner», де зображено робочий проект розрахунку собівартості виготовлення деталі «кронштейн». Розрахункова величина партії деталей 1000 штук.



а

**General Information**

Description: Bearing bracket  
 Process: [Sand Casting](#)  
 Category: [Beams](#)  
 Last Modified: Mon 12/7/2009 1:25 AM



Costs:  Total  Per Part | View:  Single  Compare | Uni

Part Information	Scenario 1
<a href="#">Quantity:</a>	1000
Material:	Aluminum C443.0, Casting <a href="#">Change Material</a>
<a href="#">Envelope X-Y-Z (in):</a>	6.38 x 2.76 x 3.31
Envelope scaling (%):	100
<b>Sand Casting</b>	<b>\$7,584</b>
⊕ <b>Material Cost:</b>	<b>\$2,287</b>
⊕ <b>Production Cost:</b>	<b>\$3,204</b>
⊕ <b>Tooling Cost:</b>	<b>\$2,093</b>

[Feedback/Report a bug](#)

б

Рис. 1. Тривимірний модель (а) та приклад розрахунку (б) вартості виготовлення кронштейна підшипника

Перевагою такого програмного забезпечення є те, що замовник може бачити, як зміниться вартість залежно від партії деталей та як саме формується ціна на виріб, враховуючи вартість матеріалу, вартість виробництва, вартість інструменту. Недоліком такої програми є те, що не вказується час, який необхідний на виготовлення партії деталей, а це важливий конкурентний параметр, який може впливати на вибір замовником того чи іншого виробника деталей. Немає можливості вибрати оптимальний варіант ТП за часом виробництва та вартістю виготовлення.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Важливим елементом програмного забезпечення для розрахунку техніко-економічних показників ТП виготовлення деталей має бути можливість оперативного розрахунку оптимального ТП за показниками, які є найбільш важливими в конкретних виробничих умовах. Тобто має бути можливість вибору параметра оптимізації.

**Метою статті** є удосконалення методу розрахунку вартості та часу виготовлення деталі залежно від типу виробництва.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Виклад основного матеріалу.** Собівартість продукції – це грошовий еквівалент витрат підприємства на виробництво й реалізацію продукції, що також характеризує ефективність всього процесу виробництва на підприємстві, оскільки в ній відображаються: рівень організації виробничого процесу, технічний рівень виробничих можливостей підприємства, продуктивність праці та інше [3].

Собівартість продукції як показник використовується для контролю за використанням ресурсів виробництва, визначення економічної ефективності організаційно-технічних заходів, встановлення цін на продукцію.

У цій роботі для розрахунку вартості виготовлення деталі, будемо використовувати такі параметри:

- витрати на амортизацію обладнання;
- енергетичні витрати;
- витрати на оплату праці;
- витрати на оренду/амортизацію приміщення;
- накладні витрати.

Також необхідно визначити час роботи обладнання для кожного переходу ТП, прибуток підприємства та партію деталей [3].

З урахуванням вищезазначеного, для визначення вартості 1-го переходу ТП виготовлення деталі запропоновано таку залежність:

$$Q = \frac{\left(\frac{1}{D} \left( \frac{V \cdot V_1 \cdot V_2}{P \cdot T} + Z \cdot K_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}\right)\right) + E \cdot S \right) \cdot Tr \cdot M}{N}, \text{ грн} \quad (1)$$

де  $D$  – кількість робочих годин на добу;  $V$  – вартість обладнання, грн;  $V_1$  – витрати на обслуговування верстата, грн;  $V_2$  – витрати на інструмент, грн;  $P$  – кількість робочих днів на рік;  $T$  – термін амортизації;  $Z$  – заробітна плата робітника за 1 зміну, грн;  $K_1, K_2, K_3$  – вагові коефіцієнти;  $E$  – тариф за електроенергію;  $S$  – споживча потужність обладнання;  $Tr$  – час роботи обладнання;  $M$  – прибуток підприємства.

Використовуючи цю формулу можна розрахувати вартість кожного переходу технологічного процесу.

На базі запропонованої залежності (1) для визначення вартості технологічного процесу було розроблено програмне забезпечення «Auto\_price» для розрахунку вартості та часу виготовлення деталі при різних типах виробництва [4].

Вартість виготовлення деталі в кожному окремому переході ТП визначається за допомогою формули (1).

Програма «Auto\_price» написана мовою програмування Delphi XE8. Ядро середовища розробки Delphi складають програмні бібліотеки, що містять багатий базовий функціонал. Під час розробки програмного забезпечення «Auto\_price» зокрема використовувалися можливості бібліотеки «VisualComponentLibrary». VCL- бібліотека елементів керування (контролів, віджетів), невізуальних компонентів і допоміжних класів Delphi для розробки Windows-додатків.

Для роботи з програмою необхідно таке технічне забезпечення: персональний комп'ютер зі встановленим програмним забезпеченням Windows 7, 8, 10 або MacOS, клавіатура, комп'ютерна миша або тачпад, не менш ніж 1 ГБ оперативної пам'яті. Об'єм пам'яті, необхідний для зберігання програми на жорсткому диску, не менш ніж 3,05 МБ.

Виконання розрахунку вартості та часу виготовлення здійснюється при дотриманні такого алгоритму дій. Спочатку необхідно запустити файл «Auto\_price.exe», який знаходиться в папці проєкту, щоб відкрити файл, необхідно двічі натиснути лівою кнопкою миші на нього, або натиснути лівою кнопкою миші на файл та натиснути клавішу «Enter», після чого відкриється діалогове вікно рис. 2.



Рис. 2. Стартове вікно програми «Auto\_price»

Як контрольний приклад було обрано деталь «корпус шасі», яка являє собою корпусну деталь, виготовлену з алюмінієвого сплаву АЛ2Д ГОСТ 1583-93. Габаритні розміри деталі: довжина – 50 мм, висота – 61 мм, ширина – 32,5 мм. На рис. 3 наведено 3-D зображення обраної деталі.

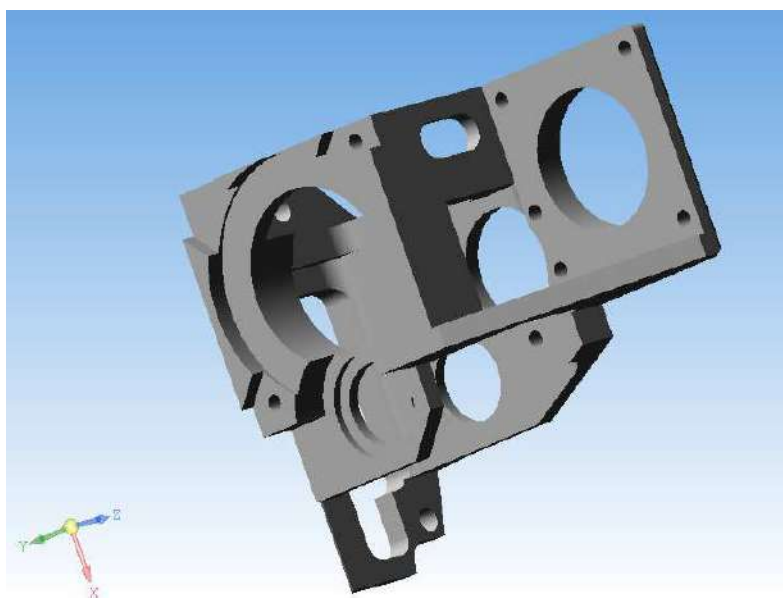


Рис. 3. Корпус шасі

Для цієї деталі було спроектовано 6 різних технологічних процесів виготовлення, по два для одиничного, серійного та масового виробництва. Усі 6 технологічних процесів були внесені до ПЗ «Auto\_price» для подальшого їх аналізу й вибору оптимального варіанта технологічного процесу.

Отже, для того щоб перейти у вікно введення початкових даних ПЗ «Auto\_price», необхідно натиснути лівою кнопкою миші, на кнопку «**Виконати розрахунок вартості**», після чого відкривається наступне вікно програми для розрахунку вартості та часу виготовлення деталі. Зазначене вікно містить порожні поля, куди необхідно ввести дані. Для того щоб ввести початкові дані в програму, нам необхідно спочатку натиснути на кнопку «**Читати початкові дані з файла**» програма запропонує нам вибрати необхідний файл формату .dat. У цьому файлі повинні бути записані параметри, необхідні



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

для розрахунку програми, а саме: вартість верстата, кількість робочих годин на добу, кількість робочих днів на рік, витрати на обслуговування, термін окупності верстата, витрати на інструмент, споживча потужність станка, тариф за електроенергію, зарплата робітника за 1 зміну, вагові коефіцієнти, час роботи верстата, прибуток, партія деталей. Це програмне рішення було зроблено з метою скорочення часу при повторному розрахунку цього ТП, оскільки файл із даними можна використовувати необмежену кількість разів, і не потрібно заново вводити початкові дані.

Після того як було введено початкові дані, необхідно завантажити в програму ТП виготовлення деталі у форматі XXX-Y, де XXX – це номер операції, Y – номер переходу. Для того щоб завантажити ТП, необхідно натиснути на клавішу «**Читати тех. процес з файлу**», далі програма запропонує вибрати файл у форматі .dat, після вибору необхідного файлу він буде автоматично завантажений та представлений у діалоговому вікні, також буде пораховано кількість переходів, які є в ТП.

Щоб отримати результат розрахунку, необхідно натиснути на кнопку «**Розрахувати**», після чого відбудеться автоматичний процес розрахунку вартості та часу виготовлення деталі, результат розрахунку представлено на рис. 4.

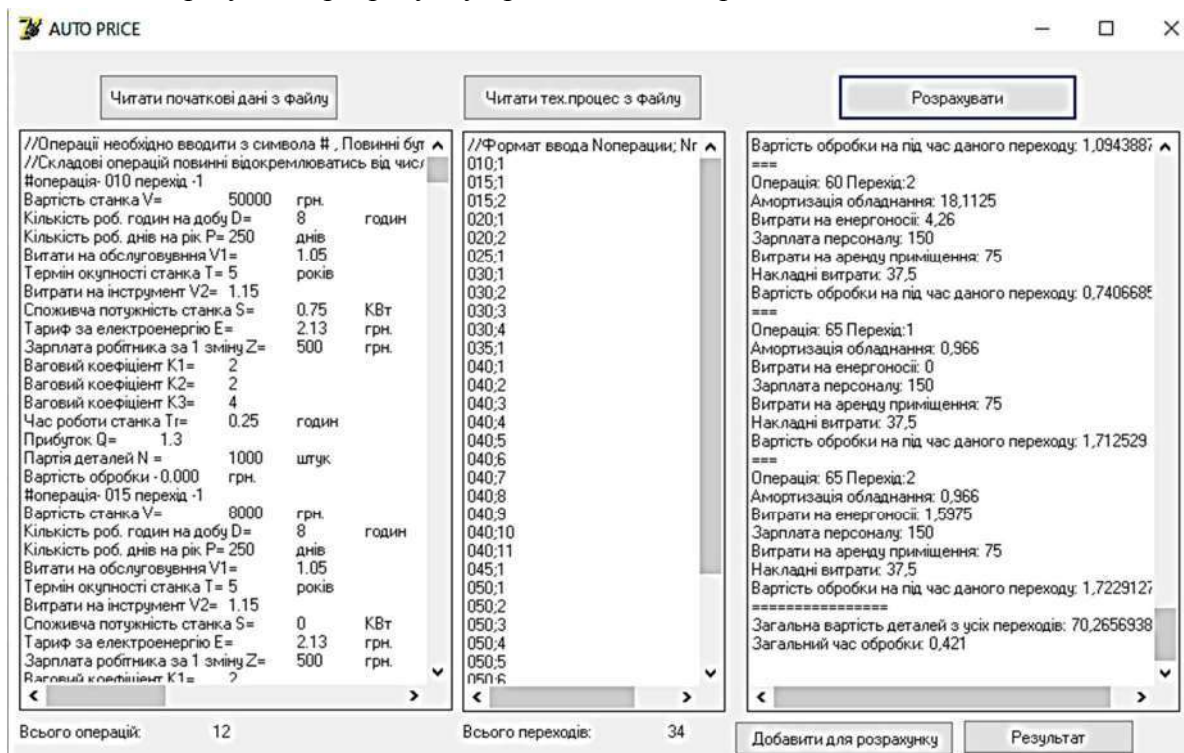


Рис. 4. Приклад розрахунку вартості та часу виготовлення деталі типу «корпус шасі»

Результат розрахунку представлено детально, розраховано не тільки вартість кожного окремого переходу в технологічному процесі, але й такі показники, як витрати на амортизацію обладнання; енергетичні витрати; витрати на оплату праці; витрати на оренду/амортизацію приміщення; накладні витрати. Такий детальний розрахунок дає змогу дізнатися максимально точно про вартість виготовлення, на яких переходах вона найвища, та які параметри на це впливають, що дає змогу технологу можливість заміни того чи іншого переходу на більш дешевий, при незмінній якості виготовлення виробу загалом.

Після розрахунку необхідно натиснути на кнопку «**Добавити для розрахунку**», натиснувши на цю кнопку з'явиться інформаційне вікно, де буде вказано, що дані розрахунку збережено для порівняння з іншими ТП. Натиснувши кнопку «**ОК**» на інформаційному вікні, можна вводити дані для наступних ТП, для цього необхідно виконати описані вище дії.



Додавши необхідну кількість ТП для порівняння (6 ТП максимально можлива кількість для порівняння в програмі), необхідно натиснути на кнопку «*Результат*», після цього відкриється діалогове вікно, зображене на рис. 5.

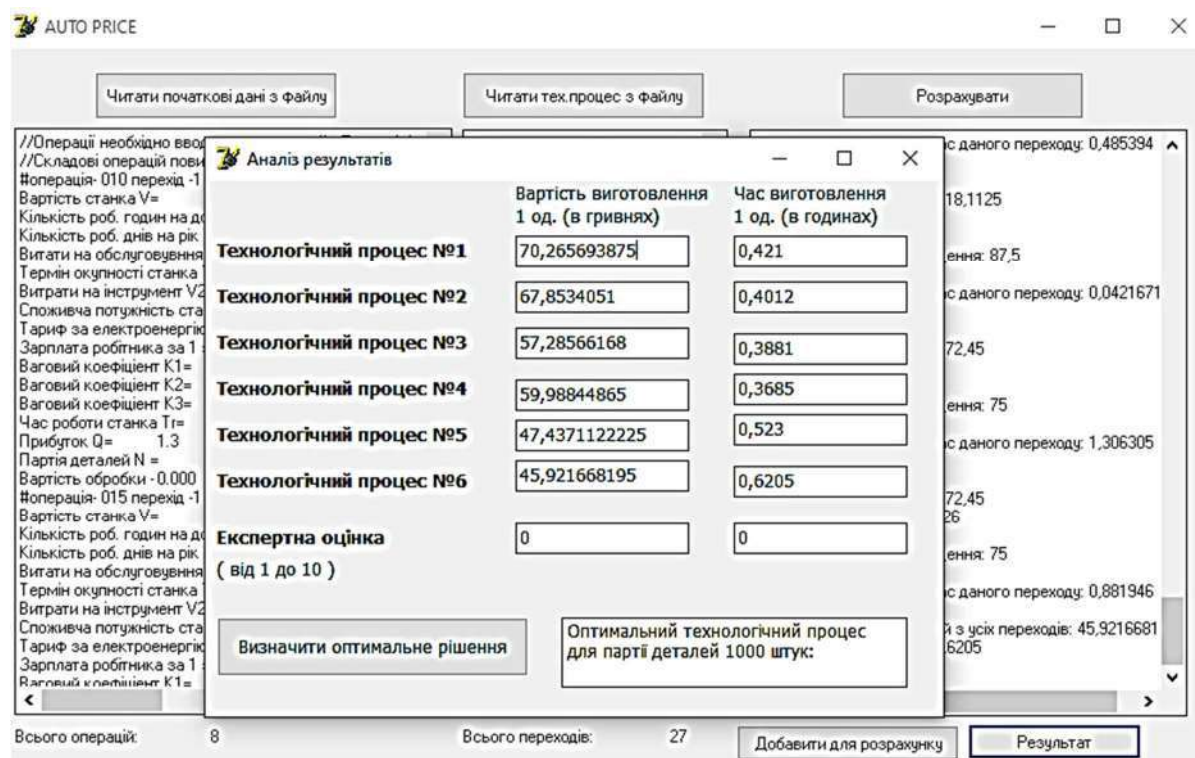


Рис. 5. Результат розрахунку вартості та часу ТП для шести ТП

У ПЗ «Auto\_price» передбачена можливість порівняння різних ТП виготовлення партії деталей у розмірі 1000 штук. Максимальна похибка між ручним розрахунком та розрахунком виконаним програмою становить 0,2 %. Це може бути пов'язано з тим, що під час ручного розрахунку значення були менш точними, та містили менше значень після коми, ніж при розрахунку в програмі, де точність становить до 9 знаків після коми.

Також у програмі є можливість впливати на оптимальне рішення при виборі ТП, за допомогою експертної оцінки, яку необхідно ввести у спеціальні поля в програмі, які знаходяться під табличкою з вартістю та часом відповідно (початкове значення = 0). Значення експертної оцінки, які являють собою вагові коефіцієнти, повинні бути в межах від 1 до 10, та лише цілими значеннями, при введенні від'ємних або дробових значень програма видасть помилку.

У роботі використовувався аналітичний спосіб проведення експертної оцінки для визначення оптимального ТП. Так, експертам було запропоновано визначити пріоритетність для замовника одного з параметрів, а саме вартість виготовлення або час виготовлення замовлення у відсотковому співвідношенні [5].

Після виконання експертної оцінки необхідно натиснути на кнопку «*Визначити оптимальне рішення*» для визначення оптимального рішення вибору ТП. На рис. 6 представлено оптимальний результат вибору залежно від вартості та часу виготовлення деталі.

На основі отриманих розрахункових даних було побудовано графічні залежності (рис. 7), які чітко відображають вибір оптимального рішення ТП виготовлення деталі, на базі експертної оцінки для різних типів виробництва.

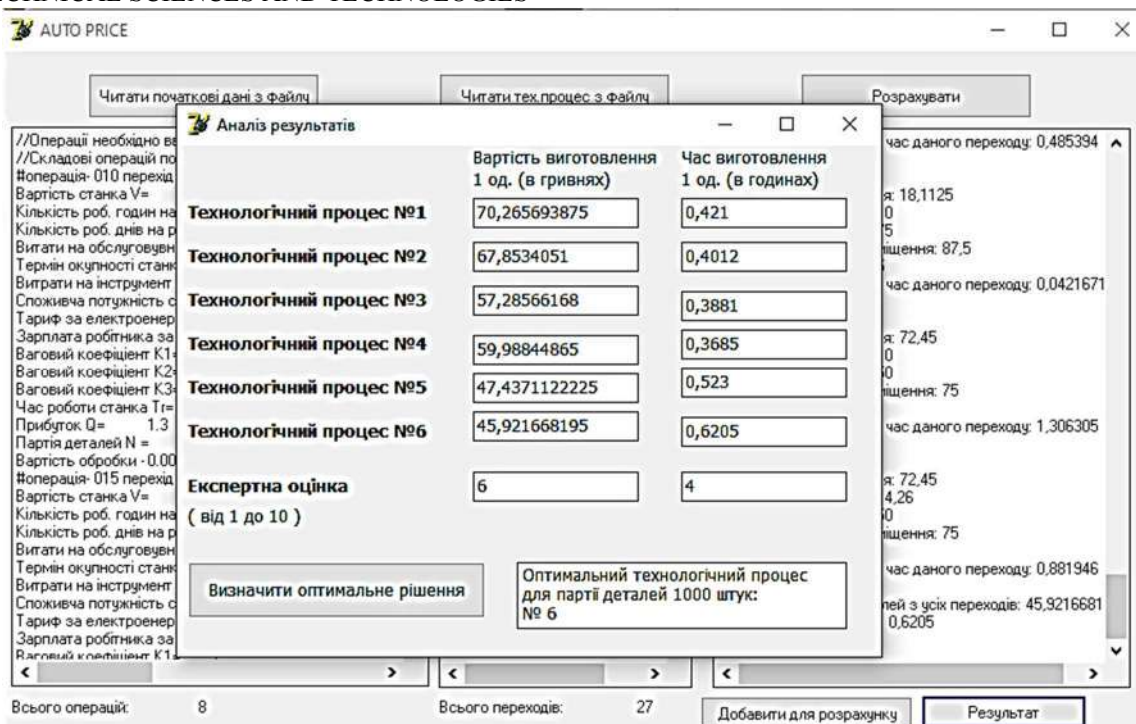


Рис. 6. Вибір оптимального рішення в ПЗ «Auto\_price»

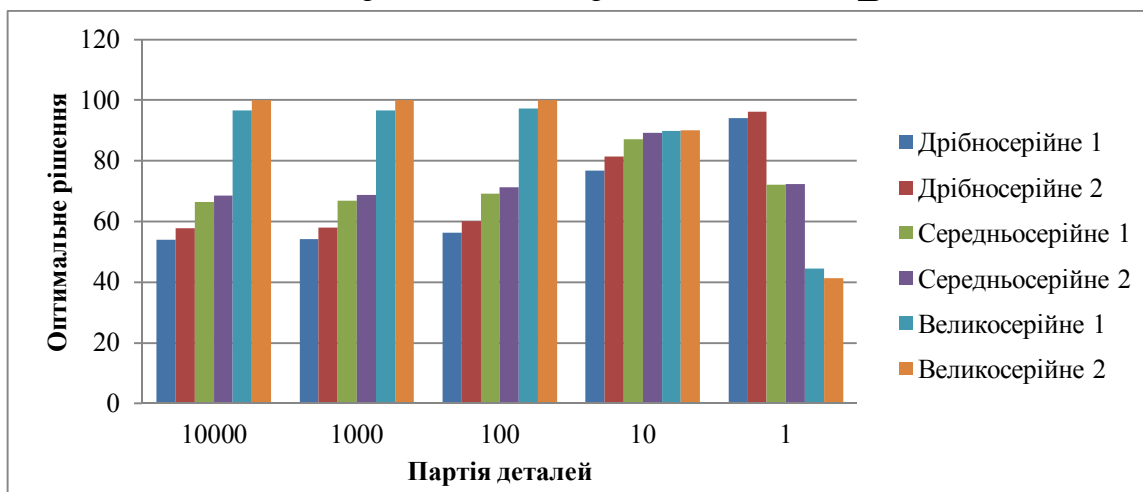


Рис. 7. Вибір оптимального рішення ТП виготовлення деталі, на базі експертної оцінки для різних типів виробництва

**Висновки відповідно до статті.** У цій роботі було удосконалено метод розрахунку вартості та часу виготовлення деталі залежно від типу виробництва, що дозволило отримати оптимальний технологічний процес з урахуванням техніко-економічних показників та реалізувати цей метод програмно. На прикладі конкретної деталі продемонстровано можливості програмного забезпечення «Auto\_price» для розрахунку вартості деталі залежно від типу виробництва і структури технологічного процесу. Вибрано оптимальне рішення, враховуючи вартість та час виготовлення, зважаючи на ваговий коефіцієнт, який було обрано за допомогою експертної оцінки.

**Список використаних джерел**

1. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: український міжвідомчий науково-технічний збірник / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка»; відпов. ред. З. А. Стоцько. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. Вип. 50. 140 с.

2. CustomPart.Net. URL: <https://www.custompartnet.com>.
3. Гриньова В., Салун М. Організація виробництва: навчальний посібник. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2005. 550 с.
4. Системи автоматизованого проектування: комп'ютерний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів» / уклад.: Н. В. Стельмах, К. С. Барандич. Електронні текстові дані (1 файл 24 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 62 с.
5. Румбешта В. О., Стельмах Н. В. Прийняття рішень в автоматизованій системі технологічної підготовки приладобудівного виробництва на базі дискретної оптимізації. *Науковий вісник Кремен. ун-ту економіки, інформ. технол. і управ. Нові технології*. 2009. № 1 (23). С. 189–191.

### References

1. Stotsko, Z. A. (2016). Avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prylobuduvanni: ukrainskyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk [Automation of production processes in mechanical engineering and instrument making: Ukrainian interdepartmental scientific and technical collection] (Issue 50). Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukrainian].
2. CustomPart.Net. *custompartnet.com*. Retrieved from: <https://www.custompartnet.com>.
3. Hrynova, V., Salun, M. (2005). Orhanizatsiia vyrobnytstva [Organization of production]. Kharkiv: VD «ІNZhEK» [in Ukrainian].
4. Stelmakh, N. V., Barandych, K. S. (2018). Systemy avtomatyzovanoho proektuvannia: kompiuternyi praktykum: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii», spetsializatsii «Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii vyrobnytstva prykladiv» [Computer aided design: computer workshop: teaching tool. for students. specialty 151 “Automation and Computer-Integrated Technologies”, specialization “Computer-Integrated Device Manufacturing Technologies”]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].
5. Rumbeshta, V. O., Stelmakh, N. V. (2009). Pryiniattia rishen v avtomatyzovani systemi tekhnolohich-noi pidhotovky prylobudivnoho vyrobnytstva na bazi dyskretnoi optymizatsii [Decision making in the automated system of technological preparation of instrument-making production on the basis of discrete optimization]. *Naukovyi visnyk Kremen. un-tu ekonomiky, inform. tekhnol. i uprav. Novi tekhnolohii – Scientific Bulletin of the Kremenchug University of Economics, Information Technology and Management. New technologies*, 1 (23), 189–191 [in Ukrainian].

UDC 658.512.8

Nataliia Stelmakh, Serhii Sapon, Yaroslav Ryzhuk

## SELECTION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PROCESS ON THE BASIS OF AUTOMATED ASSESSMENT OF ITS TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS

**Relevance of the research topic.** Technological preparation of production is an important stage, because it is the technological process (TP) of manufacturing a part that determines the technical and economic indicators that determine the competitiveness of a part in the product market.

**Formulation of the problem.** The time spent by many domestic enterprises to calculate the technical and economic indicators of the technological process of manufacturing a part is quite significant today, which significantly slows down the technological preparation of production. In today's environment, the speed of environmental change, transformation and competition in the market is unacceptable.

**Analysis of research and publications.** At present, there is a considerable amount of software available to calculate the technical and economic indicators of TP of parts manufacturing. Each program has its advantages and disadvantages.

**Highlighting previously unresolved parts of a common problem.** An important element of the software for the calculation of the technical and economic indicators of the TP of parts manufacturing is the ability to promptly calculate the optimal TP on the indicators that are most important in specific production conditions. That is, it should be possible to select an optimization parameter.

**The purpose of the article** is to improve the method of calculating the cost and time of manufacture of a part depending on the type of production.

**Presenting main material.** On the example of a specific part, are demonstrated the capabilities of the software "Auto\_price" for calculating the cost of the part, depending on the type of production and structure of the process. The most optimal is chosen, taking into account the cost and time of manufacturing, taking into account the weight factor that was selected by peer review.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Conclusion.** In the work the was improved the method of calculation of cost and time of production of a part depending on the type of production, which allowed to obtain the optimal technological process taking into account the technical and economic indicators and to implement this method programmatically.

**Keywords:** manufacturing of parts; cost of manufacture; time of manufacture; optimal technological process; type of production.

Fig.: 7. References: 5.

**Стельмах Наталія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Stelmakh Nataliia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Instrument Production Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** n.stelmakh@kpi.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1876-2794>

**Сапон Сергій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sapon Serhii** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of machine building technology and wood processing department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** s.sapon@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

**ResearcherID:** G-7764-2014

**SCOPUS Author ID:** 56736964700

**Рижук Ярослав Олександрович** – магістр зі спеціальності автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології, Національний Технічний Університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Ryzhuk Yaroslav** – master in automation and computer-integrated technologies, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** yaroslav.rizhuk@gmail.com

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-98-103

Інна Стеценко, Вікторія Савчук

### МЕТОД АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ НА ПРОНИКНЕННЯ ВЕБАТАК

**Актуальність теми дослідження.** Збільшення можливості для розширення мереж та вибір у використанні сервісів у сучасному світі, призводить до прогалин у безпеці. З цієї причини виконується моделювання системи, що дозволяє відтворити характеристики інформаційної атаки, а також провести оцінювання рівня її небезпеки.

**Постановка проблеми.** Нині немає програмного застосунку, що дозволяє автоматизовано моделювати та оцінювати захищеність власної інформаційної системи без втручання в саму систему.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес моделювання атак за допомогою мереж Петрі розглядався в декількох роботах закордонних авторів.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Наявні моделі графових атак створювались лише на прикладі певної архітектури мережі, проблемою залишилось створення універсального автоматизованого застосування, на основі вхідних даних про зв'язки та архітектуру мережі.

**Постановка завдання.** Автоматизація виявлення зовнішніх вразливостей для аналізу захищеності інформаційної системи, шляхом розробки програмного забезпечення, що моделює за допомогою мереж Петрі розповсюдження атаки залежно від її архітектури.

**Виклад основного матеріалу.** Програмне забезпечення розроблено на основі мови програмування Java, включає графічну оболонку Java FX, для пошуку сервісів хосту використовується Shodan REST API, для ідентифікації вразливостей ресурси NVD і CVE details. Зібрані дані використовує окремий програмний модуль, що працює зі створенням моделі на основі мережі Петрі.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонований метод дозволяє автоматизувати перевірку інформаційної системи на вразливість до хакерських атак.

**Ключові слова:** моделювання кібератак; тест на проникнення; уразливості; мережа Петрі.

Рис.: 4. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні компанії мають великі можливості для розширення своїх інформаційних систем та широкий вибір у використанні сервісів, що надає платформу для розвитку та перспектив. Разом із позитивними можливостями такі зміни привносять складності, що стосуються підтримки великих мереж. Оскільки кількість хостів продовжує рости, оцінка їх вразливості до атак стає все більш важливою для автоматизації.

Велика мережа будується на декількох платформах і різних програмних пакетах і підтримує кілька режимів підключення. Неминуче така мережа буде містити дірки в безпеці, які вислизнули від уваги навіть старанного системного адміністратора.

Щоб оцінити вразливість мережі вузлів, необхідно виявити ефекти взаємодії локальних вразливостей і знаходити глобальні проблеми. Здебільшого ці роботи здійснюються засобами моделювання, що дозволяють відтворити необхідні властивості та характеристики інформаційної атаки, а також провести оцінювання рівня її небезпеки. Моделі дозволяють більш точно визначити ефективність існуючих засобів захисту за допомогою модельованих інформаційних атак.

**Постановка проблеми.** Нині немає програмних засобів, що дозволяють автоматизовано моделювати та оцінювати захищеність власної інформаційної системи без втручання в саму систему. Існують сценарії тестування системи на проникність – пентести, які виконуються спеціалістами з інформаційної безпеки, використовуючи безпосередньо саму систему.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес моделювання атак за допомогою мереж Петрі розглядався в декількох роботах закордонних авторів.

У роботі [1] J. P. McDermott запропонував моделювання атак мережами Петрі, в яких позиції – це важливі для безпеки інформаційної системи стани. Переходи – події, команди чи дані, які можуть бути важливими для зміни стану системи відносно безпе-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ки. Маркери в моделі переходять від позиції до позиції, показуючи розвиток атаки. Цей метод добре показує процес розвитку атаки. Але великим мінусом є те, що неможливо отримати вимоги до безпеки та яким чином впливає архітектура системи на безпеку.

Недавні дослідження були зосереджені на впливі мережевих топологій на поширення шкідливих програм. У роботі [2] авторами отримані результати для безрозмірної топології мережі з використанням математичної моделі. Топологія характеризувалася кількістю вузлів і параметрами степеневого показника. У дослідженні [3] структура соціальних і технологічних мереж досліджувалася при їх атаці комп'ютерним вірусом або хробаком. Автори використовували моделювання поширення атаки на основі моделі сприйнятливої інфікованої відновленої епідемії. Вони запропонували структурну модель ризику.

У роботі [4] розглянуто моделювання атак за допомогою кольорових мереж Петрі. Така модель є досить гнучкою для моделювання вторгнень з Інтернету, включаючи статичні і динамічні аспекти атаки. Для того щоб оцінити можливі втрати від вторгнення, у модель були введені вартісні оцінки. Також показано, як можливо її використовувати для моделювання методів захисту, але в цій роботі не було спроб зв'язати можливість проведення атаки з властивостями компонентів інформаційної системи та налаштуваннями систем захисту.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Наявні моделі графових атак створювались лише на прикладі певної архітектури мережі, проблемою залишилось створення універсального автоматизованого застосування, на основі вхідних даних про зв'язки про архітектуру мережі.

**Постановка завдання (мета статті).** Головною метою є автоматизація виявлення зовнішніх вразливостей для аналізу захищеності інформаційної системи, шляхом розробки програмного забезпечення, що моделює за допомогою мереж Петрі розповсюдження атаки залежно від її архітектури.

**Виклад основного матеріалу.** Моделювання атак проводилось у спеціально розробленому середовищі об'єктно орієнтованою мовою програмування Java. Компоненти мережі Петрі (позиції, переходи, дуги) представлені у вигляді об'єктів і всі процеси відтворюються методами ООП. Застосування використовує графічну оболонку для спрощення створення та редагування моделі. Її особливістю є можливість зберігання моделі в кількох форматах, автоматизоване генерування програмного коду методу для створення мережі Петрі за її графічним зображенням у редакторі та можливість відновлення графічного зображення мережі Петрі виключно за програмним кодом відповідного методу [5].

На рис. 1 представлено фрагмент моделі проникнення хакера. Мережа Петрі містить два переходи на атаку відповідно до двох подій «вхід через Інтернет» та «використання вразливості». Перехід «Internet» має вхідну позицію «hacker», маркер в якій символізує вихід хакера в Інтернет. Перехід «service», оточений позиціями «vulnerability» і «target\_host», спрацьовує за наявності відповідної вразливості в системі, що символізує маркер в позиції, з'єднаний із переходом інформаційним (пунктирним) зв'язком. Позиція «vulnerability» демонструє ініціацію атаки, використовуючи певну вразливість сервісу, перехід «service» показує експлуатацію сервісу, після якого хакер опиняється всередині цільового хосту. Наявність позицій з інформаційним зв'язком надає можливість відтворювати умови для подій, які після здійснення події не зникають. Дійсно, наявність вразливості в системі є необхідною умовою для події «service», проте запуск сервісу для конкретного користувача не означає, що вразливість зникла. Якщо відповідної вразливості в системі немає, то відсутність маркера у вхідній позиції не дозволить використання сервісу.

На рисунку 2 зображено фрагмент моделі, де представлено три можливі варіанти проникнення хакера в інформаційну систему, використовуючи одну з вразливостей (“vulnerability\_1”, “vulnerability\_2”, “vulnerability\_3”) певного сервісу “service”. Це означає, що в інформаційній системі на певній IP-адресі є сервіс з версією, встановлення якого призводить до наявності трьох вразливостей.

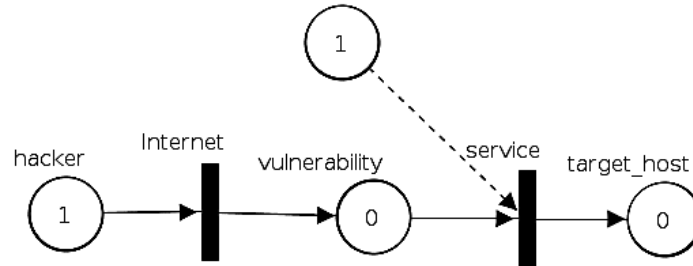


Рис. 1. Проста мережа Петрі, що моделює проникнення хакера всередину хосту, використовуючи вразливість сервісу

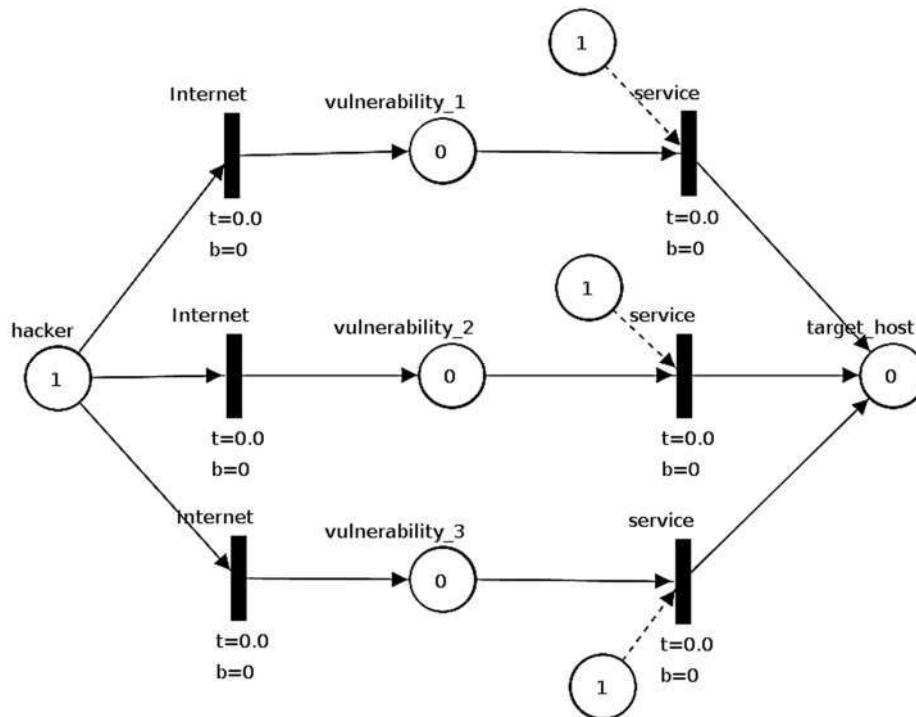


Рис. 2. Проста мережа Петрі, що моделює проникнення хакера всередину хосту, використовуючи вразливість сервісу

Найчастіше дані, що є цільовими, тобто важливими, не лежать на вузлах, що мають вихід у Всесвітню мережу. У такому випадку для досягнення своєї мети, хакер має пройти через низку мереж до тієї, де, наприклад, розгорнута база даних. На рис. 3 зображено побудову моделі мережі Петрі для розповсюдження атаки хакером по інформаційній системі, що має просту архітектуру і складається з вебсервера, файл-серверу та сервера з базою даних (БД). До сервера з БД можливо потрапити через вебсервер або файл-сервер. Вебсервер містить вебсервіс «service\_1», який має дві вразливості «vulnerability\_1» та «vulnerability\_2». Файл-сервер, у свою чергу, містить файловий сервіс «service\_2», який має вразливість «vulnerability\_3». Експлуатація однієї з трьох представлених вразливостей призводить до отримання прав на проміжному хості «transitional\_host», який має доступ до цільового хосту «target\_host», базою даних у сервісі «service\_3».

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Пошукова система Shodan [6] надає можливість за хостом визначити відкриті сервіси, що розгорнуті на ньому. Система має відкрите безкоштовне API – Shodan REST API [7]. Запит повертає достатньо велику кількість інформації про хост та його сервіси, але в застосуванні використовуються такі дані: IP, порт та CPE (Common Platform Enumeration). CPE – це стандартизований метод опису та ідентифікації класів програм, операційних систем і апаратних пристроїв, присутніх серед обчислювальних активів підприємства [8].

Застосування, як було зазначено, включає в себе тестування на проникнення. З цієї причини першим завданням є виявлення вразливих місць, які можна використати для проникнення в комп’ютерну мережу, що тестується.

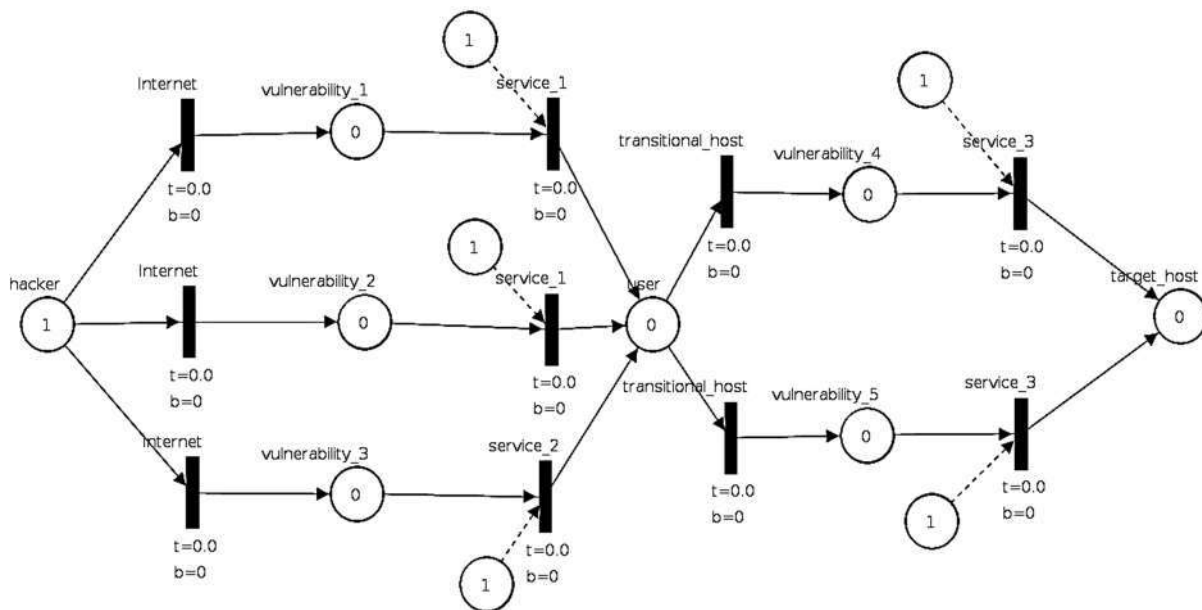


Рис. 3. Мережа Петрі, що моделює проникнення хакера всередину інформаційної системи, що має просту архітектуру

IP та порт – це дані, що в подальшому використовуються як вхідні дані мережі Петрі, а за допомогою CPE відбувається ідентифікація наявних вразливостей, використовуючи пошук у NVD (National Vulnerability Database). NVD – це державне сховище даних управління вразливостями на основі стандартів США [9]. Пошук у NVD за CPE повертає список ідентифікаторів вразливостей сервісу CVE (Common Vulnerabilities and Exposures), що є списком загроз і ризиків інформаційної безпеки. Ідентифікатор вразливостей має формат CVE-0000-0000 [10-12].

Для генерування моделі за допомогою мережі Петрі необхідні характеристики кожної вразливості. Така інформація представлена в зручному вигляді на ресурсі CVE Details [13]. Через відсутність бібліотеки для взаємодії з ресурсом, збір даних відбувається з використанням фреймворку Selenium для Java, який є платформою для управління браузерами за допомогою драйвера WebDriver.

Вхідними даними моделі є IP-адреси, CVE ID, тип доступу (локальний/віддалений) складність (проста, середня, висока), автентифікація (права необхідні для експлуатації сервісу) і набуті права доступу.

Рисунок 4 демонструє архітектуру програмного забезпечення, що розроблено.



**Висновки відповідно до статті.** Запропоновано спосіб проведення тестів на проникнення без експлуатації інформаційної системи. Проникність системи оцінюється за допомогою моделі, побудованої з використанням мережі Петрі. Представлено архітектуру програмного забезпечення, що за допомогою загальнодоступних способів пасивного сканування хостів організації визначає сервіси та їх вразливості. На основі зібраної та наданої інформації про інфраструктуру системи автоматично генерується модель системи, результатом імітації якої є час розповсюдження атаки. Таким чином, це дає можливість оцінити критичність наявності певної вразливості в системі та зробити висновки щодо її усунення або прийняття ризику, який існує через її наявність у системі.

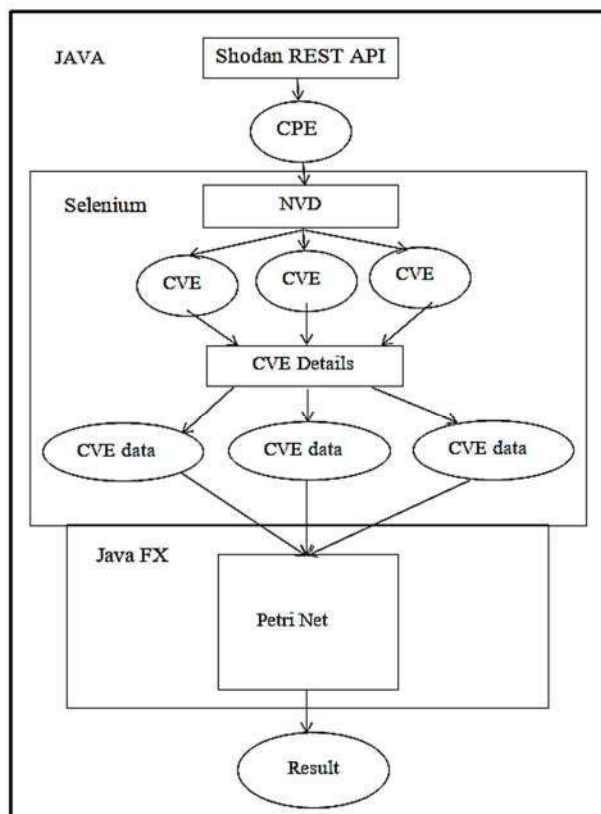


Рис. 4. Архітектура програмного забезпечення

#### Список використаних джерел

1. McDermott J. P. Attack Net Penetration Testing. *Proc. of the 2000 Workshop on New Security Paradigm*. 2000. URL: <https://www.nspw.org/papers/2000/nspw2000-mcdermott.pdf>.
2. Yang L., Yang X. The effect of network topology on the spread of computer viruses: A modeling study. *International Journal of Computer Mathematic*. 2017. Vol. 94, № 8. P. 1–19.
3. Guo H., Cheng H. K., Kelley K. Impact of Network Structure on Malware Propagation: A Growth Curve Perspective. *Journal of Management Information Systems*. 2016. Vol. 33, № 1. P. 296–325.
4. Xinlei Li, Di Li. A Network Attack Model based on Colored Petri Net. *Journal of networks*. 2014. Vol. 9, № 7. P. 1883–1891. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/003a/05bc845716439ed2c1ef494ac1e8ae7585bb.pdf>.
5. Stetsenko I. V., Dyfuchyn A., Leshchenko K., Davies J. Web application for visual modeling of discrete event systems. *Proceedings of the Seventh International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA2017)* / Picking R., Cunningham S., Houlden N., Oram D., Grout V., Mayers J. (eds). Wrexham, UK, 2017. P. 86–91.
6. Shodan. URL: <https://www.shodan.io>.
7. Shodan REST API Documentation. URL: <https://developer.shodan.io/api/>.
8. Common Platform Enumeration (CPE). URL: <https://csrc.nist.gov/Projects/Security-Content-Automation-Protocol/Specifications/cpe>.
9. National Vulnerability Database. URL: <https://nvd.nist.gov>.
10. A Complete Guide to the Common Vulnerability Scoring System Common Vulnerabilities and Exposures. URL: <https://www.first.org/cvss/v2/guide>.
11. CVE official. URL: <https://cve.mitre.org>.
12. CVE format. URL: <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE>.
13. CVE Details – the ultimate security. URL: <https://www.cvedetails.com>.

#### References

1. McDermott, J. P. (2000). Attack Net Penetration Testing. *Proc. of the 2000 Workshop on New Security Paradigm*. Retrieved from <https://www.nspw.org/papers/2000/nspw2000-mcdermott.pdf>.
2. Yang, L., Yang, X. (2017). The effect of network topology on the spread of computer viruses: A modeling study. *International Journal of Computer Mathematic*, 94 (8), 1–19.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Guo, H., Cheng, H. K., Kelley, K. (2016). Impact of Network Structure on Malware Propagation: A Growth Curve Perspective. *Journal of Management Information Systems*, 33 (1), 296–325.
4. Xinlei, Li, Di, Li (2014). A Network Attack Model based on Colored Petri Net. *Journal of networks*, 9 (7), 1883–1891. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/003a/05bc845716439ed2c1ef494ac1e8ae7585bb.pdf>.
5. Stetsenko, I. V., Dyfuchyn, A., Leshchenko, K., Davies, J. (2017). Web application for visual modeling of discrete event systems. In: *Picking R., Cunningham S., Houlden N., Oram D., Grout V., Mayers J. (eds) Proceedings of the Seventh International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA2017)* (pp. 86-91). Wrexham, UK [in English].
6. Shodan. [shodan.io](https://www.shodan.io). Retrieved from <https://www.shodan.io>.
7. Shodan REST API Documentation. *developer.shodan.io*. Retrieved from <https://developer.shodan.io/api/>.
8. Common Platform Enumeration (CPE). *csrc.nist.gov*. Retrieved from <https://csrc.nist.gov/Projects/Security-Content-Automation-Protocol/Specifications/cpe>.
9. National Vulnerability Database. *nvd.nist.gov*. Retrieved from <https://nvd.nist.gov>.
10. A Complete Guide to the Common Vulnerability Scoring System Common Vulnerabilities and Exposures. *first.org*. Retrieved from <https://www.first.org/cvss/v2/guide>.
11. CVE official. *cve.mitre.org*. Retrieved from <https://cve.mitre.org>.
12. CVE format. *nvd.nist.gov*. Retrieved from <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE>.
13. CVE Details – the ultimate security. *cvedetails.com*. Retrieved from <https://www.cvedetails.com/>.

UDC 004.056.5

Inna Stetsenko, Viktoriia Savchuk

## AUTOMATING WEB ATTACK PENETRATION TESTING METHOD

**Urgency of the research.** Increasing opportunities for network expansion and choice in the use of services in today's world leads to security gaps. For this reason, the simulation of the system allows reproducing the characteristics of an information attack, as well as assessing the level of its danger.

**Target setting.** No software application allows you to simulate and evaluate the security of an information system without interfering with the system.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The process of modeling attacks using Petri nets has been discussed in several papers by foreign authors.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The existing models of graph attacks were created only for specific network architecture. The problem remained is the creation of a universal automated application based on the input data about the network architecture.

**The research objective.** Automation of detection of external vulnerabilities for the analysis of the security of information system, by the development of software application, models using Petri nets of distribution of attack depending on its architecture.

**The statement of basic materials.** The software application is developed based on the Java programming language, including the Java FX graphical shell, Shodan REST API is used to search for host services, NVD and CVE details resources are used to identify vulnerabilities. The collected data uses a separate software module that works with the creation of a model based on the Petri net.

**Conclusions.** The proposed method makes it possible to automate the verification of the information system for vulnerability to hacker attacks.

**Keywords:** cyber-attack simulation; penetration test; vulnerabilities; Petri net.

Fig.: 4. References: 13.

**Стетенко Інна Вячеславівна** – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

**Stetsenko Inna** – Doctor of Science, Professor of Computer-Aided Management And Data Processing Systems Department, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [stiv.inna@gmail.com](mailto:stiv.inna@gmail.com)

**SCOPUS Author ID:** 55368781500

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4601-0058>

**ResearcherID:** C-1512-2019

**Савчук Вікторія Володимирівна** – студентка, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

**Savchuk Viktoriia** – student, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [viktoria859@gmail.com](mailto:viktoria859@gmail.com)

УДК 004.78:004.056

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-104-113

Тетяна Смірнова

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

**Актуальність теми дослідження.** У наш час будь-яка галузь виробництва потребує застосування інформаційних технологій. Виготовлення деталей із покриттями, їх зміцнення та відновлення не є винятком. У цій роботі запропонована формалізація структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи, наведена її реалізація.

**Постановка проблеми.** Комбінаторна складність технологічного процесу налічує чотири можливих варіанти. Для такої кількості варіантів, є доцільним проведення оптимізації для чотирьох ланцюгів технологічних операцій, з обранням результату, що матиме кращий результат згідно вагової функції. Аналізування руху інформації при проведенні оптимізації технологічного процесу на основі ланцюга технологічних операцій виявляє потребу в забезпеченні в інформаційній системі, що є актуальною задачею. Також актуальним є необхідність підтримки в інформаційній системі визначення залежностей між величинами аналітичними методами, таблично, алгоритмічно та за допомогою імітаційних моделей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У теперішній час активно розроблюються інформаційні системи підтримки прийняття рішень для забезпечення оптимізації окремих технологічних процесів. Однак не вистачає систем для вирішення задачі побудови оптимізованого ланцюга технологічного процесу та систем вибору більш оптимального технологічного процесу. Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що питання застосування інформаційних технологій у вигляді відповідних експертних систем в технологічних процесах дуже актуальне. Тому проблема оптимізації ланцюга технологічного процесу в інформаційному забезпеченні експертних систем, актуальна.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Інформаційні одиниці є функціонально різними, деякі величини мають здатність змінювати функціональну здатність переходом від шуканих величин до обмежень на технологічну операцію, що накладає на систему керування змінними додаткові функціональні можливості та універсальність до трансформації моделювання технологічного процесу.

**Постановкою завдання** є формалізація та реалізація структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи.

**Виклад основного матеріалу.** Зроблено формалізацію технологічного процесу електродугового напилення та запропоновано реалізацію структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті аналізу руху інформації при проведенні оптимізації технологічного процесу на основі ланцюга технологічних операцій виявлено потребу в забезпеченні в інформаційній системі.

**Ключові слова:** технологічний процес; електродугове напилення; експертна система.

Рис.: 2. Табл.: 4. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Нині будь-яка галузь виробництва потребує застосування інформаційних технологій. Виготовлення деталей із покриттями, їх зміцнення та відновлення не є винятком. У цій роботі розглянуто формалізацію та запропоновано реалізацію структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи.

**Постановка проблеми.** Комбінаторна складність технологічного процесу налічує чотири можливих варіанти. Для такої кількості варіантів, є доцільним проведення оптимізації для чотирьох ланцюгів технологічних операцій, з обранням результату, що матиме кращий результат згідно з ваговою функцією. Аналізування руху інформації при проведенні оптимізації технологічного процесу на основі ланцюга технологічних операцій виявлено потребу в забезпеченні в інформаційній системі, що є актуальним завданням. Також актуальним є необхідність підтримки в інформаційній системі визначення залежностей між величинами аналітичними методами, таблично, алгоритмічно та за допомогою імітаційних моделей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У теперішній час активно розроблюються інформаційні системи підтримки прийняття рішень для забезпечення оптимізації окремих технологічних процесів [1-8]. Систем для вирішення задачі побудови оптимізованого ланцюга технологічного процесу та систем вибору більш оптимального технологічного процесу не вистачає. Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що питання застосування інформаційних технологій у вигляді відповідних експертних систем в технологічних процесах дуже актуальне [1-3; 5-8]. Тому проблема оптимізації ланцюга технологічного процесу в інформаційному забезпеченні експертних систем актуальна.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Інформаційні одиниці є функціонально різними, деякі величини мають здатність змінювати функціональну здатність переходом від шуканих величин до обмежень на технологічну операцію, що накладає на систему керування змінними додаткові функціональні можливості та універсальність до трансформації моделювання технологічного процесу.

**Метою статті** є формалізація та реалізація структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи.

**Виклад основного матеріалу.**

**Формалізація структури технологічного процесу електродугового напилення.**

Технологічний процес електродугового напилення в процесі створення виробів із покриттям, а також при відновленні або зміцненні поверхонь деталей, складається з поетапної обробки:

- 1) струменево-абразивної обробки (САО);
- 2) при потребі нанесення підшару;
- 3) основний процес нанесення покриття;

4) доведення утвореної поверхні з покриттям до необхідних розмірів і якості (параметри  $R_z$  або  $R_a$ ) методами механічної обробки (МО), найчастіше чорновим або чистовим шліфуванням і методами поверхнево-пластичної обробки (ППД), а саме обкаткою кульками й роликками, електроконтактною обробкою та інше.

Перший етап призначений для збільшення шорсткості поверхні деталі, на яку наноситься покриття, для отримання необхідної адгезійної міцності (міцності зчеплення) системи «основа-покриття». Підшар має функцію усунення несумісності властивостей основного матеріалу (матеріалу поверхні деталі, на яку наноситься покриття) та матеріалу покриття. Для забезпечення міцності зчеплення системи «основа-покриття» використовують підшар із молібдену або ніхрому.

Основний процес нанесення покриття здійснюється розплавленням його електричною дугою і перенесенням за допомогою струменя стисненого повітря на поверхню деталі. Для запобігання утворення окислів і регулювання вмісту вуглецю, у повітря можна додавати пропан, завдяки горінню якого зменшується вміст кисню в струмені, а швидкість витоку газу в струмені може сягати кілька швидкостей звуку.

Доведення поверхні до стандартів деталі проводять механічною обробкою на шліфувальних верстатах, методами поверхнево-пластичного деформування, електроконтактною обробкою та іншими.

У результаті огляду процесу створення поверхонь деталей із покриттями методом електродугового напилення (ЕДН) отримано таку структурну схему ланцюга технологічних операцій (рис. 1):



*Рис. 1. Структура операцій створення поверхонь деталей із покриттями методом електродугового напилення*

Відповідно до початкових умов та вимог до результату, друга технологічна операція може і не виконуватися, тому комбінаторна складність технологічного процесу (ТП) має чотири можливих варіанти. Для такої кількості варіантів є доцільним проведення оптимізації для чотирьох ланцюгів технологічних операцій з обранням результату, що матиме кращий результат згідно з ваговою функцією.

Схема руху інформації в процесі оптимізації технологічного процесу створення поверхонь деталей із покриттями методом ЕДН наведена на рис. 2.

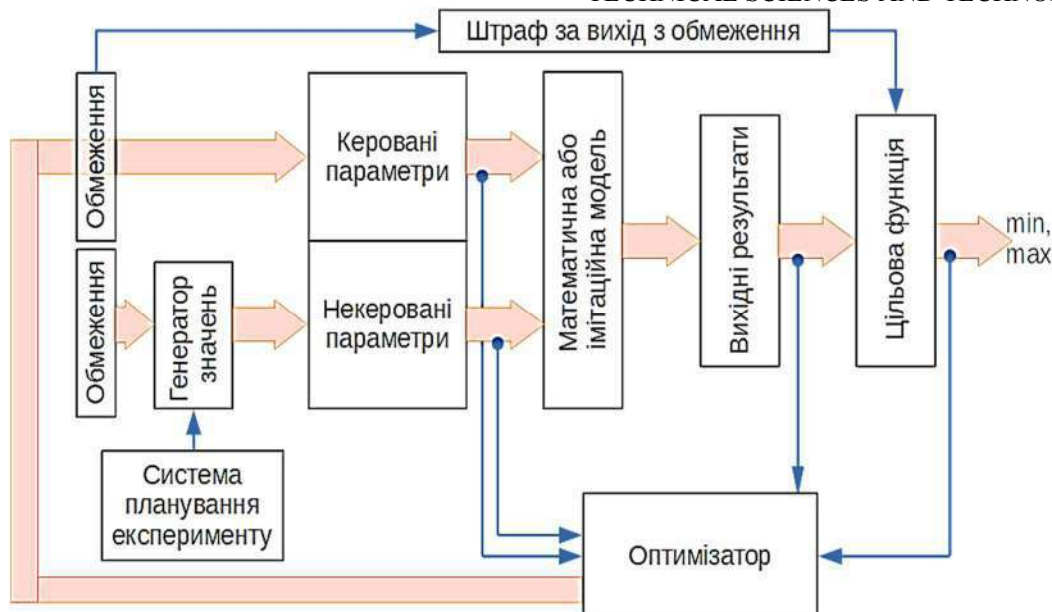


Рис. 2. Схема руху інформації в процесі оптимізації технологічного процесу створення поверхонь деталей із покриттями методом ЕДН

Як видно зі схеми руху інформації на рис. 2, яка побудована на основі [1, рис. 4], кожна технологічна операція повинна відокремити такі вектори величин:

–  $\vec{X}$  – контрольовані величини процесу. Для цих величин існують обмеження  $x_{\min i} \leq x_i \leq x_{\max i}$ ;

–  $\vec{V}$  – відомі але не контрольовані величини процесу;

–  $\vec{Z}$  – невідомі та не контрольовані величини;

–  $\vec{R}$  – випадкові величини, що впливають на процес;

–  $\vec{Y}$  – параметри, які досягаються в процесі технологічної обробки.

Для вказаних величин технологічного процесу є рівняння (1), де параметри процесу  $\vec{X}$  є шуканою величиною:

$$\vec{Y} = F(\vec{X}, \vec{V}, \vec{Z}, \vec{R}), \quad (1)$$

Однак для технологічного процесу, який складається з ланцюга технологічних операцій, рівняння (1) перетворюється в систему рівнянь (2):

$$\begin{cases} \vec{Y}_k = F_k(\vec{X}_k, \vec{V}_k, \vec{Z}_k, \vec{R}_k), \\ \vec{Y}_{k-1} = F_{k-1}(\vec{X}_{k-1}, \vec{V}_{k-1}, \vec{Z}_{k-1}, \vec{R}_{k-1}), \\ \vec{Y}_1 = F_1(\vec{X}_1, \vec{V}_1, \vec{Z}_1, \vec{R}_1), \end{cases} \quad (2)$$

де результати попередньої технологічної операції можуть бути частково або повністю вводити як параметр наступної технологічної операції, тобто:

$$\vec{X}_i \cap \vec{Y}_{i-1} \neq 0.$$

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

На практиці невідомі та випадкові параметри не враховують, або допускають їх використання, як випадкових величин. У разі наявності переліку таких випадкових параметрів, необхідно визначити (або визначають) межі зміни керованих величин за допомогою методів або аналітичного оцінювання відхилення результату, або використавши повно факторний експеримент, при змінюванні лише величин, які входять до  $\vec{Z}$  та  $\vec{R}$ .

Технологія електродугового напилення складається з трьох операцій (3):

$$\begin{cases} \vec{Y}_3 = F_3(\vec{X}_3 \cup \vec{Y}_2, \vec{V}_3, \vec{Z}_3, \vec{R}_3), \\ \vec{Y}_2 = F_2(\vec{X}_2 \cup \vec{Y}_1, \vec{V}_2, \vec{Z}_2, \vec{R}_2), \\ \vec{Y}_1 = F_1(\vec{X}_1, \vec{V}_1, \vec{Z}_1, \vec{R}_1), \end{cases} \quad (3)$$

де  $F_1$  – математична модель абразивно-струменевої обробки (CAO);  $F_2$  – математична модель процесу нанесення підшару;  $F_3$  – математична модель процесу нанесення основного шару (покриття).

Завдяки розділенню технологічних операцій спрощується побудова цільової функції. Окремо будуються функції за такими параметрами:

Відповідність до вимог готового виробу:

$$G(\vec{Y}_3) = \sum_{i=0}^{n-1} \text{ReLu}(\vec{Y}_e - \vec{Y}_3)_i, \quad (4)$$

де  $\vec{Y}_e$  – вимоги до виробу, як n-вимірний вектор значень,  $\vec{Y}_3$  – результат обробки;  $i$  – індекс параметру у векторі;  $\text{ReLu}()$  – функція відсікання від'ємних значень (5):

$$\text{ReLu}(x) = \begin{cases} x, & \text{if } (x > 0), \\ 0, & \text{if } (x \leq 0). \end{cases} \quad (5)$$

Мінімальне значення (4) є нуль, коли всі параметри відповідають або перевищують задані вимоги. Так можна формувати вимоги до різальних кромek інструментів, наприклад, плугів. У разі потреби штрафування системи, коли результати обробки також перевищують задані параметри, можна  $\text{ReLu}()$  замінити абсолютним значенням або квадратичною функцією. Це відбувається, коли деталі взаємодіють тертю. Тоді поверхні повинні мати схожі характеристики матеріалів, тому що тут є важливим зменшення саме відхилення параметрів від заданих величин, і перевищення вимог до твердості так само погано як і недостача. Часто для таких випадках використовують Декартову відстань на багатовимірному просторі, що відкриває можливість використовувати для багатьох випадків аналітичні методи оптимізації – метод найменших квадратів. У розглянутому прикладі створення різального інструменту з покриттям підвищення вимог щодо зносостійкості, твердості, міцності зчеплення покриття з основою, зверху не регламентується, тому використання обмеження за мірою (4) є обґрунтованим.

Для врахування часових  $T$  та матеріальних  $M$  витрат, відповідно використовують залежності (6):

$$\begin{aligned} T &= \sum_{k=1}^3 T_k(\vec{X}_k \cup \vec{Y}_{k-1}, \vec{V}_k), \\ M &= \sum_{k=1}^3 M_k(T_k, \vec{X}_k \cup \vec{Y}_{k-1}, \vec{V}_k), \\ \vec{Y}_0 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

До системи (6) додано  $\vec{Y}_0 = 0$ , бо перша операція не вимагає результатів попередньої, тому до керованих величин першої операції додається пуста множина.

До матеріальних витрат входять заробітна плата працівникам, оренда приміщення, та інші параметри, які залежать від часу проведення технологічної операції, видів і об'ємів матеріалів та енергоносіїв у грошовому еквіваленті. Повна функція витрат  $G$ , результат якої повинен бути дійсним числом, є лінійною комбінацією (4) та (6):

$$G = c_0 G(\vec{Y}_3) + c_1 \sum_{k=1}^3 M_k + c_2 \sum_{k=1}^3 T_k \rightarrow \min, \quad (7)$$

де  $c_0, c_1, c_2$  – додатні дійсні коефіцієнти, які відбивають пріоритетність досягнення тих чи інших показників.

У випадках необхідності дотримання технічних вимог до виробу та обмеженні максимального часу виробництва, вираз (7) можна представити в іншій формі, наприклад:

$$\begin{cases} G(\vec{Y}_3) = 0, \\ c_1 \sum_{k=1}^3 M_k + c_2 \sum_{k=1}^3 T_k \rightarrow \min. \end{cases} \quad (8)$$

Це свідчить про поділ вагового виразу на вимоги та критерій оптимальності, де вимог може бути кілька, а критерій оптимальності повинен бути єдиним. У разі відсутності критичних вимог, критерію оптимальності (7) достатньо для оптимізації ланцюга технологічних операцій.

#### **Реалізація структури технологічного процесу електродугового напилення.**

Відповідно до формалізованих записів (3), (6) та (8) для побудови системи оптимізації потрібно визначити перелік використовуваних змінних та залежностей.

З погляду матеріалознавства, методом повнофакторного планування та проведення експерименту визначено параметри, які з достатньою точністю дають керування результатами обробки [10]. Також для визначення міцності зчеплення часто доступні дані. Приклад експериментальної залежності зміни міцності зчеплення основи з нанесеним покриттям наведено в табл. 1 [9].

Таблиця 1

*Вплив способу підготовки поверхні із сталі 20 на міцність зчеплення її з покриттям із порошкового дроту 40X13*

Спосіб підготовки поверхні	Шорсткість $R_z$ , мкм	Міцність зчеплення, МН/м <sup>2</sup>
Механічна обробка (точіння)	10	50
	14	65
	16	120
Струменево-абразивна обробка корундом зернистістю 450-980 мкм при тиску повітря 0,45 МПа	20	56
	22	101
	24	115
	27	140
	36	90
	38	65
	39	35
Струменево-абразивна обробка сталевими кульками 0,5...1 мм при тиску повітря 0,45 МПа протягом 150 с	2..3	43..72

У результаті, для першої операції струменево-абразивної обробки маємо основні параметри:

- $t_1$  – час обробки;
- $p_1$  – тиск повітря в системі обробки;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- $P_1$  – енергоспоживання устаткування для струменево-абразивної обробки;
- $r_1$  – час амортизації устаткування;
- $m_1$  – вартість устаткування;
- $m_{P1}$  – вартість енергетичних ресурсів та матеріалів, які використовуються за одиницю часу в обраному режимі роботи;
- $\sigma$  – твердість матеріалу, який обробляється.

Однак не всі вказані величини впливають на міцність зчеплення покриття:

$Y_1 = H (<t_1, p_1, \sigma, \{\text{хімічний склад основи}\}, \{\text{вид покриття}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}>)$ .

де –  $t_1 = T_1 (<p_1, \sigma >)$  – тут час обробки залежить від тиску повітря в системі, тобто від сили взаємодії абразиву з матеріалом та від твердості оброблювального матеріалу. Абразив у цьому процесі вважається незмінним і входить до вартості устаткування;

–  $M_1 = M_1 (<t_1, r_1, P_1, m_1, m_{P1}, p_1 >)$  – матеріальні витрати здебільшого залежать від часу роботи устаткування та його зносостійкості. Ці параметри можна виразити з режиму навантаження та часу роботи. Також залежить від режиму роботи й потужність енергоспоживання. Ці величини можна визначити з робочого тиску повітря в системі та часу роботи системи, який потрібний до досягнення бажаного результату. Матеріальні витрати зводять до скалярної величини через їхню вартість, або за кількістю або за часом використання в процесі.

У випадках нехтування вартістю процесу на користь зменшення часу виробництва, функцією вартості знехтувати повністю не можна, бо устаткування при перенавантаженні може вийти з ладу, що зупинить виробничий процес. Тому розрахунок розпадається на оптимізацію за мінімізацією часу з обмеженням на гарантованість залишення устаткування в стані можливості обробити задану кількість деталей.

Залежність вказаних величин можна побачити в табл. 2.

Таблиця 2

*Величини, які враховуватимуться в підготовчому етапі створення виробів із покриттям, а також при відновленні або зміцненні поверхонь деталей*

№	Назва	Позначення	Залежність
1	Час обробки	$t_1$	Шукане/задане $p_1, \sigma, \{\text{вид покриття}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}$
2	Тиск повітря в системі обробки	$p_1$	Шукане $t_1, \sigma, \{\text{вид покриття}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}$
3	Енергоспоживання устаткування для струменево-абразивної обробки	$P_1$	Шукане, $p_1$
4	Час амортизації устаткування	$r_1$	Задане, $p_1$
5	Вартість устаткування	$m_1$	Задане
6	Вартість енергетичних ресурсів та матеріалів	$m_{P1}$	Задане
7	Твердість матеріалу, який обробляється	$\sigma$	Задане
8	Хімічний склад основи	$\{\text{хімічний склад основи}\}$	Шукане/задане, з переліку доступних $\{\text{вид покриття}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}$
9	Вид покриття	$\{\text{вид покриття}\}$	Шукане/задане, з переліку доступних $\{\text{хімічний склад основи}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}$
10	Технологія нанесення покриття	$\{\text{технологія нанесення покриття}\}$	Шукане/задане, з переліку доступних $\{\text{хімічний склад основи}\}, \{\text{вид покриття}\}$
11	Міцність зчеплення (адгезійна міцність)	$A_1$	$t_1, p_1, \{\text{хімічний склад основи}\}, \{\text{технологія нанесення покриття}\}, \{\text{вид покриття}\}$



У табл. 2 наведено назви величин, які враховуються в процесі оптимізації технологічної операції струменево-абразивної обробки поверхні для підвищення адгезії  $A$  до заданого значення при мінімальних витратах ресурсів. Деякі величини з таблиці мають взаємну залежність, що свідчить про те, що система утворює систему, можливо нелінійних, рівнянь з кількома невідомими. В загальному випадку таку систему розв'язувати аналітично є не доцільним з причини відсутності способів аналітичного розв'язання або значної складності цих методів розв'язання.

Натомість, для вираження групи шуканих параметрів через відомі параметри з виконанням накладених на них обмежень та досягнення мінімального/максимального значення вагової функції, яка виражає обсяг витрат, використовують чисельні методи та аналітичні регресійні поліноми за експериментальними даними, які або дозволяють отримати аналітичний розв'язок або прямо виражають параметри процесу через задані результати та обмеження.

Наступні етапи обробки проводять на однаковому устаткуванні, лише процеси відмінні в матеріалах, які утворюють шар та підшар, а також відрізняються товщиною шару та прошарку.

Прошарок використовується в технології електродугового напилення, коли матеріал поверхневого шару має хімічну несумісність з основним матеріалом, або основний шар не може утворити достатню адгезійну міцність із основним матеріалом. Тому матеріал для утворення прошарку має бути хімічно нейтральним до матеріалу деталі та основного шару і мати достатню адгезію до матеріалів основи та покриття. В особливо важких випадках є виправданим використання прошарку з молібдену або ніхрому, який має високу адгезію з більшістю матеріалів. Важливим є те, що для адгезійного прошарку достатньо нанесення матеріалу шаром в декілька десятків мікрон, тому використання молібдену або ніхрому не призводить до значного зростання вартості процесу. Приведемо результати експериментів з нанесення покриттів методом електродугового напилення [10] (табл. 3).

Таблиця 3

*Величини, які враховуватимуться на етапі електродугового напилення при створенні покриттів при виготовленні деталей або їх відновленні та зміцненні*

№	Назва	Позначення	Залежність
1	Напруга дуги	$U$	Шукане 28...34 В
2	Дистанція напилення	$L$	Шукане 80...200 мм
3	Діаметр дроту	$d$	Шукане 1,2...2,2 мм
4	Товщина прошарку/покриття	$h$	Шукане 0,5...3,0 мм – для покриття <0,5 – для прошарку
5	Тиск в камері	$p$	Шукане 2...10 МПа
6	Швидкість ковзання	$v$	Шукане 2,0...2,75 м/с
7	Пористість	$\rho$	Шукане/задане, <10%
8	Мікротвердість	$\sigma$	Шукане/задане, 6900..73000 МПа
9	Зносостійкість	$J$	Шукане/задане, 11...15 мкм/км ( $10^{-12}$ )
10	Хімічний склад основи	{хімічний склад основи}	Задане, з переліку доступних {вид покриття}
11	Вид покриття	{вид покриття}	Шукане/задане, з переліку доступних {хімічний склад основи}

На жаль, моделювання фізико-хімічних процесів при електродуговому нанесенні покриттів є складним, у результаті чого відокремити незалежні параметри майже неможливо. Тому для побудови математичних залежностей для електродугового напилення було використано метод регресійного аналізу на отриманих експериментально даних [10] (табл. 4).

Таблиця 4

Експеримент з виявлення залежності між керованими та шуканими величинами процесу електродугового напилення

Фактори	Напруга дуги	Дистанція напилення	Діаметр дроту	Товщина покриття	Навантаження	Швидкість ковзання	Міцність зчеплення	Зносостійкість
№ експ.	$U$ , В	$L$ , мм	$d$ , мм	$h$ , мм	$P$ , МПа	$V_{ск}$ , м/с	$A$ , МПа	$J_h$ , мкм/км ( $10^{-9}$ )
1	30	140	1,6	1,5	6	2,3	115	0,014
2	32	100	1,4	2,5	4	2,6	90	0,013
3	29	180	2	1	8	2,15	120	0,013
4	34	200	1,2	2	8	2	95	0,014
5	30	120	1,8	0,5	2	2,45	100	0,012
6	28	160	1,6	1,5	10	2,75	80	0,015
7	31	80	2,2	3	4	2,3	110	0,013
8	29	160	1,2	3	2	2	80	0,011
9	32	100	1,8	1,5	8	2,45	115	0,015
10	31	200	1,4	1	6	2,6	70	0,014
11	28	140	2	2,5	10	2,15	90	0,015
12	32	120	1,4	1	6	2,15	105	0,013
13	29	180	2	2,5	2	2,6	90	0,012
14	30	80	1,6	2	10	2,75	120	0,015
15	34	140	2,2	0,5	4	2,3	60	0,013
16	29	120	1,2	2	6	2,15	75	0,012

Відповідно до обраного методу реалізації математичної моделі процесу, користувач інформаційної системи повинен мати можливість використовувати аналітичні моделі, табличне задання залежності між величинами, або аналітичні або алгоритмічні методи числових засобів моделювання процесу, який оптимізується.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті аналізування руху інформації при проведенні оптимізації технологічного процесу на основі ланцюга технологічних операцій виявлено потребу в забезпеченні в інформаційній системі можливості:

- визначення множини технологічних операцій  $F_k$  ;
- забезпечення для кожної з операцій перелік керованих  $\vec{X}_k$  та некерованих  $\vec{V}_k$  параметрів з їх обмеженнями;
- завдання методів розрахунку близькості виконання поставлених вимог  $G(\vec{Y}_k)$  ;
- завдання методів розрахунку часових та матеріальних витрат по кожній технологічній операції за формулами (7) або (8);
- забезпечення таблично, аналітично або комп'ютерним симулюванням реалізації методів моделювання технологічних операцій (3).

У результаті аналізу технологічних операцій підготовки поверхні деталей методом струменево-абразивної обробки, з метою підвищення адгезії покриття з основою, та нанесення електродуговим методом підшарку та шару основного покриття, виділено величини, які можуть виступати як характеристики результатів технологічної операції та як керовані

параметри технологічних операцій. Зазначено необхідність підтримки в інформаційній системі визначення залежностей між величинами аналітичними методами, таблично, алгоритмічно та за допомогою імітаційних моделей. Розглянуті інформаційні одиниці є функціонально різними, деякі величини мають здатність змінювати функціональну здатність переходом від шуканих величин до обмежень на технологічну операцію, що накладає на систему керування змінними додаткові функціональні можливості та універсальність до трансформації моделювання технологічного процесу.

### Список використаних джерел

1. Хох В. Д., Мелешко Є. В., Якименко М. С. Дослідження методів побудови експертних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. Вип. 4(40). С. 48–52.
2. Скрипка К. І., Зенкин М. А. Експертна система автоматизованого вибору способів відновлення спрацьованих деталей. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2004. № 1 (28). С. 66–68.
3. Лимаренко В. В. Інформаційна система підтримки рішень для автоматизації створення технологічних процесів механообробки деталей високоточного обладнання: дис. ... канд. техн. наук / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2019.
4. Анфёров М. А., Селиванов С. Г. Структурная оптимизация технологических процессов в машиностроении. Уфа: Гилем, 1996. 185 с.
5. Балдин К. В., Уткин В. Б. Информационные системы в экономике: учебник. 5-е изд. Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К0», 2008. 395 с.
6. Искусственный интеллект. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы / под ред. Э. В. Попова. Москва: Радио и связь, 1990. 464 с.
7. Корнеев В. В., Гарев А. Ф., Васютин С. В., Райх В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. Нолидж, 2000. 352 с.
8. Макарчук Т. А., Минаков В. Ф., Щугорева В. А. Облачные решения построения информационных систем управления ресурсами организации. *Research Journal of International Studies*. 2014. № 1 (20). С. 68–69.
9. Харламов Ю. О., Романченко О. В., Міцик А. В. Міцність зчеплення детонаційно-газових покриттів на основі карбідів вольфраму та хрому. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2019. № 1 (249). С. 99–107.
10. Ворона Т. В. Підвищення зносостійкості сталевих газотермічних покриттів електроконтактною обробкою з використанням вуглецевовмісних наповнювачів: дис. ... канд. техн. наук / Національна академія наук України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля. Київ, 2016.

### References

1. Khokh, V. D., Meleshko, Ye. V., Yakymenko, M. S. (2016). Doslidzhennia metodiv pobudovy ekspertnykh system. [Research of methods of construction of expert systems]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Control, navigation and communication systems*, 4 (40), 48–52 [in Ukrainian].
2. Skrypka, K. I., Zenkyn, M. A. (2004). Ekspertna sistema avtomatyzovanoho vyboru sposobiv vidnovlennia spratsovanykh detalei [Expert system for automated choice of ways to recover parts]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky – Bulletin. Engineering sciences*, 1 (28), 66–68 [in Ukrainian].
3. Lymarenko, V. V. (2019). *Informatsiina sistema pidtrymky rishen dlia avtomatyzatsii stvorennia tekhnolohichnykh protsesiv mekhanoobrobky detalei vysokotochnoho obladdannia* [Information support system for automation of creation of technological processes for machining parts of high-precision equipment]. (Candidate's thesis). National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv [in Ukrainian].
4. Anferov, M. A., Selivanov, S. G. (1996). *Strukturnaia optymyzatsiia tekhnolohycheskykh protsessov v mashynostroenyy* [Structural optimization of technological processes in mechanical engineering]. Ufa: Guelem [in Russian].
5. Baldyn, K. V., Utkin, V. B. (2008). *Informatsyonnye sistemy v ekonomike* [Information systems in economics] (5th ed.). Moscow: Dashkov & K0 Publishing and Trading Corporation [in Russian].
6. Popov, T. V. (1990). *Iskusstvennyi yntellekt. Kn. 1. Systemy obshcheniia i ekspertnye sistemy* [Artificial intelligence. Book. 1. Communication systems and expert systems]. Moscow: Radio and Communication [in Russian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Korneev, V. V., Garev, A. F., Vasiutin, S. V., Raikh V. V. (2000). *Bazy dannykh. Intellectual-naia obrabotka informatii [Databases. Intelligent processing of information]*. Nolidge [in Russian].
8. Makarchuk, T. A., Mynakov, V. F., Shchuhoreva, V. A. (2014). Oblachnye resheniya postroyeniya ynformatsyonnykh system upravleniya resursamy orhanyzatsyy [Cloud solutions for building information systems for managing an organization's resources]. *Research Journal of International Studies*, 1 (20), 68–69 [in Ukrainian].
9. Kharlamov, Yu. O., Romanchenko, O. V., Mitsyk, A. V. (2019). Mitsnist zchepлення detonatsiino-hazovykh pokryttiv na osnovi karbidiv volframu ta khromu [The adhesive strength of detonation-gas coatings based on tungsten carbides and chromium]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia – Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl*, 1 (249), 99–107 [in Ukrainian].
10. Vorona, T. V. (2016). *Pidvyshchennia znosostykosti stalevykh hazotermichnykh pokryttiv elektrokontaktnoiu obroboiu z vykorystanniam vuhletsevovmisnykh napovniuvachiv [Increase of wear resistance of steel gas-thermal coatings by electro-contact processing with use of carbon-containing fillers]*. (Candidate's thesis). National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Superhard Materials. V. M. Granny, Kyiv [in Ukrainian].

UDC 004.78:004.056

Tetiana Smirnova

**FORMALIZATION AND IMPLEMENTATION OF THE STRUCTURE OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ELECTRIC ARC SPRAYING FOR THE OPTIMIZATION EXPERTS SYSTEM**

**Relevance of the research topic.** Currently, any industry requires the use of information technology. Reinforcement and restoration of parts is no exception. In this paper, we consider formalization and propose the implementation of the structure of the technological process of electric arc spraying for an optimization expert system.

**Formulation of the problem.** The combinatorial complexity of the process has four possible options. For such a number of options, it is advisable to carry out optimization for four chains of technological operations, with the choice of the result that will have the best result in terms of weight function. Analysis of the movement of information during the optimization of the technological process on the basis of the chain of technological operations revealed the need for support in the information system is an urgent task. Also relevant is the need for support in the information system for determining the dependencies between values by analytical methods, tabularly, algorithmically and using simulation models.

**Analysis of recent research and publications.** Currently, information systems for decision support are being actively developed to ensure the optimization of individual technological processes. There are not enough systems to solve the problem of constructing an optimized technological process chain and systems for choosing a more optimal technological process. An analysis of recent studies and publications has shown that the issues of using information technologies in the form of relevant expert systems in technological processes are very relevant. Therefore, the problem of optimizing the process chain in the information support of expert systems is relevant.

**Highlighting previously unresolved parts of a common problem.** Information units are functionally different, some quantities have the ability to change the functional ability by moving from the desired values to the restrictions on the technological operation, imposes additional functionality and versatility on the variable management system to the transformation of the process simulation.

The aim of the article is to formalize and implement the structure of the technological process of electric arc spraying for an optimization expert system.

**Statement of the main material.** The formalization of the technological process of electric arc spraying is made and the implementation of the structure of the technological process of electric arc spraying for the optimization expert system is proposed.

**Conclusions.** As a result of the analysis of the movement of information during the optimization of the technological process on the basis of the chain of technological operations, the need for providing an information system is identified.

**Keywords.** Technological process; electric arc spraying; expert system.

Fig.: 2. Table: 4. References: 10.

**Смірнова Тетяна Віталіївна** – кандидат технічних наук, докторант Центральноукраїнського національного технічного університету (просп. Університетський, 8, м. Кропивницький, 25006, Україна).

**Smirnova Tetiana** – PhD in Technical Sciences, Doctoral Central Ukrainian National Technical University (8 University Av., 25006 Kropyvnytskyi, Ukraine).

**E-mail:** sm.tetyana@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6896-0612>

УДК 519.9:004.681

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-114-123

Володимир Хорошко, Михайло Шелест, Юлія Ткач

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТІВ  
ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ**

*Актуальність теми дослідження.* Багатокритеріальна оцінка ефективності проєктів є актуальним завданням у сфері кібербезпеки.

*Постановка проблеми.* Виникла нагальна потреба в різносторонньому та багатоаспектному оцінюванні ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки на різних етапах (при відборі проєктів, коли робота над ними ще не починалась, у процесі проведення робіт із виконання проєктів з метою оптимізації менеджменту та після виконання проєктів та коли дослідження завершені й можливо прослідкувати результати впровадження цих досліджень). Проте комплексна методика оцінки відсутня.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Зазвичай задачі оцінки та оптимізації об'єднують, вважаючи, що кінцева ціль полягає у зіставленні оцінок декількох альтернатив і вибір кращих із них. При такій постановці не розглядається випадок оцінки єдиного проєкту.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Методику, яка дала б можливість отримання нормованої оцінки одного проєкту безвідносно до наявності (або відсутності) інших проєктів, нині не запропоновано.

*Постановка завдання.* Розроблена методика призначена для вирішення актуального завдання проведення системного аналізу й отримання багатосторонньої характеристики проєктів, підвищення достовірності висновків про наукову значущість результатів, про соціальну й економічну ефективність запланованих і виконаних робіт у кібербезпеці.

*Виклад основного матеріалу.* Задача оцінювання складних об'єктів і процесів передбачають зіставлення безлічі різних, зазвичай суперечливих властивостей, що дає підстави віднести ці задачі до класу багатокритеріальних. Вирішення багатокритеріальних задач є утрудненим унаслідок складності їх формулювання. Розроблена методика багатокритеріальної оцінки ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки дає можливість проведення системного аналізу й отримання багатокритеріальної характеристики проєкту, підвищення достовірності висновків отриманих результатів про соціальну та економічну ефективність запланованих і виконуваних робіт у галузі інформаційної безпеки. За допомогою запропонованої методики вирішуються завдання формування системи критеріїв та показників ефективності забезпечення кібербезпеки; побудови формалізованої аналітичної і якісної оцінки забезпечення кібербезпеки за сукупністю критеріїв якості; візуалізованого представлення оцінки проєкту. У перспективі припускається використовувати отримані результати для оцінки ефективності проєктів в інших предметних галузях. Методика неприйнятна в тих випадках, коли якісні показники принципово не зводяться до кількісних (числових) величин і не можуть бути вимірні за існуючими шкалами. Методику не можна використовувати без додаткової модифікації, якщо є такі критерії, які можуть приймати тільки дискретні (цілочисельні) значення.

*Висновки відповідно до статті.* Розроблену методику при деякій модифікації можна застосовувати у різних галузях, зокрема у сфері кібербезпеки, як на етапі відбору проєктів, так і в процесі проведення робіт з виконання проєктів, а також після виконання проєктів.

*Ключові слова:* кібербезпека; багатокритеріальна оцінка; ефективність проєктів.

*Рис.: 1. Табл.: 5. Бібл.: 11.*

**Актуальність теми дослідження.** Завдання оцінювання ефективності забезпечення кібербезпеки – важлива проблема, від успішного вирішення якої залежить достовірність висновків про захищеність об'єкта, про економічність і фізичну ефективність робіт, що заплановані та виконані.

**Постановка проблеми.** Комплексна оцінка ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки сприятиме вирішенню актуального завдання проведення системного аналізу й отримання багатосторонньої характеристики проєктів, підвищення достовірності висновків про наукову значущість результатів, про соціальну й економічну ефективність запланованих і виконаних робіт у кібербезпеці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задача оцінювання складних об'єктів і процесів передбачають зіставлення безлічі різних, зазвичай суперечливих властивостей, що дає підстави віднести ці задачі до класу багатокритеріальних [1; 2]. Відомо, що вирішення багатокритеріальних задач є утрудненим унаслідок складності їх формулювання.

Для створення високоякісної збалансованої програми із забезпечення кібербезпеки зазвичай використовується метод експертних оцінок. До процесу оцінювання долучаються найбільш кваліфіковані вітчизняні й закордонні експерти. Участь закордонних експертів не завжди використовується, оскільки питання, пов'язані із забезпеченням кібербезпеки, мають певний рівень секретності.

Формування програми починається з підготовки та оголошення конкурсу про можливість участі в дослідженнях. За цими заявкам визначається кількість учасників, а також наукові й технічні галузі знань, за якими необхідно створювати експертні комісії.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Комісія обговорює сильні і слабкі сторони проєктів, обсяг розглянутих задач і ранжує проєкти згідно із запропонованими критеріями на підставі консенсусу. Комісія може також рекомендувати проєкти, які найкраще задовольняють цілям програми.

У монографії [3] розглянуто загальний випадок розробки технології підтримки прийняття рішень, коли потрібно вибрати альтернативу з множини неоднорідних альтернатив, для яких не можна сформувати єдину множину кількісних критеріїв оцінки. У цьому випадку задачі вирішуються методами, заснованими на ієрархічному цільовому оцінюванні альтернатив, без залучення критеріального аналізу. Водночас є великий клас задач прийняття рішень, коли для оцінки альтернатив можна залучити кількісні (або ті, що зводяться до них) критерії, які допускають операції в нормалізованому критеріальному просторі. Для таких задач застосовна теорія багатокритеріальної оцінки й оптимізації.

При формалізації рішення багатокритеріальних задач можна керуватися різними принципами. Концепція Чарнза-Купера [4] заснована на принципі «ближче до ідеальної (утопічної) точки». Різновид цієї концепції – метод TOPSIS (Technique for Preference by Similarity to the Ideal Solution) – метод наближення до ідеального розв'язання [5]. Загальний недолік методів, заснованих на цьому принципі, – громіздкість і можливість порушення обмежень. Цих недоліків позбавлений принцип «подалі від обмежень» [1].

У процесі дослідження багатокритеріальних задач особа, що приймає рішення (ОПР), керується своїм набором індивідуальних переваг, який формально відбивається деякою функцією корисності (цінності) в критеріальному просторі [6] або, іншими словами, схемою компромісів, скалярною згортокою векторного критерію [1]. Можливі різні апроксимації функції корисності. Найбільш поширений метод простого адитивного зважування (SAW (Simple Additive Weighting)) [7]. Однак слід мати на увазі, що це лише лінійне наближення критеріальної функції і в ситуаціях, що відрізняються від базової, яке може призводити до істотних спотворень. А найголовніше – лінеаризація критеріальної функції не дозволяє вирішувати багатокритеріальну задачу формально, без безпосередньої участі ОПР.

Для зменшення впливу суб'єктивності передбачається використовувати формалізований апарат скалярної згортки критеріїв на основі концепції нелінійної схеми компромісів [1].

Адекватні методи дослідження багатокритеріальних задач використовують залучення в тому чи іншому вигляді фахівця (експерта), що є компетентним в цій предметній галузі [3; 8]. У роботі експертні методи використовуються тільки для визначення розмірності і якісного складу вектора критерію, а також для кількісної оцінки значень частинних критеріїв (кардинальні оцінки).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на численні дослідження в напрямі методик прийняття рішень та оцінювання ефективності, досі не запропоновано комплексну методику багатокритеріальної оцінки ефективності проєктів, зокрема в галузі кібербезпеки.

**Мета статті.** Головною метою роботи є розробка комплексної методики багатокритеріальної оцінки ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки.

**Виклад основного матеріалу.** Зазвичай задачі оцінки та оптимізації об'єднують, вважаючи, що кінцева мета полягає в зіставленні оцінок декількох альтернатив і вибір кращих із них. При такій постановці не розглядається випадок оцінки єдиного проєкту. Відмінна риса запропонованої методики – можливість отримання нормованої оцінки одного проєкту, безвідносно до наявності (або відсутності) інших проєктів.

Ефективність проєктів оцінюється в трьох випадках:

1. При відборі проєктів, коли робота над ними ще не починалась.
2. У процесі проведення робіт із виконання проєктів з метою оптимізації менеджменту.
3. Після виконання проєктів, коли дослідження завершені й можливо прослідкувати результати впровадження цих досліджень.

Розроблену методику при деякій модифікації можна застосовувати в усіх згаданих випадках, але в деякій роботі ми зосередимо увагу на оцінці ефективності виконаних проєктів із забезпечення кібербезпеки.

За допомогою запропонованої методики розв'язуються такі задачі:

- формування системи критеріїв та показників ефективності забезпечення кібербезпеки;
- розробка формалізованої аналітичної і якісної оцінки забезпечення кібербезпеки

за сукупністю критеріїв якості (при цьому базовою є така постановка задачі: дано – об'єкт оцінки, ефективність захисту якого характеризуються  $x$ -мірним вектором критеріїв  $y = \{y_k\}_{k=1}^s$ , потрібно знайти узагальнену аналітичну оцінку ефективності (якості) захищеності об'єкту  $Y(y)$  і його якісну оцінку;

- візуалізоване представлення оцінки проєкту.

Для аналізу ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки нами розроблені форми подання комплексної інформації організаціями-виконавцями. Крім того, за бажанням експерта в їх розпорядження надаються технічні завдання, звіти, календарні плани та інші необхідні матеріали й документи по проєкту, що оцінюється. Для процедури експертизи проєктів у галузі кібербезпеки й отримання відповідей експертів розроблена типова форма – анкета. Форми та анкети – це рамочні документи, у кожному конкретному випадку показники можуть модифікуватись, виключатись або додаватись. Усе залежить від об'єкта, експертиза захищеності якого проводиться.

Можливості розробленої методики дозволяють здійснювати комплексну оцінку ефективності проєктів при кількості показників якостей від одиниць до декількох десятків.

Методика неприйнятна в тих випадках, коли якісні показники принципово не зводяться до кількісних (числових) величин і не можуть бути виміряні за наявними шкалами. Методику не можна використовувати без додаткової модифікації, якщо є такі критерії, які можуть приймати тільки дискретні (цілочисельні) значення.

Поставлені задачі розв'язуються багатокритеріальним методом з отриманням вихідних даних шляхом експертних оцінок. Експертна інформація для формування системи критеріїв та для оцінки частинних критеріїв ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки формується шляхом анкетного опитування за оціночними шкалами. Масив даних використовується як вихідний матеріал для розрахунку аналітичних оцінок якості, а також для побудови графічного образу ефективності проєкту й отримання якісних характеристик. Багатокритеріальна оцінка здійснюється як за традиційною нелінійною схемою компромісів [2; 4; 5], так і методом вкладених скалярних згорток векторного критерію [9]. В останньому випадку проєкти аналізуються і оцінюються за агрегованими критеріями, що робить аналіз випуклим та контрастним.

Оцінка ефективності проєкту починається з формування групи організаторів експертизи, в чій обов'язки входить:

- вибір фахівців-експертів;
- розробка (і за необхідності узгодження з експертами) переліку критеріїв та показників ефективності;
- складання опитувальних листків (форм-анкет);
- проведення опитування експертів;
- аналіз і обробка інформації, отриманої від експертів;
- отримання і візуалізація оцінок за окремими (частинними) критеріями, групами критеріїв (агрегованих оцінок) і повною сукупністю критеріїв (узагальнена аналітична оцінка);
- отримання якісних характеристик проєкту.

Як експерти залучаються висококваліфіковані фахівці в галузі, що розглядається. Кількість експертів обумовлюється складністю задачі, яка розв'язується.

Організатори експертизи роблять попередній список критеріїв, який дозволяє оцінити якість проєкту забезпечення кібербезпеки.

Критерії структуруються за групами:

1. Загальні критерії.
2. Критерії науково-технічного розвитку.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Фінансово-економічні критерії.
4. Соціальні критерії.
5. Критерії забезпечення завдань оборони й безпеки.
6. Екологічні критерії.

Після консультації з експертами організатори експертизи включають у кожену групу конкретні критерії. Якщо всі експерти з отриманим списком згодні, і не вносять доповнень, то на цьому цей етап закінчується.

Якщо ж експерти вносять у початковий список додаткові критерії або мають сумнів щодо вже внесених, то відбувається етап ранжування критеріїв.

Щоб виявити дійсно значущі частинні критерії, експертам пред'являють (кожному окремо) складений ними первинний список. Їм пропонується вивчити список і вибрати з нього найбільш важливі, на думку експерта, частинні критерії, проранжувавши їх за важливістю. Критерії, які отримали найменшу суму рангів, виділяються в остаточний список. Кількість виділених критеріїв залежить від багатоаспектності проекту (зазвичай їх буває від двох до семи в кожній групі). Необхідно, щоб різниця між кількістю голосів, відданих найменш важливому з виділених критеріїв і найбільш важливому з перерахованих, була щонайбільшою. Для агрегування може бути використаний також метод Кондорсе [3].

Виділені показники в усіх групах являють собою вихідну систему частинних критеріїв, з яких формується узагальнений критерій якості оцінюваного проекту.

Експертам (кожному окремо) надається розроблена форма-анкета. У ній у складі рубрик за групами критеріїв перераховуються частинні критерії, виділені на попередньому етапі. Критеріям зіставляється неперервна шкала, розділена на 10 інтервалів. Цифра 0 на шкалі відповідає поняттю «ніякої цінності», цифра 10 – «максимальна цінність». Експерта просять оцінити вплив кожного з частинних критеріїв на ефективність проекту й визначити для кожного критерію відповідну точку на шкалі.

Аналіз процесів прийняття рішень показав, що при оцінці об'єктів за шкалою балів експерти керуються так званою фундаментальною шкалою [3; 7] (табл. 1). У термінах теорії нечітких множин фундаментальна шкала являє собою функцію належності, за допомогою якої здійснюється перехід від лінгвістичної змінної (задовільна якість, висока якість і т. ін.) до кількісних оцінок (відповідно 5,5; 7,0) за шкалою балів, тобто перехід від нечітких якісних градації до чисел і навпаки.

Таблиця 1

Таблиця переходу від нечітких якісних градації до чисел і навпаки

Категорія якості	Фундаментальна шкала $f$	Перетворена нормована фундаментальна шкала $y_0, Y_0, \Phi_0$
Неприйнятне	0-3	1,0-0,7
Низьке	3-5	0,7-0,5
Задовільне	5-6	0,5-0,4
Добре	6-8	0,4-0,2
Високе	8-10	0,2-0,0

Після заповнення експертами анкети повертаються до організаторів експертизи й обробляється. Масив отриманих від експертів даних – це сукупність чисел  $f_{ik}$ , що являють собою оцінку, дану  $f$ -м експертом  $k$ -му критерієм за шкалою анкети,  $j \in [1, m]$ ,  $m$  – кількість експертів. Розраховується усереднена оцінка, дана колективом експертів за кожним критерієм:

$$f_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{jk}, k \in [1, s], \quad (1)$$

де  $s$  – кількість критеріїв. Оцінки  $f_k$  – досить об'єктивна, якщо кількість експертів велика та склад їх досить однорідний (у складніших випадках застосовують методику обробки експертних оцінок з урахуванням коефіцієнтів компетентності експертів) [1; 2; 6].

При розгляданні експертами деяких критеріїв можливий випадок, коли вони вагаються з оцінкою і у відповідній графі ставлять прочерк. Тоді при розрахунку оцінки за формулою (1) замість величини  $m$  використовується число  $m_k$ ,  $m_k \leq m$  що дорівнює

реальній кількості експертів, які брали участь в оцінці критеріїв. Нормовані оцінки за мінімізованими частинними критеріями отримуються з (1) за формулою:

$$y_{ok} = 1 - 0,1f_k, \quad 0 \leq y_{ok} < 1, \quad k \in [1, s]. \quad (2)$$

Символ «0» тут і далі відмічається нормована оцінка. Нормованим мінімізованим критеріям зіставляються перетворена нормована фундаментальна шкала (табл. 1). Скупність нормованих критеріїв  $y_{ok}$  є вихідною для аналітичної багатокритеріальної оцінки проєкту відповідно до концепції нелінійної схеми компромісів [1; 6].

Для різнобічної характеристики оцінюваних проєктів використовується два види методів багатокритеріальної оцінки – це традиційний і агрегований.

Узагальнена аналітична оцінка проєкту щодо забезпечення кібербезпеки традиційним методом із використанням скалярної згортки по нелінійній схемі компромісів [1] здійснюється за формулою:

$$Y(y_0) = \sum_{k=1}^s (1 - y_{ok})^{-1}. \quad (3)$$

У задачі аналізу абсолютна величина  $Y(y_0)$  ще нічого не говорить про те, наскільки відповідає завданню або не відповідає цей проєкт.

Для відповіді на це питання розв'язуємо задачу переходу від чисельної оцінки  $Y(y_0)$  до лінгвістичної категорії «добре – неприйнятне».

Насамперед нормуємо аналітичну оцінку так, щоб при неприйнятних проєктах, нормована оцінка  $Y(y_0)$  наближалася до оцінки одиниці, а при хороших до нуля:

$$Y_0(y_0) = \frac{Y(y_0)}{Y_{max}}, \quad (4)$$

де  $Y_{max}$  – гранично погана аналітична оцінка для проєкту, що розглядається.

Для визначення величини  $Y_{max}$  скористаємося принципом солідарної відповідальності. У застосуванні до нашої задачі він полягає в наступному.

В інтервалі неприйнятних оцінок  $(0,7-1,0)$  перетвореної нормованої фундаментальної шкали вибираємо деяку величину  $y_{omax}$ , яку реально може досягти будь-який із нормованих частинних критеріїв при неприйнятно поганій якості за даним критерієм. Відзначимо, що цю величину потрібно підібрати так, щоб правильно оцінювалися тестові приклади (налаштування вирішального правила).

Відповідно до принципу солідарності відповідальності, якщо який-небудь нормований критерій досяг величини  $y_{omax}$ , то і решті нормованим критеріям приписується можливість досягнення такого ж значення. Якщо це так, то величина  $Y_{max}$  можна визначити за формулою:

$$Y_{max} = S(1 - y_{omax})^{-1}$$

Нормована аналітична оцінка проєкту  $Y_0$  також вимірюється за перетвореною нормованою фундаментальною шкалою (табл. 1), яка в термінах теорії нечітких множин являє собою функцію належності. З її допомогою виконується перехід від числа  $Y_0$  до відповідної якісної градації.

Інформативність оцінок проєкту за допомогою агрегованого методу може бути підвищена за рахунок об'єднання частинних критеріїв у групи й формування агрегованих критеріїв за методом вкладених скалярних згорток [9].

Оцінки за агрегованими критеріями обчислюються відповідно до формули:

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^J (1 - y_{oij})^{-1}, \quad i \in [1, I], \quad (5)$$

де  $\varphi_i$  – це оцінки за агрегованими критеріями;  $y_{oij}$  – нормовані оцінки за окремими критеріями;  $I$  – кількість груп;  $J_i$  – кількість вихідних частинних критеріїв у цій групі.

Узагальнена нормована оцінка за агрегованими критеріями визначається за формулою:

$$\Phi = \sum_{i=1}^I \frac{1}{1 - \varphi_{oi}}, \quad (6)$$

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

якщо агреговані оцінки нормовані за формулою:

$$\varphi_{oi} = \frac{\varphi_i}{B_i}, \quad i \in [1, I].$$

У цій формулі  $B_i = J_i (1 - y_{omax})^{-1}$  є непринятно погана оцінка  $\varphi_{omax}$  агрегованого критерію  $\varphi_{oi}$  в кожній групі. Причому  $\varphi_{omax} = Y_{omax}$ .

Отримана аналітична оцінка нормується за формулою:

$$\Phi_o = \frac{\Phi}{\Phi_{max}}, \quad (7)$$

це  $\Phi_{max} = I (1 - y_{omax})^{-1}$  – непринятно погана величина оцінки  $\Phi_o$ .

Нормована аналітична оцінка проекту за агрегованими критеріями  $\Phi_o$  також вимірюється за перетвореною нормованою фундаментальною шкалою (табл. 1), і на підставі цього виміру виходить якісна характеристика проекту. Зазвичай оцінки  $\Phi_o$  та  $Y_o$  наближені один до одного, але за наявності значних «викидів» нормованих частинних критеріїв оцінка  $\Phi_o$  більша.

Оцінки за вектором критеріїв якості графічно представляються у вигляді «профілю проекту». Вихідною інформацією для його побудови слугує сукупність нормованих критеріїв  $Y_{ok}$ . Профіль дозволяє створювати цілісний образ проекту, що оцінюється, щодо забезпечення кібербезпеки, що може виявитися вельми корисним, наприклад, при експрес-оцінках.

Програмне забезпечення для оцінки кібербезпеки об'єкта складається з 4 блоків:

1. Інформаційні дані про проект забезпечення кібербезпеки.
2. Організація процедури експертизи проекту.
3. Обробка результатів експертизи проекту.
4. Висновок і візуалізація результатів оцінки проекту.

Управління програмою виконується ПЕОМ і складається із введення даних і команд на виконання розрахункових процедур у відповідні інформаційні поля.

Блок «Інформаційні дані про проект забезпечення кібербезпеки» містить:

- поля для введення назви проекту, найменування організації-виконавця, дані про терміни виконання проекту та обсяги фінансування;
- типову форму (анкету) представлення інформації, заповнену виконавцями проекту.
- технічне завдання, звіт та інші відомості про проект.

Блок «Організації процедури експертизи проекту» включає:

- список фахівців-експертів і відомості про них;
- анкету для проведення експертизи.

Блок «Обробки результатів експертизи проекту» накопичує відповіді експертів, формує масив даних для подальшої обробки, визначає розмірність вектора частинних критеріїв, кількість груп критеріїв, кількість критеріїв у групах, а також виконує на основі формул розрахунків різних категорій оцінок ефективності проекту.

Блок «Висновок і візуалізація результатів оцінки проекту» здійснює видачу результатів розрахунку різних категорій оцінок ефективності проекту, а також будують «профіль проекту».

За допомогою запропонованої методики був проведений системний аналіз та отримано багатокритерійну оцінку кібербезпеки ситуаційного центру одного з міністерств України [10; 11].

У процесі консультацій з експертами визначено чотири групи з раніше перелічених критеріїв ( $I = 4$ ), що включають 20 критеріїв ( $S = 20$ ) оцінки цього проекту оцінки кібербезпеки – загальні, наукового розвитку, економічні та соціальні. Чотири провідні фахівці в галузі інформаційної безпеки ( $m = 4$ ) заповнили анкету (табл. 2).

## Анкета експертів

№ критерію	Критерії оцінки якості проєкту	К-ть балів за 10-бальною шкалою
1. Загальні критерії		
	Ясність і чіткість формування цілей проєкту	Оцінка експерта
1	Міра відповідності проєкту поставленим цілям	
2	Ступінь повноти реалізації проєкту	
3	Ступінь інтеграції проєкту в Національну програму кібербезпеки	
4	Ступінь сприяння підвищенню престижу організації	
2. Критерії наукового розвитку		
5	Ступінь новизни у виконаній роботі	Оцінка експерта
6	Міра оригінальності та новизни поставлених цілей і отриманих результатів	
7	Міра сприяння розвитку методів та засобів забезпечення кібербезпеки	
8	Міра сприяння результатів проєкту появи нових методів забезпечення кібербезпеки	
9	Частина досліджень у проєкті, які виконані на світовому рівні	
10	Заходи сприяння розвитку знань про механізми забезпечення кібербезпеки	
11	Вплив проєкту на перспективу розвиток методів забезпечення кібербезпеки	
12	Міра висвітлення робіт із кібербезпеки в науковій літературі	
13	Міра популяризації та поширення знань про кібербезпеки	
14	Можливість використання результатів роботи при підготовці й перепідготовці фахівців із кібербезпеки	
3. Економічні критерії		
15	Рівень впровадженості результатів розробки в практику	Оцінка експерта
16	Рівень повноти передачі розроблених методів для застосування на критично важливих об'єктах	
17	Сприяння в залученні матеріальних ресурсів	
4. Соціальні критерії		
18	Вплив результатів розробки на Національну програму кібербезпеки	Оцінка експерта
19	Рівень можливості використання отриманих результатів при підготовці та перепідготовці фахівців із кібербезпеки	

Відповіді експертів зведені в табл. 3. Лівий стовпчик таблиці відповідає порядковому номеру критерію, відповідно тому номеру, який цей критерій має в анкеті. Нормовані значення частинних критеріїв отримані за формулою (1) і (2). Узагальнена аналітична оцінка проєкту класичним методом, обчислена за формулами (3) та (4). Розрахунок ефективності проєкту за агрегованими критеріями виконано за формулами (5) та (7).

Таблиця 3

## Оцінки експертів

№ критерію	Оцінки експертів			
	1-й експерт	2-й експерт	3-й експерт	4-й експерт
1.	9	10	10	10
2.	9	10	10	10
3.	6	8	9	10
4.	-	8	6	9
5.	8	10	9	9
6.	7	10	10	9
7.	7	10	9	9
8.	9	8	9	10
9.	7	9	10	9
10.	-	9	8	9
11.	10	8	8	10
12.	8	10	9	9
13.	7	8	7	8
14.	8	7	8	8
15.	9	6	8	8
16.	8	8	9	7
17.	8	7	6	5
18.	9	9	10	4
19.	8	7	8	-
20.	9	8	7	4

Отримано чотири види результатів:

- 1) аналітична нормована оцінка проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру традиційним методом;
- 2) якісна оцінка проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру традиційним методом за перетвореною нормованою фундаментальною шкалою;
- 3) аналітична нормована оцінка проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру агрегованих методом;
- 4) якісна оцінка проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру агрегованих методом за перетвореною нормованою фундаментальною шкалою.

Результати розрахунку ефективності проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру традиційним методом наведені в табл. 4, агрегованим – у табл. 5.

Таблиця 4

*Результати розрахунку ефективності проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру традиційним методом*

№ критерію	Значення $u_0$ нормованих оцінок за частинним критерієм
1.	0,025
2.	0,025
3.	0,175
4.	0,267
5.	0,100
6.	0,100
7.	0,125
8.	0,100
9.	0,125
10.	0,133
11.	0,100
12.	0,100
13.	0,250
14.	0,225
15.	0,225
16.	0,200
17.	0,350
18.	0,200
19.	0,233
20.	0,300

Таблиця 5

*Результати розрахунку ефективності проєкту із забезпечення кібербезпеки ситуаційного центру агрегованим методом*

№ експерта	1	2	3	4
Значення $\varphi_0$ нормованих агрегованих оцінок	0,287	0,295	0,337	0,342

Графічні результати представлені «профілем проєкту» (рис. 1). На рис. 1 по осі абсцис відкладені номери частинних критеріїв відповідно до лівого стовпчика анкети.

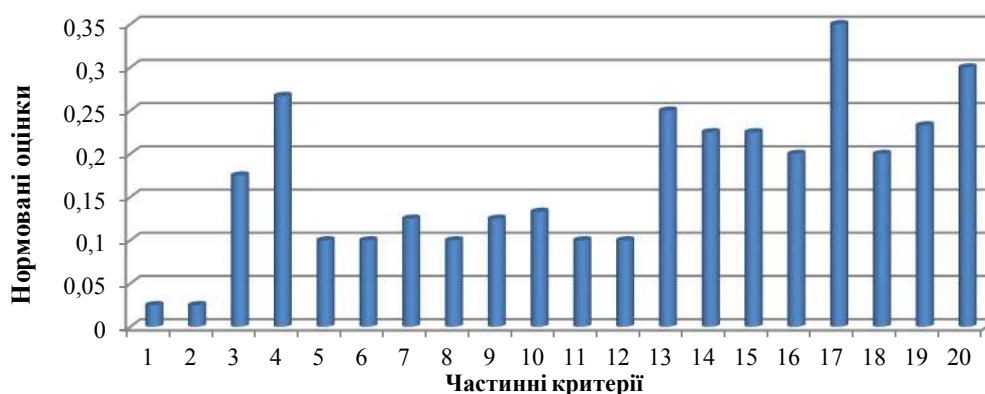


Рис. 1. Графічні результати за «профілем проєкту»