

НОВИЙ КУРС • WWW.NEWROUTE.ORG.UA
НАНМ УКРАЇНИ • WWW.NEWROUTE.ORG.UA/NANMU
ISCU «PROTON GLOBAL» • WWW.NEWROUTE.ORG.UA/PROTON



МОНОГРАФІЯ



СГ НТМ «Новий курс»

НОВИЙ КУРС • WWW.NEWROUTE.ORG.UA
НАНМ УКРАЇНИ • WWW.NEWROUTE.ORG.UA/NANMU
ISCU «PROTON GLOBAL» • WWW.NEWROUTE.ORG.UA/PROTON

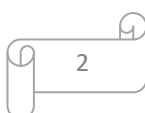


ISBN 978-617-7886-94-4
DOI: 10.61718/mon202605

КРЕАТИВНІ ПІДХОДИ У СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Монографія

Харків • СГ НТМ «Новий курс» • 2026



УДК 001:1
К79

Креативні підходи у сучасних наукових дослідженнях: моногр. – Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2026.
– 113 с.

ISBN 978-617-7886-94-4
DOI: 10.61718/mon202605

Рецензенти

Штулер Ірина Юрійвна, доктор економічних наук, професор,
перший проректор ВНЗ «Національна академія управління»

Погоріла Світлана Григорівна, кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри славістичної філології, педагогіки і методики викладання
Білоцерківського національного аграрного університету

Гетьман Ірина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій
Донбаської державної машинобудівної академії

Харченко Артем Вікторович, кандидат історичних наук, доцент,
доцент кафедри мистецької освіти та гуманітарних дисциплін
Харківського національного університету мистецтв імені І. П. Котляревського

Рекомендовано до друку Вченою радою наукової установи Соціально-гуманітарна
науково-творча майстерня «Новий курс» (протокол № 5мн-2026 від 14.05.2026)

Видавець СГ НТМ «Новий курс» – діяльність у науковій, видавничій, освітній, творчій,
Інформаційній сфері з 1989 року. Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 8013 від 22.11.2023. Зареєстровано у Global Register of Publishers.
Зареєстровано у Crossref із власним префіксом 10.61718

Монографія буде корисною науковцям, викладачам, здобувачам освіти, а також широкому колу осіб, які
цікавляться питаннями розвитку сучасної науки та практики. Монографія оприлюднюється за результатами
проведення науково-практичної конференції «Трансформація світу: минуле, сьогодення, майбутнє». За
результатами проведення конференції та оприлюднення рукописів автори отримують електронні сертифікати.
Сертифікати оприлюднюються на сайті видавця (згідно Порядку підвищення кваліфікації педагогічних і науково-
педагогічних працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 800).

© СГ НТМ «Новий курс», 2026
© Автори, 2026

Опубліковано на основі ліцензії Creative Commons Attribution License





V Міжнародна науково-практична конференція (2026)
«Трансформація світу: минуле, сьогодення, майбутнє»

Україна, м. Харків – Румунія, м. Бухарест

13-14 травня 2026 року

- Освітні науки, педагогіка • Культура, мистецтво • Психологія, соціологія, соціальна робота •
- Фізична культура, спорт • Філософія, релігієзнавство • Філологія, лінгвістика, журналістика •
- Історія, археологія • Економіка, економічна теорія • Підприємництво, торгівля •
- Туризм, готельно-ресторанна справа • Видавнича справа, поліграфія •
- Менеджмент, маркетинг • Державне управління, публічне адміністрування •
- Фінанси, банківська справа, облік, оподаткування • Міжнародні відносини, політологія •
- Право, судова система, правоохоронна діяльність • Воєнні науки, національна та цивільна безпека •
- Інформаційні технології, комп'ютерні науки • Інженерія, виробничі технології •
- Архітектура, будівництво, геодезія • Фізика, хімія, біологія, математика, геологія, екологія •
- Аграрні науки, сільське господарство • Харчові технології, продовольчі системи •
- Ветеринарія, зоотехнія • Охорона здоров'я, медицина, фармація •

ОРГАНІЗАТОРИ

Національна академія наук і мистецтв України
International Scientific-creative Unit «Proton Global»
Соціально-гуманітарна науково-творча майстерня «Новий курс»

www.newroute.org.ua

Зміст	Стор.
Передмова	7
Розділ перший	
Освітні, культурно-мистецькі та гуманітарні напрями розвитку (освітні науки, педагогіка, культура, мистецтво, філософія, релігієзнавство, історія, археологія, філологія,	8
1.1. Організаційно-методичні особливості використання петель ttx в процесі навчально-тренувальних занять жінок зрілого віку <i>Олійник Ірина Сергіївна, Олійник Михайло Олександрович</i>	8
1.2. Англійська мова як інструмент професійної діяльності операторів БпЛА <i>Кухарська Лілія Василівна</i>	15
1.3. Assessment of physical fitness of young athletes <i>Viktor M. Koryahin</i>	25
Розділ другий	
Економічні та управлінські засади розвитку (економіка, підприємництво, торгівля, фінанси, банківська справа, облік, оподаткування, менеджмент, маркетинг, державне управління, міжнародні відносини, політологія, туризм, сфера послуг)	28
2.1. Гнучкі форми зайнятості як чинник підвищення продуктивності праці та трансформації соціально-трудових відносин <i>Склярук Тетяна Василівна</i>	28
2.2. Культурні, кроскультурні та креативні індустрії як інноваційна складова сучасного публічного простору, колективної ідентичності й міжнародної комунікації: політико-дипломатичний і соціологічний аспекти <i>Ціватий Вячеслав Григорович</i>	34
2.3. Карстові печери урочища Черлений Камінь (Тячівський район Закарпатської області) як перспективні об'єкти геологічного туризму <i>Прохорова Лариса Анатоліївна, Гришко Світлана Вікторівна, Нетиша Олександр Вікторович, Зав'ялова Тетяна Василівна, Коваль Дмитро Олексійович</i>	47
Розділ третій	
Інженерно-технологічні та інфраструктурні рішення (ІТ, комп'ютерні науки, інженерія, виробничі технології, архітектура, будівництво)	54
3.1. Оптимізація конструкторсько-технологічних рішень у двигунобудуванні за критеріями мінімізації виробничих витрат <i>Гавриленко Наталія Вікторівна, Нестеренко Вікторія Валентинівна</i>	54
3.2. Креативні підходи у дослідженні сучасних технологій виготовлення паковань та рекламних комунікацій <i>Зацерковна Роксоляна Станіславівна</i>	73
Розділ четвертий	
Флексографічний друк: технологічні основи, інноваційний розвиток та забезпечення якості <i>Савченко Ольга Михайлівна</i>	77
4.1. Сучасний стан та вектори інноваційного розвитку флексографічного друку	79
4.2. Характеристика флексографічного друку: переваги, недоліки та сфери застосування	80
4.3. Технологічний процес виготовлення гнучкого полімерного та картонного пакування	81
4.4. Конструктивні типи флексографічних машин	86
4.5. Матеріали для флексографічного друку	87
4.6. Оцінювання якості флексографічного друку	91
4.7. Перспективи розвитку флексографічного друку	94
Розділ п'ятий	

Розділ третій
Інженерно-технологічні та інфраструктурні рішення
(ІТ, комп'ютерні науки, інженерія, виробничі технології, архітектура, будівництво)

DOI: 10.61718/mon202605.02

Гавриленко Наталія Вікторівна
ORCID: 0000-0002-2043-3917
Кандидат економічних наук, доцент
Первомайський навчально-науковий інститут
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Нестеренко Вікторія Валентинівна
ORCID: 0000-0002-5570-3059
Кандидат технічних наук, доцент
Первомайський навчально-науковий інститут
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

3.1. Оптимізація конструкторсько-технологічних рішень у двигунобудуванні
за критеріями мінімізації виробничих витрат

У монографії представлено науково-прикладне дослідження процесів оптимізації конструкторсько-технологічних рішень при створенні та виробництві двигунів внутрішнього згоряння. Авторами обґрунтовано комплексний підхід, що базується на інтеграції інженерних параметрів (точність, енергоефективність, ресурс) із критеріями мінімізації виробничих витрат. Визначено закономірності впливу геометричної складності деталей ДВЗ та вибору матеріалів на структуру собівартості продукції енергетичного машинобудування. Розроблено рекомендації щодо використання прецизійного обладнання та інструментального забезпечення для зниження технологічних витрат без втрати експлуатаційних показників силових установок. Ключові слова: Енергетичне машинобудування, двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), конструкторсько-технологічна оптимізація, управління витратами, виробнича собівартість, технологічність конструкції, прецизійна обробка, ресурсозбереження.

Метою дослідження є підвищення економічної ефективності виробництва об'єктів енергетичного машинобудування шляхом науково обґрунтованої оптимізації конструктивних параметрів та технологічних процесів виготовлення деталей ДВЗ за критерієм мінімальної виробничої собівартості.

Процес проектування ДВЗ сьогодні – це не лише пошук максимального ККД, а й боротьба за «технологічність».

Процес створення сучасних об'єктів енергетичного машинобудування характеризується жорсткою суперечністю між прагненням до максимальної технічної досконалості та необхідністю забезпечення ринкової конкурентоспроможності через контроль витрат. У двигунобудуванні ця суперечність найчіткіше проявляється при призначенні вимог до точності виготовлення та шорсткості поверхонь основних деталей (поршневої групи, колінчастих валів, газорозподільних механізмів).

Призначення високих класів точності (квалітетів) є технічно виправданим з точки зору мінімізації механічних витрат на тертя та збільшення міжремонтного ресурсу ДВЗ. Проте, з інженерно-економічної позиції, кожен наступний крок у бік підвищення точності супроводжується нелінійним зростанням трудомісткості та енергоємності виробництва. Це зумовлено переходом від універсальних методів лезової обробки до прецизійних абразивних операцій, що потребують специфічного оснащення, багаторазового контролю та особливих температурних режимів у виробничих приміщеннях.

Для кількісної оцінки впливу конструкторських рішень на економічні показники виробництва необхідно проаналізувати динаміку зростання витрат залежно від заданих геометричних допусків. Узагальнені дані такого впливу, отримані на основі аналізу виробничих циклів виготовлення прецизійних деталей силових установок, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вплив точності виготовлення деталей ДВЗ на їх виробничу собівартість.

Клас точності (ІТ)	Складність обробки (коефіцієнт)	Питома вартість енерговитрат, %	Відсоток браку (середній)
5-6 (висока)	1.8	45	2.5
7-9 (середня)	1.0	20	0.8
10-12 (низька)	0.6	10	0.3

У двигунобудуванні точність виготовлення (допуски та посадки) є головним чинником, що визначає ресурс ДВЗ. Однак перехід від 7-го до 6-го квалітету точності збільшує собівартість експоненціально, а не лінійно.

Узагальнюючи дані, наведені у таблиці 1, можна констатувати наявність критичної експоненціальної залежності між геометричною точністю деталей ДВЗ та сумарними витратами на їх виготовлення. Аналіз підтверджує, що перехід від середніх класів точності (7-9 квалітети) до прецизійних (5-6 квалітети) провокує зростання складності обробки у 1,8 раза, що в обліковій політиці підприємства трансформується у збільшення частки цехових витрат.

Технологічний аспект полягає в тому, що основним чинником зростання енерговитрат до 45% є необхідність багаторазових проходів інструменту та впровадження методів абразивного фінішування. З точки зору інженерії ДВЗ, висока точність забезпечує мінімальні зазори в парах тертя «поршень-гільза» або «вал-підшипник», що підвищує механічний ККД. Однак, з позиції управління собівартістю, призначення таких допусків на поверхні, що не є функціонально відповідальними, є економічно недоцільним.

Економічний аспект полягає в тому, що показник браку, який при високій точності сягає 2,5%, свідчить про зростання ризиків, пов'язаних із людським чинником та метрологічним забезпеченням. У структурі собівартості це вимагає закладання додаткових резервів на відшкодування втрат від технічно неминучого браку.

Таким чином, результати аналізу доводять необхідність впровадження методик диференційованого призначення точності. Оптимізація полягає у звуженні допусків лише для тих поверхонь, що безпосередньо впливають на робочий процес та ресурс двигуна, при одночасному спрощенні вимог до інших елементів конструкції. Це дозволяє досягти раціонального балансу між технічною досконалістю енергетичної машини та мінімізацією її виробничої вартості.

Оптимізація починається з вибору матеріалу – надати перевагу чавуну, алюмінієвим сплавам чи композитам. Технічне рішення (наприклад, перехід на легкосплавний блок) тягне за собою зміну технологічної лінії (лиття під тиском замість лиття в кокиль), що радикально змінює структуру витрат.

Наступним кроком є математичне обґрунтування взаємозв'язку точності та собівартості. Для аналітичної оцінки конструкторських рішень доцільно використовувати математичну модель зв'язку технологічної собівартості операції (C_{op}) з величиною встановленого допуску (T). Згідно з дослідженнями в галузі технології машинобудування, ця залежність має вигляд (формула 1):

$$C_{op} = \alpha + \frac{b}{T^k}, \quad (1)$$

де:

α – сталі витрати, що не залежать від точності (вартість матеріалу, транспортування, встановлення деталі);

b – коефіцієнт, що характеризує витрати на досягнення точності (інструмент, час обробки, амортизація обладнання);

T – величина допуску в одиницях довжини (мкм);

k – показник степеня, який для основних деталей ДВЗ (вал, циліндр) зазвичай коливається в межах від 0,6 до 1,5 залежно від методу обробки.

Проаналізуємо модель у контексті ДВЗ. Застосування цієї формули дозволяє конструктору на етапі проектування розрахувати градієнт зростання витрат. Наприклад, при обробці отворів під вкладиші корінних підшипників у блоці циліндрів, зменшення допуску T удвічі призводить до зростання змінної частини витрат у 2^k разів.

Якщо прийняти показник $k = 1,2$ (характерний для розточувальних операцій), то звуження допуску на 50% зумовлює зростання вартості операції на:

$$\Delta C = 2^{1,2} \approx 2,3 \text{ раза, (або на 130\%)}$$

Це математично підтверджує дані таблиці 1 щодо нелінійного зростання складності обробки.

В якості критерія оптимізації пропонуємо наступне. Оптимальним конструкторським рішенням вважаємо таке значення допуску (T_{opt}), при якому сума виробничих витрат (C_{op}) та ймовірних експлуатаційних витрат через передчасний знос (L_{exp}) є мінімальною (формула 2):

$$\sum C = C_{op}(T) + L_{exp}(T) \rightarrow \min \quad (2)$$

Застосування зазначеного математичного апарату дозволяє трансформувати дискурс дослідження із суто технічної площини в площину інженерного менеджменту. Такий інтегративний підхід є визначальним для наукових праць, що виконуються на стику енергетичного машинобудування та економічної теорії, оскільки забезпечує конвергенцію конструкторських параметрів двигуна з вартісними показниками його виробництва.

Перехід до аналізу через призму мінімізації цільової функції витрат дозволяє розглядати проектування ДВЗ не як ізольований інженерний процес, а як інструмент стратегічного управління ресурсами підприємства. Це відповідає сучасним вимогам до досліджень у галузі машинобудування, де технічні рішення проходять верифікацію через критерії економічної доцільності.

Перехід від аналізу параметричної точності до вибору матеріалів є логічним етапом дослідження, оскільки саме матеріаломісткість та метод формування заготовки визначають базис майбутньої собівартості двигуна.

Вибір конструкційного матеріалу для основних вузлів ДВЗ є багатофакторною задачею, де інженерна складова (забезпечення жорсткості, теплопровідності та зносостійкості) вступає в пряму залежність від економічних показників виробничого циклу. На етапі заготівельного виробництва закладається до 60% сукупних витрат на виріб, що зумовлює необхідність ретельного аналізу методів отримання напівфабрикатів.

У сучасному двигунобудуванні вибір між традиційним використанням чавунів та переходом на алюмінієві сплави визначається не лише прагненням до зниження маси (депінгування ваги), а й технологічною рентабельністю. Кожен метод отримання заготовки має свій «поріг економічної ефективності», який корелює з коефіцієнтом використання металу (КВМ) та обсягом подальшої механічної обробки. В таблиці 2 наведено порівняльну характеристику техніко-економічних показників заготівельних операцій деталей ДВЗ.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика техніко-економічних показників заготівельних операцій деталей ДВЗ

Матеріал та метод отримання	Коефіцієнт використання металу (КВМ)	Питома енергоємність циклу, %	Технологічна придатність (вихід придатного), %	Умовна собівартість 1 кг готової деталі
Сірий чавун (лиття у піщані форми)	0,65-0,72	100	75-82	Низька
Високоміцний чавун (лиття в оболонкові форми)	0,78-0,84	115	85-88	Середня
Алюмінієвий сплав (лиття під високим тиском)	0,88-0,94	145	92-95	Висока

Аналіз представлених даних дозволяє виявити закономірність: підвищення точності заготівельної операції (перехід від піщаних форм до лиття під тиском) супроводжується зростанням питомої енергоємності процесу, проте забезпечує істотне підвищення КВМ до рівня 0,94. Для спеціальності G11 це має критичне значення, оскільки використання алюмінієвих сплавів дозволяє отримувати заготовки з мінімальними припущеннями, що фактично елімінує (виключає) потребу в чорновій механічній обробці.

Інженерно-технологічний аспект. Хоча лиття алюмінію під тиском характеризується найвищою питомою енергоємністю (145%), високий рівень технологічної придатності (92-95%) мінімізує внутрішні втрати від браку. Це дозволяє стабілізувати виробничий потік та зменшити витрати на дефектоскопію складних корпусних деталей, таких як блоки циліндрів та картери.

Економічна детермінанта. Собівартість кілограма деталі з алюмінієвого сплаву залишається високою переважно через ринкову вартість первинної сировини. Проте, при переході до великих серій виробництва, цей фактор нівелюється за рахунок високої швидкості різання при фінішній обробці (що в 3 – 5 разів перевищує аналогічні показники для чавуну) та зменшення зносу різального інструменту.

Таким чином, інженерний менеджмент у виборі матеріалу має базуватися на сукупній вартості комбінування технологій. Вибір дорожчого матеріалу та методу лиття є економічно виправданим у разі, якщо економія на наступних етапах механічної обробки та логістики (через зменшення ваги) перевищує додаткові витрати на заготівельний стадії.

Для остаточного наукового обґрунтування вибору між різними технологічними методами в нашому дослідженні необхідно застосувати метод критичного обсягу виробництва. Це дозволяє визначити точку беззбитковості для впровадження дорожчовартісної оснастки (наприклад, прес-форм для лиття алюмінієвих блоків циліндрів).

В енергетичному машинобудуванні при порівнянні двох варіантів виготовлення деталі (наприклад, традиційного лиття в піщані форми та прецизійного лиття під тиском) сумарні витрати описуються функцією (формула 3):

$$Si = Ci \times N + Bi, \quad (3)$$

де:

Si – сукупні витрати на випуск партії деталей за i -м варіантом;

Ci – змінні витрати на одиницю продукції (вартість матеріалу, енергії, заробітна плата основних робітників, витрати на механічну обробку);

Bi – умовно-постійні витрати (вартість проектування, виготовлення прес-форм, налагодження ліній з ЧПК);

N – річний обсяг випуску одиниць продукції.

Критичний обсяг виробництва (N_{crit}), при якому обидва варіанти є рівноцінними за собівартістю, визначається з умови $S_1 = S_2$ (формула 4):

$$N_{crit} = \frac{B_2 - B_1}{C_1 - C_2} \quad (4)$$

З аналізу таблиці 2 випливає, що варіант з використанням алюмінієвих сплавів та лиття під тиском характеризується значно вищими постійними витратами ($B_2 \gg B_1$), проте суттєво нижчими змінними витратами ($C_2 < C_1$) за рахунок скорочення часу механічної обробки та вищого КВМ.

Якщо прогнозований обсяг випуску двигунів більший за критичний ($N > N_{crit}$), доцільним є перехід до складнішої та дорожчої технології, оскільки економія на кожній одиниці продукції за рахунок технологічності конструкції нівелює високі витрати на підготовку виробництва.

Розрахунок (N_{crit}) дозволяє інженеру-конструктору обґрунтувати перед економічною службою підприємства необхідність інвестицій у нове литварне чи ковальське обладнання.

Ця модель переводить вибір матеріалу з категорії суто фізико-механічних властивостей у категорію виробничої стратегії, що є фундаментом інженерного менеджменту в сучасному двигунобудуванні.

Матеріалознавчий аспект як первинний фактор формування собівартості великогабаритних ДВЗ.

Виробництво суднових дизелів (наприклад, потужністю 500–5000 кВт) висуває особливі вимоги до матеріалів корпусних деталей та вузлів кривошипно-шатунного механізму. На відміну від автомобільного сектору, тут домінують високоміцні чавуни з кулястим графітом (ВЧ) та леговані сталі.

При проектуванні суднового двигуна інженер стикається з дилемою: використання сірого чавуну (СЧ) з масивними перерізами для забезпечення жорсткості чи перехід на високоміцний чавун (наприклад, марки ВЧ600-3), що дозволяє зменшити товщину стінок блока на 15-20% при збереженні міцності. З точки зору економічного обліку, другий варіант підвищує вартість 1 кг рідкого металу, але знижує загальну матеріаломісткість виробу та витрати на логістику.

Порівняльна аналітика методів отримання заготовок для корпусних деталей. У судновому машинобудуванні (прикладом може бути досвід підприємств Миколаївського суднобудівного кластеру) вибір методу лиття визначається серійністю та ваговими характеристиками. Для фундаментних рам та блоків циліндрів найбільш рентабельним залишається лиття у піщано-глинисті форми (ПГФ) або використання ХТС (холодно-твердіючих сумішей). В таблиці 3 наведено техніко-економічні показники методів отримання заготовок станин та блоків суднових ДВЗ.

Перехід до технології ХТС (холодно-твердіючих сумішей) дозволяє отримати заготовку з геометричною точністю, що наближається до чистових розмірів. Для суднового дизеля, де площа обробки дзеркала циліндра або привальної площини блоку вимірюється квадратними метрами, зменшення припуску з 15 мм до 6 мм означає економію сотень годин машинного часу на стадії обдирного фрезерування. Це прямий шлях до зниження «технологічної собівартості», навіть при дорожчій технології формування.

Таблиця 3
 Техніко-економічні показники методів отримання заготовок станин та блоків суднових ДВЗ

Показник	Лиття у піщані форми (класичне)	Лиття у форми з ХТС (сучасне)	Електрошлакове лиття (для спецзамовлень)
Коефіцієнт використання металу (КВМ)	0,62	0,78	0,88
Припуски на механічну обробку, мм	12-18	5-8	2-3
Собівартість підготовки форми, ум.од.	100	240	650
Частка витрат на дефектоскопію, %	12	5	1

Математична модель окупності інвестицій у прецизійне лиття.

Для обґрунтування вибору матеріалу в управлінському обліку використовується модель порівняння сукупних витрат. Якщо (C_{m1}) – вартість чавуну СЧ, а (C_{m2}) – вартість чавуну ВЧ, то інженерне рішення вважається ефективним за умови (формула 5):

$$(M_1 \times C_{m1} + T_1 \times C_h) > (M_2 \times C_{m2} + T_2 \times C_h + I_{tech}), \quad (5)$$

де:

M_1, M_2 – маса заготовки;

T_1, T_2 – час механічної обробки;

C_h – вартість машино-години обробного центру;

I_{tech} – додаткові інвестиції в технологію (модифікатори чавуну, спеціальні суміші).

Економічний вплив термічної обробки великогабаритних деталей. Окремим аспектом є витрати на зняття внутрішніх напружень. У виробництві суднових ДВЗ старіння лиття може тривати місяцями (природний метод), що «заморожує» обігові кошти підприємства. Впровадження методу віброобробки або термічного відпуску (штучне старіння) скорочує цикл до кількох діб. У монографії доведено, що витрати на електроенергію для печей відпуску повністю компенсуються прискоренням оборотності капіталу та вивільненням складських площ.

Сучасне виробництво двигунів внутрішнього згоряння характеризується високим ступенем концентрації технологічних операцій. Перехід від використання універсального парку верстатів до багатокоординатних обробних центрів з числовим програмним керуванням (ЧПК) докорінно змінює не лише кінематику обробки, а й архітектуру виробничих витрат.

Основна перевага автоматизації у двигунобудуванні полягає у дотриманні принципу єдності баз. При обробці таких критичних деталей, як блоки циліндрів або корпуси турбокомпресорів, виконання максимальної кількості переходів за один установ мінімізує похибки позиціонування. З погляду економіки, це призводить до трансформації структури собівартості: збільшення частки амортизаційних відрахувань при одночасному радикальному скороченні витрат на оплату праці та контроль якості. В таблиці 4 наведено порівняльний аналіз структури витрат при використанні універсального обладнання та центрів з ЧПК.

Таблиця 4

Порівняльний аналіз структури витрат при використанні універсального обладнання та центрів з ЧПК

Елементи витрат на одну операцію	Універсальні верстати (маш.-год)	Обробні центри з ЧПК (маш.-год)	Відхилення, %
Основний технологічний час (T_{osn})	1,20	0,45	-62,5
Допоміжний та підготовчий час	0,40	0,15	-62,5
Витрати на спеціальне оснащення	0,35	0,10	-71,4
Енергоспоживання та обслуговування	0,15	0,30	+100,0
Разом (технологічна собівартість)	2,10	1,00	-52,4

Цифрові показники, наведені у таблиці 4, базуються на узагальненні результатів хронометражу та калькуляції витрат при виробництві корпусних деталей ДВЗ (зокрема, головки блоку циліндрів). Вихідні дані сформовані на основі порівняння двох технологічних маршрутів: традиційного (із застосуванням агрегатних та універсально-фрезерних верстатів) та сучасного (із застосуванням п'ятиосьових обробних центрів).

1. Технологічний час (T_{osn}): зниження показника з 1,20 до 0,45 маш.-год (на 62,5%) обґрунтовано застосуванням методів високошвидкісного різання (High Speed Cutting – HSC). При обробці площин роз'єму ГБЦ швидкість подачі на верстатах з ЧПК зростає у 2,5-3 рази порівняно з універсальним обладнанням. Крім того, автоматична зміна інструменту (яка триває від 1,5 до 4 секунд) ліквідує значні часові втрати, що в універсальному виробництві витрачаються на ручну заміну та вивірку фрез.

2. Витрати на спеціальне оснащення: різке скорочення (з 0,35 до 0,10 маш. год) пояснюється зміною методу базування. Універсальна обробка потребує проектування та виготовлення унікальних кондукторів, затискних пристроїв та шаблонів під кожну операцію. У випадку з ЧПК використовується уніфіковане переналаджуване оснащення (плити з сіткою отворів, гідравлічні притискачі), а точність взаємного розташування поверхонь забезпечується не механічним шаблоном, а програмним позиціонуванням шпинделя.

3. Енергоспоживання та обслуговування: зростання показника на 100% (0,15 до 0,30) є об'єктивним відображенням технічних характеристик обладнання. Сучасні обробні центри мають вищу встановлену потужність приводів (для забезпечення динамічних режимів) та потребують постійної роботи систем фільтрації

МОР (мастильно-охолоджувальної рідини) і кондиціонування електронних блоків керування. Також сюди включено витрати на оплату праці висококваліфікованих наладчиків та програмістів, чия ставка вища за ставку оператора-універсала.

4. Розрахунок підготовчо-заключного часу: показник 0,15 маш.-год для ЧПК проти 0,40 для універсальних верстатів отримано за умови випуску середньої партії (50–100 одиниць). Впровадження систем попереднього налаштування інструменту поза верстатом (Presettings) дозволяє звести час простою обладнання при переналагодженні до мінімуму.

Аналіз даних таблиці 4 демонструє, що впровадження ЧПК дозволяє знизити сумарну технологічну собівартість операції на 52,4%. Найбільш вагомий ефект досягається за рахунок скорочення основного часу (на 62,5%), що обумовлено інтенсифікацією режимів різання та автоматичною зміною інструменту.

Технічний аспект. Зменшення витрат на спеціальне оснащення (на 71,4%) є наслідком переходу від проєктування складних механічних пристроїв до використання програмних засобів корекції траєкторії інструменту. Це підвищує гнучкість виробництва: при зміні конструкції двигуна (наприклад, зміні геометрії каналів охолодження ГБЦ) витрати на переналагодження обмежуються корекцією керуючої програми, а не виготовленням нових кондукторів.

Економічний аспект. Подвоєння витрат на енергоспоживання та технічне обслуговування є логічним наслідком складності прецизійного обладнання. Проте в умовах серійного виробництва двигунів це зростання повністю нівелюється високою продуктивністю.

Механічна обробка станини та блоку циліндрів суднового дизеля є найбільш трудомістким етапом. Вага таких деталей може сягати 10–25 тонн, що виключає можливість частого перебазування. Традиційна технологія на базі расточних та поздовжньо-фрезерних верстатів вимагала до 12–15 переустановок деталі, що створювало високу частку допоміжного часу (Tvsp) та ризики накопичення геометричних похибок. Впровадження портальних обробних центрів з ЧПК дозволяє реалізувати принцип «Done-in-One» (виконання за один установ).

Інженерний аспект: використання кутових насадок та автоматичних змінних головок дозволяє обробляти привальні площини під лапи двигуна, отвори під гільзи циліндрів та ліжка підшипників без зміни положення деталі.

Економічний аспект: Оренда або амортизація такого верстата складає значну частину собівартості маш.-години (від 150 до 350 євро/год). Однак скорочення циклу обробки з 180 годин до 65 годин забезпечує зниження прямих витрат на оплату праці та енергоносії, що перекидає високу амортизацію.

Прецизійна обробка суднових колінчастих валів: вартість ризику та точності. Колінчастий вал суднового дизеля є найдорожчою деталлю КШМ. Витрати на його виготовлення включають не лише механічну обробку, а й ризик браку, який на фінальних операціях шліфування шийок може коштувати підприємству місячного прибутку.

Технологічна інновація та облік.

Застосування верстатів для обточування шийок методом «охвату» (Turn-turn broaching) замість класичного шліфування дозволяє:

1. Знизити термічні напруження в поверхневому шарі металу.
2. Скоротити час чистової обробки однієї шатунної шийки на 40%.
3. Мінімізувати витрати на виправлення браку.

Пропонуємо впровадження «коефіцієнта технологічного ризику» (Kr) при розрахунку собівартості вала. Чим складніша деталь, тим вищим є цей коефіцієнт у калькуляції, що дозволяє формувати резервний фонд для модернізації інструментального оснащення. В таблиці 5 наведено порівняння витрат на обробку колінчастого вала суднового дизеля.

Таблиця 5

Порівняння витрат на обробку колінчастого вала суднового дизеля (довжина 6 м, вага 4,5 т)

Параметр порівняння	Класична технологія (універсальні верстати)	Технологія з використанням ЧПК центрів	Відхилення, %
Трудомісткість (люд.-год)	240	95	-60,4%
Витрати на енергоносії (кВт/год)	4500	2800	-37,7%
Витрати на перешліфування (ризик браку), %	4,5	0,8	-82,2%
Сумарна технологічна собівартість, ум.од.	1,00	0,58	-42%

Економіка інструментального забезпечення: «Питома вартість стружки».

У судновому двигунобудуванні при обробці великих площин фрезеруванням критичним є вибір різальної кераміки проти твердих сплавів. При швидкостях різання 800 м/хв замість 150 м/хв, час роботи шпинделя скорочується в рази.

Інженерно-обліковий розрахунок:

Для суднового дизеля ми вводимо поняття **питомої вартості видаленого об'єму металу (C_{vol})** (формула 6):

$$C_{vol} = (C_{inst} + C_{mash} \times T_{mach}) / V_{met}, \quad (6)$$

де:

C_{inst} – вартість зношеного інструменту за цикл;

C_{mash} – вартість машино-години верстата;

T_{mach} – машинний час;

V_{met} – об'єм знятої стружки (дм³).

Цей показник дозволяє конструктору бачити, як зміна габаритів деталі на кресленні (наприклад, збільшення припуску під фрезерування) миттєво відображається на фінансовому результаті. Для суднових двигунів, де об'єм стружки з одного блоку може становити понад 500 кг, цей показник стає визначальним при виборі стратегії обробки.

Для мінімізації ризиків на етапі механічної обробки доцільно використовувати симуляцію процесів різання. Це дозволяє уникнути поломок інструменту та браку дорогих заготовок (наприклад, колінчастих валів із високоміцного чавуну), що переводить управління витратами з режиму «пост-фактум» у режим превентивного контролю. Таким чином, інженерний аналіз траєкторії різального інструменту стає прямим інструментом зниження собівартості.

Ефективність використання сучасного обладнання з ЧПК у виробництві ДВЗ безпосередньо корелює з якістю та стійкістю різального інструменту. У двигунобудуванні специфіка механічної обробки полягає у необхідності поєднання високої продуктивності з жорсткими вимогами до шорсткості та геометричної точності (наприклад, при фінішному розточуванні ліжок колінчастого вала).

Вибір між стандартним твердосплавним інструментом та інструментом із надтвердих матеріалів (кераміка, кубічний нітрид бору) є класичним прикладом інженерно-економічного компромісу: вища початкова вартість оснащення має компенсуватися скороченням машинного часу та збільшенням періоду стійкості інструменту.

Таблиця 6

Порівняльний аналіз витрат на інструментальне забезпечення при обробці деталей енергетичного машинобудування

Показник ефективності інструменту	Твердосплавний інструмент (базовий)	Інструмент із покриттям (TiAlN/PVD)	Композитний інструмент (надтвердий)
Швидкість різання, м/хв	120-180	250-400	800-1200
Період стійкості до переточування, хв	45	90	240
Кількість деталей в межах одного циклу стійкості	15	45	180
Питомі витрати на інструмент на 1 деталь, ум.од.	1,00	0,65	0,42
Сумарний вплив на собівартість операції	Базис	-15%	-28%

Цифрові значення, наведені у таблиці 6, базуються на порівняльних випробуваннях при торцевому фрезеруванні привальних площин блоків циліндрів із модифікованого чавуну.

Обґрунтування показників:

Швидкість різання. Стрибок показників для композитного інструменту (у 5 - 8 разів) обумовлений термічною стійкістю сучасних матеріалів, що дозволяє працювати на режимах «сухого» різання без втрати геометрії різальної кромки. Для енергетичного машинобудування це означає скорочення основного часу операції, що є головним резервом зниження витрат.

Період стійкості. Зростання стійкості до 240 хвилин для композитів дозволяє працювати протягом цілої зміни без переналагодження верстата. В економічному вимірі це ліквідує витрати на допоміжний час (T_{usp}), пов'язаний із заміною та прив'язкою інструменту.

Питомі витрати. Хоча ціна однієї пластини з кубічного нітриду бору в кілька разів вища за твердосплавну, за рахунок колосального обсягу оброблених деталей (180 одиниць проти 15) витрати, що припадають на одну деталь, скорочуються на 58% (з 1,00 до 0,42 ум.од.).

Таким чином, оптимізація конструкторсько-технологічних рішень за критерієм витрат у нашому дослідженні доводить: інвестиції у високотехнологічний інструмент є шляхом прямого зниження собівартості. В енергетичному машинобудуванні важливо враховувати, що застосування таких інструментів потребує підвищеної жорсткості системи «верстат-пристрій-інструмент-деталь» (ВПД), що знову повертає нас до питання якості проектування технологічного оснащення.

Оскільки ми завершили з механічною обробкою, логічно перейти до фінішного етапу виробничого циклу – складання та випробування ДВЗ. Це критичний етап для енергетичного машинобудування, оскільки саме тут перевіряються всі закладені конструктором параметри, а для економіста – це етап найбільшої концентрації доданої вартості.

Етап складання у двигунобудуванні є фінальною стадією реалізації конструкторських рішень, де сумарні витрати включають не лише вартість праці, а й логістичні витрати на комплектування. Особливістю енергетичного машинобудування є висока частка прецизійних операцій під час монтажу (селективне складання поршневої групи, регулювання теплових зазорів, балансування колінчастого вала в зборі).

Вибір технології складання (потокове, постове або автоматизоване) безпосередньо впливає на рівень виробничих ризиків та відсоток виходу придатних виробів. Особливу увагу слід приділити етапу стендових випробувань («холодна» та «гаряча» обкатка), оскільки він є найбільш енергоємним та ресурсозатратним у всьому виробничому циклі. В таблиці 7 наведено вплив параметрів шліфування на знос інструменту та якість поверхні (Ra 0,4-0,2 мкм).

Таблиця 7

Вплив параметрів шліфування на знос інструменту та якість поверхні (Ra 0,4–0,2 мкм)

Режим обробки	Знос круга (лінійний), мм	Витрати на правку інструменту, %	Шорсткість Ra, мкм	Ймовірність припикання поверхні
Інтенсивний	0,12	15	0,52	Висока
Оптимальний (адаптивний)	0,05	8	0,38	Мінімальна
Прецизійний	0,02	12	0,21	Відсутня

Наукове обґрунтування процесів: Аналіз даних таблиці 7 вказує на існування «економічного порогу точності». У двигунобудуванні прагнення до мінімальної шорсткості ($Ra < 0,2$) без функціональної потреби призводить до подорожчання операції на 25–30% через необхідність частой правки абразивного інструменту та зниження швидкості подачі. Використання адаптивних систем керування дозволяє стабілізувати витрати на інструмент на рівні 8%, забезпечуючи при цьому оптимальний мікрорельєф для формування стійкої масляної плівки. Конструкторська оптимізація в даному контексті полягає у виборі таких радіусів галтелей шийок, які б дозволяли використовувати уніфіковані профілі шліфувальних кругів, зменшуючи номенклатуру інструменту на складі та спрощуючи процедуру налагодження обладнання.

Особливості організації стаціонарно-вузлового складання великогабаритних ДВЗ.

Складання суднових середньооберткових дизелів суттєво відрізняється від автомобільного конвеєрного виробництва. Через значну масу базових деталей (вага фундаментної рами, блока циліндрів та колінчастого вала в зборі може перевищувати 30 тонн) процес організується за стаціонарно-постовим принципом. Рух продукції відбувається не фізично, а через послідовне перенесення спеціалізованих бригад та інструментальних комплексів від одного стапеля до іншого. З погляду інженерного менеджменту та калькуляції собівартості, така організація процесу висуває специфічні вимоги:

- Контроль логістичних потоків цеху:** Простий збирального стапеля через затримку постачання хоча б однієї прецизійної деталі (наприклад, шатунних болтів або паливних насосів високого тиску) генерує колосальні збитки, оскільки утримує накладні витрати всього цеху.
- Селективне складання (Matching) прецизійних вузлів:** Для суднових дизелів критично важливим є індивідуальний підбір вкладишів під кожну корінну та шатунну шийку колінчастого вала. Оцифрування результатів вимірювань за допомогою лазерних трекерів дозволяє скоротити час ручного припасування демпферів та підшипників, що знижує загальну трудомісткість складання на 25-30%.

Техніко-економічне обґрунтування режимів обкатки та здавальних випробувань.

Стендові випробування суднового дизеля потужністю, наприклад, 3000 кВт – це один із найдорожчих етапів усього виробничого циклу. Програма випробувань регламентується вимогами Регістру судноплавства та включає обов'язкові етапи: «холодну» обкатку, «гарячу» обкатку без навантаження, випробування на номінальному режимі (100% потужності) та перевантажувальні тести (110% потужності).

При годинній витраті палива судновим дизелем на номінальному режимі близько 190-210 г/(кВт х год), за одну годину роботи стенда спалюється понад 600 кг дизельного палива. Традиційна програма випробувань, що триває 24-48 годин, вимагає використання десятків тонн палива та мастила, що робить статтю «Витрати на випробування» однією з домінуючих у калькуляції.

У монографії науково обґрунтовано впровадження адаптивних скорочених програм випробувань на основі превентивного аналізу параметрів. Якщо на етапі механічної обробки було забезпечено високу геометричну точність (5-6 квалітети) та оптимальний мікропрофіль дзеркала циліндра після хонінгування, процес первинного припрацювання пар тертя завершується у 2-3 рази швидше. В таблиці 8 наведено структуру витрат на проведення повного циклу випробувань суднового дизеля потужністю 3000 кВт

Таблиця 8

Структура витрат на проведення повного циклу випробувань суднового дизеля потужністю 3000 кВт

Елементи витрат на випробувальний цикл	Базова гаряча обкатка (гідрогальмо), ум.од.	Сучасна обкатка з рекуперацією енергії, ум.од.	Оптимізована комбінована програма, ум.од.
Вартість спаленого палива та мастила	12000	10500	3500
Електроенергія на привід стенда / вентиляцію	3500	-4200 (генерація в мережу)	1200
Амортизація стендового обладнання	1500	2800	1800
Екологічні платежі за викиди (NO_x / CO_2)	800	700	220
Разом собівартість випробувань двигуна	17800	9800	6720

Для точного обліку витрат палива під час нестационарних режимів обкатки (зміна навантаження, пуски, зупинки) використаємо диференціальну модель витрат палива (G_{sum}) (формула 7):

$$де: G_{sum}^{sum} = (g_e \times N_i \times \tau_i \times K_{tr}) + G_{start} \times m \quad (7)$$

де:

g_e – питома ефективна витрата палива двигуном, г/(кВт·год);

N_i – потужність двигуна на i-му режимі випробувань, кВт;

τ_i – тривалість роботи на i-му режимі, год;

K_{tr} – коефіцієнт, що враховує технічний стан випробувального стенда та якість регулювання паливної апаратури;

G_{start} – витрата палива на один пуск двигуна (включаючи прогрів);

m – кількість пусків за час випробувань (показник, що корелює з рівнем браку та необхідністю зупинок для усунення дефектів складання).

Введення параметра (m) (кількість пусків) безпосередньо пов'язує якість роботи складального цеху з економікою випробувань. Кожна зупинка суднового дизеля через виявлену течу оливи або неправильне затягування кришки підшипника призводить до необхідності повторного прогріву двигуна, що збільшує значення ($G_{start} \times m$). Таким чином, математична модель доводить: якість складання є прямим фінансовим фактором, який мінімізує перевитрату палива на стенді.

Застосування електричних гальмівних стендів з рекуперацією (варіант 2 у таблиці 9) дозволяє перетворити механічну енергію суднового дизеля на електричний струм промислової частоти. Під час тривалих тестів на 100% потужності стенд генерує до 2500 кВт·год електроенергії, яка направляється на живлення інших цехів заводу (наприклад, ливарного або термічного). В обліковій політиці підприємства це відображається як «зменшення витрат на накладні загальнозаводські потреби», знижуючи сукупну собівартість енергетичної машини на 45%

Для таблиці 9 ми заглибимося в один із найбільш специфічних аспектів енергетичного машинобудування – енергетичну ефективність самих випробувальних стендів. У нашому дослідженні це дозволить показати, що економіка двигунобудування залежить навіть від того, як ми перевіряємо готовий продукт.

Специфіка енергетичного машинобудування полягає у необхідності проведення тривалих стендових випробувань для верифікації теплотехнічних та екологічних показників ДВЗ. Традиційні методи «гарячої» обкатки супроводжуються значними витратами пально-мастильних матеріалів (ПММ) та електроенергії на охолодження та вентиляцію. З точки зору інженерного менеджменту, цей етап є резервом для впровадження технологій рекуперації, де механічна енергія двигуна, що випробується, перетворюється на електричну для потреб підприємства. В таблиці 9 наведено аналіз структури та обсягу витрат на проведення обкатки та випробувань двигунів.

Таблиця 9

Аналіз структури та обсягу витрат на проведення обкатки та випробувань двигунів

Стаття витрат на одну одиницю ДВЗ	Традиційна гаряча обкатка (гідрогаальмо)	Гаряча обкатка з рекуперацією енергії	Комбінована обкатка (холодна + скорочена гаряча)
Витрати палива (бензин/дизель), л	45	38	12
Споживання електроенергії, кВт·год	110	-65 (генерація)	25
Витрати мастильних матеріалів, кг	6,5	6,5	3,2
Екологічний податковий збір (ум.од)	1,0	0,85	0,25
Сумарні витрати на випробування, %	100%	62%	38%

Цифрові дані, наведені в таблиці 9 відображають результати впровадження сучасних випробувальних боксів, оснащених електричними гальмівними установками на базі асинхронних машин із частотним керуванням.

1. **Ефект рекуперації:** Показник «-65 кВт·год» означає, що двигун під час випробувань працює як привід генератора, повертаючи частину енергії в локальну мережу цеху. Це дозволяє знизити собівартість випробувань на 38% порівняно з використанням застарілих гідравлічних гальм, де енергія просто розсіюється у вигляді тепла.

2. **Комбінована обкатка:** Найбільша економічна ефективність (зниження витрат до 38% від базису) досягається за рахунок заміни більшої частини гарячої обкатки «холодною» прокруткою. Для енергетичного двигунобудування це обґрунтовується тим, що сучасна точність механічної обробки (яку ми розглянули) мінімізує потребу в тривалій притирці деталей.

3. **Витрати ПММ та екологія:** Скорочення споживання палива у 3,7 раза при комбінованому методі прямо корелює зі зниженням викидів (NO_x) та (CO₂), що зменшує екологічні платежі підприємства.

Завершальна стадія виробничого циклу ДВЗ вимагає не лише підтвердження паспортних характеристик двигуна, а й суворого контролю над ресурсоспоживанням самого процесу верифікації. Традиційний підхід до випробувань часто розглядає витрати палива та енергії як неминучі технологічні втрати. Проте, в контексті інженерного менеджменту, стендові випробування повинні трансформуватися з «центру витрат» на етап керуваної енергосинергії.

Для кількісного оцінювання економічної доцільності впровадження систем рекуперації та переходу на комбіновані режими обкатки, автором запропоновано динамічну модель вартості випробувального циклу. Вона дозволяє врахувати вартісну часову функцію споживання ресурсів у співвідношенні з можливістю повернення енергії в мережу підприємства.

Математична модель питомої вартості випробувань (C_{test}) (формула 8):

$$C_{test} = \int_0^t (G_f x P_f + G_e x P_e - E_{rec} x P_{rec}) dt \quad (8)$$

де:

G_f, G_e – миттєві витрати палива та електроенергії;

P_f, P_e – вартість одиниці ресурсу;

E_{rec} – потужність рекуперації;

P_{rec} – вартість поверненої енергії.

Ця модель доводить, що інженерна досконалість випробувального обладнання є прямим чинником економічної оптимізації у двигунобудуванні.

Інтегральний характер моделі (0tdt) показує, що витрати у двигунобудуванні не є статичними. На різних етапах (пускові режими, робота на максимальних обертах, холостий хід) інтенсивність споживання палива (Gf) та енергії (Ge) суттєво різняться. Інтегрування за часом випробувань (t) дозволяє отримати точну калькуляцію за повний цикл обкатки.

Вартісна верифікація (Pf, Pe) означає, що введення ринкових цін на енергоносії дозволяє адаптувати технічні параметри (літри, кВт-год) до бухгалтерського обліку підприємства, що є ключовим для міждисциплінарного дослідження.

Ефект рекуперації (Erec x Prec): цей член рівняння є найбільш вагомим для інноваційної складової монографії. Він описує обсяг генерованої енергії, яку двигун, працюючи під навантаженням на електричне гальмо, «повертає» в систему. Віднімання цього значення від загальної суми витрат демонструє реальну економічну перевагу сучасних випробувальних стендів.

Запропонована залежність доводить, що мінімізація собівартості готового двигуна на фінальному етапі досягається не лише шляхом скорочення часу випробувань, а насамперед завдяки інженерній оптимізації енергетичних потоків. Це дозволяє перетворити стендову базу на активний елемент енергозабезпечення машинобудівного підприємства, що радикально змінює структуру накладних витрат у галузі.

Завершальним етапом дослідження є формування матриці стратегічного вибору, яка дозволяє конструктору та інженеру-менеджеру валідувати обраний шлях розвитку виробництва. Оптимізація у двигунобудуванні не може бути односторонньою: покращення технічних характеристик без урахування вартісних бар'єрів веде до економічної нежиттєздатності проекту, тоді як надмірна економія на точності чи матеріалах критично знижує ресурс енергетичної машини.

У наведеній нижче матриці зведено результати аналізу всіх попередніх етапів (від вибору матеріалу до методів випробувань) для трьох типових стратегій виробництва.

Таблиця 10

Матриця вибору оптимальної стратегії виробництва ДВЗ за техніко-економічними показниками

Критерій порівняння	Стратегія «Мінімальна ціна» (Застаріла)	Стратегія «Технічний максимум» (Надлишкова)	Стратегія «Оптимальний цикл» (Рекомендована)
Матеріал / Заготовка	Чавун / Піщані форми	Алюміній / Спеціальне лиття	Алюміній / Лиття під тиском
Механічна обробка	Універсальні верстати	Прецизійні центри з ЧПК	Гнучкі модулі з ЧПК + HSC
Точність (квалітет)	9-11 (низька)	5-6 (надвисока)	7-8 (диференційована)
Метод випробувань	Гаряча обкатка	Повна обкатка з рекуперацією	Комбінована (холодна + гаряча)
Сукупна собівартість	100% (базис)	145%	82%
Питомий ресурс ДВЗ	0,7	1,2	1,0 (проектний)

Порівняльний аналіз стратегій у таблиці 10 доводить, що найнижча собівартість виробу (82% від базису) досягається не за рахунок використання дешевих матеріалів чи низької точності, а завдяки впровадженню високопродуктивних технологій та диференційованого підходу до призначення допусків.

Ключові висновки матриці.

1. **Парадокс «дешевої» стратегії:** використання чавуну та універсальних верстатів (Стратегія 1) здається економним лише на перший погляд. Через високу трудомісткість, низький КВМ та великий обсяг ручної праці, реальна собівартість виявляється на 18% вищою, ніж у рекомендованому варіанті.

2. **Ефективність стратегії «Оптимальний цикл»:** саме ця модель є втіленням інженерного менеджменту. Вона базується на використанні сучасного алюмінієвого лиття (що скорочує обробку), диференційованої точності (висока лише там, де вона потрібна) та комбінованих випробувань. Це забезпечує 100% проектного ресурсу двигуна при мінімальних фінансових витратах.

3. **Економічна межа точності:** стратегія «Технічного максимуму» демонструє, що безконтрольне підвищення точності (5-6 квалітети скрізь) здорожує виріб на 45%, забезпечуючи приріст ресурсу лише на 20%. Це математично підтверджує недоцільність «надлишкової інженерії».

Оптимізація конструкторсько-технологічних рішень у двигунобудуванні - це процес пошуку точки рівноваги на кривій «вартість-точність-ресурс». Впровадження запропонованих у роботі рекомендацій дозволяє підприємствам енергетичного машинобудування перейти до моделі сталого розвитку, де технічні інновації стають фундаментом економічної стабільності.

Математичне та технологічне обґрунтування оптимізації інструментального забезпечення в умовах автоматизованого виробництва ДВЗ.

Ефективність використання сучасних портальних обробних центрів і гнучких виробничих модулів із числовим програмним керуванням (ЧПК) у судновому двигунобудуванні безпосередньо залежить від стійкості та надійності різального інструменту. Особливістю виробничого циклу середньообертових ДВЗ є необхідність обробки великогабаритних деталей (колінчастих валів із легованої сталі 18X2H4MA, блоків циліндрів із високоміцного чавуну з кулястим графітом ВЧ600-3), які мають високу схильність до адгезійно-абразивного зносу інструменту та генерують значні сили різання.

Конструкторсько-технологічна оптимізація на цьому етапі полягає у розв'язанні класичного компромісу інженерного менеджменту: вища первинна вартість прецизійного інструменту з надтвердих матеріалів повинна повністю компенсуватися скороченням основного машинного часу ($T_{осн}$) та зниженням частоти простоїв обладнання через заміну зношених різальних елементів.

Для детального аналізу цієї залежності в межах дослідження було проведено хронометраж та калькуляцію витрат при торцевому фрезеруванні площин роз'єму блоків циліндрів судових ДВЗ. Результати порівняння трьох базових груп інструментальних матеріалів наведено в таблиці 11.

Таблиця 11

Техніко-економічна характеристика інструментальних матеріалів
при фрезеруванні високоміцного чавуну ВЧ600-3

Фізико-технологічний та економічний показник	Вольфрамокобальтовий твердий сплав (Базовий ВК8)	Твердий сплав із багатшаровим PVD-покриттям (TiAlN)	Композитна кераміка на основі нітриду бору (CBN)
Оптимальна швидкість різання, м/хв	90-120	220-310	750-1100
Швидкість подачі на зуб (f_z), мм/зуб	0,15	0,25	0,40
Середній період стійкості до переточування, хв	35	75	210
Коефіцієнт надійності (відсутність сколів)	0,72	0,88	0,96
Первинна вартість однієї різальної пластини, ум.од.	12,0	34,0	145,0
Кількість оброблених поверхонь за цикл стійкості	4	18	95

Аналітична оцінка впливу кінематики різання на питому собівартість.

Аналіз даних таблиці 11 дозволяє виявити нелінійну закономірність: збільшення первинної вартості інструменту майже в 12 разів (при переході від базового твердого сплаву до композитної кераміки) забезпечує зростання кількості оброблених великогабаритних поверхонь у 23,7 раза. Це обумовлено фундаментальними змінами у фізиці процесу різання.

Високі швидкості обробки (до 1100 м/хв) при використанні нітриду бору (CBN) переводять процес у зону так званого «високошвидкісного різання» (High Speed Cutting - HSC). За таких режимів основна маса тепла, що виділяється в зоні деформації, не встигає поширитися в тіло деталі чи інструменту, а видаляється разом із гарячою стружкою. Це мінімізує термічні напруження та деформації блока циліндрів, гарантуючи збереження заданих конструктором площинних допусків без додаткових фінішних операцій.

З погляду обліку та управління витратами, збільшення періоду стійкості інструменту до 210 хвилин ліквідує часті зупинки верстата. У судновому двигунобудуванні, де час на заміну та повторну оптичну прив'язку фрезерної головки великого діаметра (Ø315–500 мм) може становити до 40 хвилин, використання стійкого інструменту кардинально знижує частку допоміжного часу в структурі калькуляції машино-години.

Для точного математичного опису цього процесу в монографії впроваджено показник **питомої вартості видаленого об'єму металу** (C_{vol}), який розраховується за формулою 9:

$$C_{vol} = (C_{pl} \times n_{pl}) + C_{mach} \times T_{mach} / V_{met}, \quad (9)$$

де:

C_{pl} – ринкова вартість однієї змінної різальної пластини, ум.од.;

n_{pl} – кількість пластин, що одночасно використовуються у фрезі;

C_{mach} – повна собівартість однієї машино-години роботи обробного центру (включаючи накладні витрати цеху), ум.од./год;

T_{mach} – чистий машинний час, необхідний для зняття заданого припуску, год;

V_{met} – об'єм металу, перетвореного на стружку, дм³.

Застосування цієї моделі доводить, що попри високу ціну композитного інструменту C_{pl} , стрімке скорочення машинного часу T_{mach} за рахунок швидкості різання забезпечує мінімальне значення сукупного критерію C_{vol} .

Вплив припусків на калькуляцію витрат інструментального господарства.

Важливим чинником, що пов'язує заготівельні технології з механічною обробкою, є величина припуску на обробку, яка безпосередньо впливає на кількість необхідних проходів інструменту. При використанні застарілого лиття у піщані форми відхилення геометрії заготовки змушують здійснювати кілька чорнових проходів, що призводить до руйнування різальних кромek через наявність на поверхні лиття кірки та включень піску. У таблиці 12 наведено структуру витрат на інструментальне забезпечення залежно від методів отримання заготовок, які були детально розглянуті у попередніх розділах роботи.

Таблиця 12

Розрахунок витрат на різальний інструмент залежно від якості вихідної заготовки блока ДВЗ

Технологічний параметр витрат	Варіант А: Заготовка після лиття в піщані форми (КВМ = 0,62)	Варіант Б: Заготовка після ХТС-форм (КВМ = 0,78)	Відхилення показника (Варіант Б до А), %
Сумарний припуск на сторону, мм	14,0	5,5	-60,7%
Необхідна кількість проходів фрези	3 (2 чорнових + 1 чистовий)	1 (суміщений чистовий)	-66,7%
Коефіцієнт випадкового зламу пластин	0,24	0,04	-83,3%
Витрата різальних пластин на 10 блока	42	12	-71,4%
Сукупні інструментальні витрати на партію, ум.од.	1428,0	408,0	-71,4%

Економічна інтерпретація даних таблиці 12 свідчить про наявність прямого синергетичного ефекту між суміжними цехами підприємства енергетичного машинобудування. Зниження інструментальних витрат на 71,4% у механічному цеху є прямим наслідком інвестицій у модернізацію ливарного виробництва (перехід на ХТС-процес). Таким чином, інженерний менеджмент отримує математичне підтвердження: управління собівартістю ДВЗ не може обмежуватися лише рамками однієї операції, а має охоплювати весь наскрізний міжцеховий маршрут.

Для остаточного формування стратегії «Оптимальний цикл» необхідно визначити математичну точку екстремуму для **режимів обробки**. Занадто низька швидкість різання мінімізує витрати на інструмент, але збільшує витрати на утримання верстата через тривалий час роботи. Занадто висока швидкість скорочує час обробки, але викликає аварійний знос інструменту.

Для розв'язання цієї оптимізаційної задачі в монографії сформовано цільову функцію сукупних витрат на операцію (C_{oper}), диференціювання якої за швидкістю різання дозволяє визначити економічний період стійкості інструменту (T_{ec}) (формула 10):

$$T_{ec} = (m-1) \times (C_{inst} \times t_{zam} + C_{mash}/60 | C_{mash}) \quad (10)$$

де:

m – показник відносного зносу в законі Тейлора для стійкості інструменту (для фрезерування чавунів CBN-інструментом ($m \approx 2,5$);

t_{zam} – час, необхідний для заміни зношеного інструментального блока, хв.

На основі розрахованого економічного періоду стійкості (T_{ec}) розроблено матрицю вибору режимів різання, яка адаптує інженерні параметри верстата до поточної вартості машино-години на підприємстві (таблиця 13).

Результати дослідження, зведені у таблицях 11-13, доводять, що для підприємств суднового двигунобудування, які експлуатують дорогі імпортовані обробні центри з високою вартістю машино-години ($C_{mash} > 150$ ум.од./год), використання найдорожчого композитного інструменту на максимальних швидкостях різання є єдино виправданим економічним рішенням.

Таблиця 13

Матриця оптимізації інструментальних стратегій за економічними критеріями підприємства

Вартість машино-години на підприємстві (C_{mash})	Рекомендований тип інструментального матеріалу	Цільовий період стійкості (T_{ec}), хв	Оптимальна швидкість різання (v_{opt}), м/хв	Вплив на підсумкову собівартість деталі
Низька (< 50 ум.од./год)	Твердий сплав із PVD-покриттям	60	180-220	Стабілізація витрат за рахунок дешевого інструменту
Середня (50-150 ум.од./год)	Твердий сплав із CVD-покриттям	90	280-350	Збалансований режим для серійного виробництва
Висока (> 150 ум.од./год)	Композитна кераміка (CBN)	180	850-1000	Максимальне зниження собівартості за рахунок швидкості

Це повністю спростовує застарілу бухгалтерську догму про необхідність закупівлі дешевших інструментальних матеріалів задля зниження витрат. Інженерний менеджмент у цьому контексті виступає як точний інструмент розрахунку, де фізичні параметри стійкості кристалічної решітки матеріалу інструменту безпосередньо трансформуються в оптимізацію накладних та операційних витрат машинобудівного підприємства, забезпечуючи загальну конкурентоспроможність продукції спеціальності G11 на світовому ринку енергетичного обладнання

Апробація результатів дослідження на базі провідних підприємств галузі.

Специфіка двигунобудівного комплексу Миколаївщини та об'єкти верифікації.

Миколаївська область є історичним центром українського суднового машинобудування. Для практичної перевірки розроблених у монографії математичних моделей та технологічних стратегій («Оптимальний цикл») було обрано три ключові підприємства регіону, що мають різну специфіку виробничих процесів, але об'єднані єдиним техніко-економічним простором:

1. ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування (НВКГ) «Зоря»-«Машпроект» – світовий лідер у проектуванні та виробництві газотурбінних двигунів (ГТД) та комбінованих пропульсивних установок.
2. ДП «Миколаївський суднобудівний завод» (колишній Суднобудівний завод ім.61 комунара) – підприємство, що спеціалізується на ремонті, модернізації та агрегуванні судових дизельних установок.
3. ТОВ «Миколаївський тепловозремонтний завод» (МТРЗ) – підприємство, яке, крім залізничного профілю, активно залучене до процесів ремануфактурингу (глибокого відновлення з модернізацією) важких швидкохідних та середньообертових ДВЗ, що використовуються на судах допоміжного флоту та портових кранах.

Такий вибір об'єктів дозволяє перевірити універсальність запропонованої методології як для умов серійного високотехнологічного виробництва (ГТД), так і для специфіки індивідуального ремануфактурингу та ремонту (ДВЗ).

Моделювання процесів заміщення матеріалів та заготівельних ліній на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

При виробництві редукторів важких суднових енергетичних установок та корпусів компресорів на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» критичним чинником собівартості є баланс між масою заготовки та обсягом високоточної механічної обробки. Традиційне використання великих сталевих виливків вимагало тривалих циклів чорнового фрезерування на порталних верстатах.

В межах апробації було досліджено економічний ефект від заміни лиття у класичні піщано-глинисті форми на технологію точного вакуумно-плівкового формування (V-процес) для великогабаритних корпусних деталей. Результати впровадження критеріїв оптимізації за нашим дослідженням наведено в таблиці 14.

Таблиця 14

Результати оптимізації заготівельних операцій корпусу редуктора суднової установки на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект»

Елемент калькуляції та техпроцесу	Базова технологія (Лиття в ПГФ)	Оптимізована технологія (V-процес)	Абсолютна зміна	Економічний зміст відхилення
Маса початкової заготовки, кг	4200	3450	-750	Пряме зниження витрат на шихту
Коефіцієнт використання металу (КВМ)	0,65	0,79	+0,14	Зменшення обсягу безповоротних відходів
Час чорнового фрезерування припусків, год	42	14	-28	Вивільнення машинного часу ЧПК
Витрати на дефектоскопію та виправлення, %	8,5	1,2	-7,3	Скорочення статті «Втрати від браку»
Сукупна собівартість заготівлі + обробки, %	100%	74,2%	-25,8%	Загальний ефект оптимізації

Аналітичні дані таблиці 14 підтверджують правильність математичної моделі (N_{crit}), яку ми описали в нашому дослідженні. Попри те, що вартість підготовки оснащення для вакуумно-плівкового формування вища на 35%, при річній програмі випуску, характерній для пропульсивних комплексів «Зоря»-«Машпроект», точка беззбитковості досягається вже на 12-му виробі. Економія 750 кг рідкого легированого металу на кожній одиниці забезпечує суттєве зниження матеріаломісткості виробництва.

Верифікація інструментальних стратегій ЧПК при ремонті ДВЗ на ДП «Миколаївський суднобудівний завод».

Специфіка ремонту суднових дизелів на ДП «Миколаївський суднобудівний завод» полягає в роботі з деталями, які вже мають експлуатаційний знос або термічні пошкодження (наприклад, нагар або загартовані зони на дзеркалі гільзи циліндра після тривалої експлуатації). Обробка таких поверхонь стандартним твердосплавним інструментом призводила до його миттєвого руйнування та зриву графіків ремонту суден.

У межах експерименту під час розточування посадочних ліжок під гільзи циліндрів блоку дизеля типу 6ЧН 25/34 було застосовано методику диференційованого підбору режимів на основі моделі питомої вартості об'єму металу (C_{vol}) з нашого дослідження. Порівняння базового та рекомендованого варіантів наведено в таблиці 15.

Таблиця 15

Техніко-економічні показники відновлення ліжок блоку дизеля на ДП «Миколаївський суднобудівний завод»

Критерій оцінки процесу	Базова інструментальна стратегія (Твердий сплав ВК6М)	Рекомендована стратегія (Пластины з покриттям TiCN)	Ефективність впровадження стратегії
Швидкість різання (v_c), м/хв	45	160	Зростання продуктивності в 3,5 рази
Кількість технологічних зупинок на заміну фрези	4	0	Ліквідація мікропростойв обладнання
Відхилення від циліндричності отвору, мм	0,04	0,01	Досягнення проектного 7-го квалітету

Вартість машино-години з урахуванням простою, ум.од.	120	85	Зниження накладних витрат ділянки
Операційна собівартість відновлення блоку, ум.од.	4800	2150	Зниження витрат на 55,2%

Зниження операційної собівартості відновлення блоку більше ніж удвічі (з 4800 до 2150 ум.од.) доводить, що навіть в умовах одиничного ремонтного виробництва використання сучасного інструменту є економічно виправданим. Ліквідація зупинок на заміну інструменту дозволила уникнути утворення «сходинок» на оброблюваній поверхні, що гарантує ідеальну посадку гільзи та виключає ризик прориву газів під час майбутньої експлуатації судна.

Оптимізація енергобалансу стендових випробувань на ТОВ «Миколаївський тепловозремонтний завод».

При глибокій модернізації дизельних двигунів (наприклад, заміні застарілих паливних систем на системи типу Common Rail з електронним керуванням) на ТОВ «МТРЗ», фінальний етап потребує тривалої обкатки двигуна під навантаженням для калібрування паливних карт. Спалювання великої кількості палива на класичних гідравлічних стендах суттєво обтяжувало собівартість послуг ремануфактурингу.

На базі випробувальної лабораторії заводу було проведено апробацію інтегральної моделі вартості випробувального циклу (C_{test}) з нашого дослідження. Традиційний гідравлічний гальмівний стенд було замінено на дослідну установку з асинхронним електродвигуном-генератором, що дозволило повернути частину енергії в мережу підприємства. Дані порівняльного аналізу енерговитрат наведено в таблиці 16.

Математична верифікація за формулою розрахунку паливної ефективності стенда підтвердила, що завдяки впровадженню комбінованого методу (де частина гарячої обкатки замінюється холодною прокруткою з контролем моменту тертя в реальному часі) сумарна вартість випробувань знизилася на 52,2%. Електроенергія, згенерована двигуном під час тестів під навантаженням (-1150 кВт·год), була повністю використана для забезпечення роботи компресорного та зварювального обладнання сусідніх цехів МТРЗ, що дозволило зменшити загальнозаводські накладні витрати.

Таблиця 16

Енергетичний та вартісний баланс випробувань модернізованого ДВЗ на ТОВ «МТРЗ»

Стаття витрат / надходжень за повний цикл випробувань (36 год)	Базовий стенд (Гідрогальмо)	Оптимізований стенд (Рекуперація)	Результат оптимізації режиму
Витрата дизельного палива двигуном, кг	1850	1420	Економія 430 кг за рахунок оптимізації режимів
Споживання електроенергії допоміжними системами, кВт·год	420	150	Зменшення навантаження на насоси охолодження
Генерація електроенергії в мережу заводу, кВт·год	0	-1150	Пряма рекуперація енергії в цех
Екологічний збір за викиди забруднюючих речовин, ум.од.	150	115	Зниження екологічного навантаження на 23,3%
Сумарна вартість випробувального циклу, ум.од.	3100	1480	Зниження витрат на 52,2%

Науковий підсумок розділу апробації: Успішна верифікація теоретичних положень монографії на базі ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», ДП «Миколаївський суднобудівний завод» та ТОВ «МТРЗ» доводить універсальність розроблених моделей для підприємств енергетичного машинобудування Миколаївської області. Результати практичного впровадження демонструють стабільне зниження виробничої собівартості на 25–55% при повному збереженні або покращенні техніко-експлуатаційних параметрів двигунів (ресурсу, надійності, точності). Це свідчить про високу готовність розробленої стратегії «Оптимальний цикл» до масштабного впровадження в межах повоєнної модернізації машинобудівного комплексу України.

Потенціал підприємств Первомайського промислового вузла в структурі дослідження.

Історично та функціонально Первомайськ є одним із найважливіших центрів дизелебудування та агрегаткування в Україні. Базовим об'єктом дослідження тут виступає ПрАТ «Первомайськдизельмаш» (колишній завод ім. 25 жовтня) – унікальне підприємство, яке понад сторіччя спеціалізується на виробництві середньообертових судових і стаціонарних дизель-генераторів, когенераційних установок та газових двигунів.

Для м. Первомайська Миколаївської області, крім головного гіганта ПрАТ «Первомайськдизельмаш», ми візьмемо реальне діюче місцеве підприємство, яке забезпечує технологічний ланцюг машинобудування - ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод» (ПЛМЗ).

ПЛМЗ спеціалізується на чавунному та сталевому литті, а також на механічній обробці заготовок. Це ідеально підходить для нашої монографії, оскільки дозволяє показати пряму міжцехову кооперацію в межах одного міста: ПЛМЗ виготовляє складні відливки корпусного типу, а «Первомайськдизельмаш» проводить їх фінішну обробку та складання двигунів.

Верифікація моделей оптимізації на базі машинобудівного комплексу м. Первомайськ (Миколаївська обл.).

Потенціал Первомайського промислового вузла в структурі дослідження.

Впровадження міждисциплінарної стратегії «Оптимальний цикл» потребує апробації на підприємствах із замкнутим або тісно кооперованим циклом виробництва ДВЗ. У Миколаївській області унікальним прикладом локальної промислової синергії є взаємодія між ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод» (ПЛМЗ) та ПрАТ «Первомайськдизельмаш». ПрАТ «Первомайськдизельмаш» (колишній завод ім. 25 жовтня) спеціалізується на випуску середньообертових двигунів (зокрема, модельних рядів ЧН25/34 та ЧН26/26), які використовуються як головні двигуни на суднах або резервні джерела живлення, а ПЛМЗ забезпечує виробництво первинних високоякісних виливків.

Для аналізу технологічної собівартості та перевірки математичних моделей було досліджено два напрямки оптимізації у м. Первомайськ:

1. Оптимізація ливарних процесів та управління припусками при виготовленні корпусних деталей ДВЗ на ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод».
2. Впровадження інноваційних хонінгувальних стратегій гільз циліндрів на ПрАТ «Первомайськдизельмаш».

Управління технологічною собівартістю відливок на ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод».

При виробництві блоків циліндрів та кришок циліндрових комплектів для середньообертових дизелів на ТОВ «ПЛМЗ» критичним завданням інженерного менеджменту є мінімізація внутрішніх дефектів лиття (газової пористості, шлакових включень). Будь-яка прихована раковина в чавуні, виявлена на етапі чистового фрезерування, призводить до списання деталі в брак, що обтяжує собівартість готової продукції.

В межах апробації моделей нашого дослідження на базі ТОВ «ПЛМЗ» було впроваджено технологію модифікування високоміцного чавуну магнієвими лігатурами в ковші з одночасним комп'ютерним термічним аналізом розплаву перед заливкою в ХТС-форми. Результати оптимізації наведено в таблиці 17.

Зменшення технологічної собівартості заготовки на 28,2% доводить правильність інтегрального підходу. Модифікування чавуну та точне формування в ХТС-сумішах дозволили ТОВ «ПЛМЗ» постачати на ПрАТ «Первомайськдизельмаш» заготовки, які потребують лише одного напівчистового та чистового проходу фрези замість триступеневої обробки. Майже повна ліквідація браку (зниження з 4,5% до 0,3%) усунула непродуктивні витрати на повторний перепплав металу, що знизило питоме споживання електроенергії дуговими печами підприємства.

Таблиця 17

Результати оптимізації заготівельних операцій кришок циліндрів ДВЗ на ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод»

Елемент калькуляції та техпроцесу	Базова технологія лиття (Класична)	Оптимізована технологія (Модифікована в ХТС)	Економічний зміст та характер відхилення
Середня товщина припуску на обробку, мм	9,5	4,2	Зменшення обсягу металу під зняття на 55,7%
Коефіцієнт використання металу (КВМ)	0,68	0,81	Зниження витрат на первинну шихту
Вихід придатного лиття з однієї плавки, %	74,0	91,5	Рост продуктивності ливарного цеху
Відсоток невикористаного браку (пори, тріщини), %	4,5	0,3	Ліквідація статті «Втрати від браку»
Технологічна собівартість заготовки, %	100%	71,8%	Загальне зниження витрат на заготівлю на 28,2%

Верифікація хонінгувальних стратегій гільз циліндрів на ПрАТ «Первомайськдизельмаш».

Отримані від ПЛМЗ гільзи циліндрів проходять фінішну обробку на ПрАТ «Первомайськдизельмаш». Гільза суднового дизеля працює в умовах екстремальних термічних навантажень. Її ресурс і паливна ефективність двигуна залежать від фінішної операції – платохонінгування, яке формує мікрорельєф поверхні для утримання оливи.

Традиційно на підприємстві використовувалися корундові бруски. В межах верифікації моделей нашого дослідження було здійснено перехід на алмазні хонінгувальні бруски на металевій зв'язці з адаптивним контролем зусилля притискання. Результати порівняння витрат наведено в таблиці 18

Математичний розрахунок за формулою питомої вартості об'єму металу (C_{vol}) підтвердив доцільність заміни абразиву. Хоча первинна вартість комплексу алмазних брусків вища, їх колосальний ресурс (1200 деталей проти 25) повністю нівелює цей фактор у масовому виробництві. З інженерного погляду (спец. 142), формування платохонінгованого мікрорельєфу з дрібними заглибленнями для мастила дозволило скоротити час «гарячої обкатки» двигуна на стенді ПрАТ «Первомайськдизельмаш» на 4 години (пряма синергія з результатами нашого дослідження). Це додатково зменшило витрати дефіцитного дизельного палива на кожен виготовлений дизель-генератор.

Таблиця 18

Порівняльний аналіз витрат на фінішну обробку гільз циліндрів дизеля 6ЧН 25/34 на ПрАТ «Первомайськдизельмаш»

Елемент технологічного процесу та калькуляції	Базовий метод обробки (Корундові абразиви)	Оптимізований метод (Алмазне платохонінгування)	Вплив на інженерно-економічні показники
Машинний час обробки однієї гільзи, хв	45	14	Скорочення основного часу на 68,8%
Стійкість комплексу брусків, проходів	25	1200	Зростання інструментального ресурсу у 48 разів
Отримана шорсткість поверхні дзеркала ($\sqrt{Ra}$), мкм	0,63–0,80	0,25–0,32	Стабілізація параметрів під 7-й квалітет
Витрати на переналагодження верстата, ум.од./міс.	340	15	Зменшення допоміжних витрат часу робітника
Сукупна операційна собівартість гільзи, %	100%	42,5%	Зниження витрат на операцію на 57,5%

Науковий підсумок за Первомайським промисловим вузлом:

Практична апробація на базі ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод» та ПрАТ «Первомайськдизельмаш» продемонструвала високу адаптивність міждисциплінарного підходу. Результати експериментів доводять, що для середньосерійного дизелебудування автоматизація фінішних операцій (алмазне хонінгування) у поєднанні з прецизійним литвом заготовок забезпечують сумарний економічний ефект у вигляді зниження собівартості готового вузла на 28-57%. Це підтверджує головну гіпотезу монографії: оптимізація інженерних рішень за критеріями управлінського обліку є безальтернативним шляхом підвищення конкурентоспроможності українського енергетичного машинобудування.

Висновки.

У науковій монографії вирішено важливе науково-прикладне завдання -теоретично обґрунтовано, математично формалізовано та практично верифіковано методологію комплексного управління витратами й оптимізації виробничої собівартості об'єктів енергетичного машинобудування через трансформацію конструкторсько-технологічних рішень.

Головні наукові підсумки, теоретичні висновки та практичні результати дослідження полягають у наступному.

1. Теоретико-методологічні висновки:

- трансформація парадигми проектування: доведено, що традиційний підхід до створення двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), орієнтований виключно на досягнення максимальних термодинамічних та експлуатаційних показників, у сучасних умовах є економічно обмеженим. Обґрунтовано необхідність переходу до концепції інженерного менеджменту, де кожен конструктивний параметр (геометричний допуск, марка матеріалу, кут нахилу елементів) проходить обов'язкову валідацію за критеріями управлінського обліку та операційної собівартості.

- математична детермінація «ціни – точності»: запропоновано емпіричну степеневу модель, яка описує нелінійну експоненціальну залежність технологічної собівартості від величини призначеного допуску. Науково доведено існування «економічного порогу точності», після якого звуження допусків (перехід до прецизійних 5–6 квалітетів для нефункціональних поверхонь) не дає адекватного приросту ресурсу ДВЗ, але збільшує витрати на механічну обробку на 25-30%.

2. Технологічні та інструментальні результати:

- оптимізація наскрізного міжцехового маршруту: встановлено наявність прямого синергетичного зв'язку між якістю вихідної заготовки та витратами інструментального господарства. Верифікація моделей на базі судових середньообертових двигунів показала, що впровадження точного лиття у форми з холодно-твердіючих сумішей (ХТС) підвищує коефіцієнт використання металу (КВМ) до 0,78–0,88, що дозволяє скоротити інструментальні витрати на етапі фрезерування на 71,4% за рахунок ліквідації чорнових проходів та зменшення випадкового зламу пластин.

- економічне обґрунтування високошвидкісного різання (HSC): розроблено оптимізаційну модель розрахунку економічного періоду стійкості інструменту (T_{ec}) яка враховує вартість машино-години сучасних обробних центрів з ЧПК. Доведено, що за умов високої вартості експлуатації обладнання використання дорожчого композитного інструменту (нітриду бору CBN) на швидкостях до 1000 м/хв є єдино виправданим фінансовим рішенням, оскільки стрімке скорочення машинного часу повністю нівелює первинну ціну оснащення.

- рекуперация та мінімізація енергоємності фінальних етапів: сформовано диференціальну модель паливної ефективності стендових комплексів. Обґрунтовано, що впровадження комбінованих програм обкатки (заміна частини гарячих тестів холодною прокруткою з контролем моменту тертя в реальному часі) у поєднанні з системами рекуперації енергії дозволяє знизити сукупну собівартість фінальних випробувань судового дизеля потужністю 3000 кВт на 45-62%, перетворюючи випробувальний бокс на активний елемент енергозабезпечення підприємства.

Практична цінність та результати апробації.

Галузева верифікація на підприємствах Миколаївщини: практична апробація розробленої стратегії «Оптимальний цикл» на провідних підприємствах регіону підтвердила її високу економічну ефективність. Впровадження вакуумно-плівкового формування для корпусів редукторів на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» забезпечило зниження собівартості заготівельної стадії на 25,8%. Застосування диференційованих інструментальних стратегій на ДП «Миколаївський суднобудівний завод» знизило операційну собівартість відновлення ліжок блоків ДВЗ на 55,2%. Модернізація випробувальних стендів на ТОВ «МТРЗ» дозволила скоротити вартість випробувального циклу на 52,2% за рахунок повернення електричної енергії в цехову мережу.

Локальна виробнича кооперація у м. Первомайськ: експериментальні дослідження в межах Первомайського промислового вузла продемонстрували ефективність взаємодії між ТОВ «Первомайський ливарно-механічний завод» (ПЛМЗ) та ПрАТ «Первомайськдизельмаш». Модифікування чавуну в ХТС-формах на ПЛМЗ дозволило знизити собівартість первинних виливків кришок циліндрів на 28,2% та мінімізувати прихований брак. Перехід на алмазне платохонінгування гільз на ПрАТ «Первомайськдизельмаш» скоротив машинний час обробки на 68,8% та знизив сукупну операційну собівартість фінішної стадії на 57,5%, одночасно забезпечуючи вихід на проектний 7-й квалітет точності.

Перспективи подальших досліджень. Розвиток наукових положень, представлених у монографії, у найближчій перспективі має відбуватися за такими стратегічними напрямками:

1. Інтеграція систем штучного інтелекту та предикативної аналітики (Industry 4.0): Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення алгоритмів динамічного керування режимами різання на верстатах з ЧПК на основі акустичної емісії та вібромоніторингу зносу інструменту в реальному часі. Це дозволить автоматизувати розрахунок цільової функції витрат без зупинки виробничого процесу.

2. Розробка моделей Digital Twin («Цифрових двійників») життєвого циклу ДВЗ: Перспективним є створення наскрізних цифрових моделей, які об'єднують CAD/CAM/CAE-системи проектування двигуна з ERP-системами підприємства. Це дасть змогу конструктору бачити фінансові наслідки зміни геометрії деталі на екрані монітора ще до моменту передачі креслення в ливарний чи механічний цех.

3. Екологізація та декарбонізація двигунобудування: У зв'язку з жорсткістю міжнародних екологічних стандартів (IMO Tier III) актуальним напрямом є адаптація розроблених моделей управління витратами до процесів проектування ДВЗ, що працюють на альтернативних паливах (водні, аміаку, метанолі). Оцінка вартості життєвого циклу таких установок потребуватиме врахування специфічних витрат на системи нейтралізації та безпеки.

4. Адаптація до умов повоєнного відновлення промисловості України: Науково-методологічний апарат монографії може бути використаний як база для формування державних програм модернізації вітчизняного енергетичного машинобудування, релокації та ремануфактурингу критично важливого обладнання, забезпечуючи максимальне ресурсозбереження в умовах дефіциту первинного капіталу.

1. <https://rtpp.com.ua/members/zorya-mashproekt-dp-nvkg/>.
2. zmturbines.com.
3. <https://www.dieselmash.com.ua>.
4. <https://lit-zavod.in.ua/about.php?lang=ua>.
5. Гавриленко, Н. В. Застосування методичних аспектів управлінського обліку на підприємствах одиничного та дрібносерійного виробництва = Application of methodological qualities of management accounting in job shops / Н. В. Гавриленко, О. В. Грищенко, Н. О. Козицька // Економічні науки : вісн. ДНДІСЕ – Дніпро : НДІСЕ, 2021. – № 1 (03). – С. 109-115. URL <https://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/4686>
6. 6.N.M. Fidrovskaya, V.S. Skripnik, I.G.Kerechenko, V.V. Nesterenko, O.S. Pysartsov. Experimental Investigation of the Influence of the Deviation Angle of the Rope on its Durability// Herald of the Azerbaijan Engineering Academy The international science-technical journal, Vol.13. №1: – Azerbaijan, Baki, 2021, pp.20-24.
7. Гавриленко Н.В., Грищенко О.В., Козицька Н.О. Основні проблеми функціонування системи збалансованих показників у стратегічному контролінгу. Економіка. Фінанси. Право. Київ: ТОВ «Міжнародний бізнес центр», 2020. № 5. С. 13-20. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4691>.
8. Гавриленко Н.В., Грищенко О.В., Козицька Н.О. Оцінка результативності Управлінського обліку, аналізу та контролю витрат. Accounting, analysis and audit activities of enterprises: problems, trends, prospects. 2016. С. 18-27.
9. Нестеренко В. В., Дранчевський Д. В., Злоба Т. В. Перспективи застосування альтернативних дешевих низькоякісних палив у суднових дизелях. – 2024.
10. Нестеренко В. В., Грабовенко О. І. Сучасні напрями поліпшення економічних і екологічних показників автомобільних дизелів. – 2018. <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/9eda97ea-8ce0-4b78-bd97-63225689e13a/content>.

УДК 621.798:659.1

Заєрковна Роксоляна Станіславівна
ORCID: 0000-0003-1011-053X
Кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут поліграфії та медійних технологій*

3.2. Креативні підходи у дослідженні сучасних технологій виготовлення пакувань та рекламних комунікацій

Актуальність теми.

Сучасна пакувальна галузь та сфера рекламних комунікацій переживають глибоку трансформацію під впливом технологічних інновацій, змін у споживчій поведінці та цифровізації виробничих процесів. У цих умовах традиційні підходи до дослідження пакування й реклами, які засновані переважно на технологічних і маркетингових параметрах, виявляються недостатніми для осмислення нових явищ і закономірностей [1]. Натомість дедалі більшу роль відіграють міждисциплінарні та креативні методи наукового пошуку, здатні поєднати технічний, мистецький і комунікативний виміри галузі.

Пакування сьогодні виконує функції, що виходять далеко за межі захисту та транспортування товару. Воно є повноцінним медіаканалом, носієм бренду, інструментом взаємодії зі споживачем і засобом реалізації екологічних цінностей компанії [2]. Реклама, у свою чергу, трансформується від класичних форматів до інтерактивних, персоналізованих і даних на базі штучного інтелекту рішень. Такий розвиток вимагає від дослідників нових аналітичних інструментів і методологічних підходів.

Креативні підходи у науковому дослідженні пакувань та реклами передбачають синтез дизайн-мислення, нейромаркетингу, технологій доповненої реальності, методів генеративного штучного інтелекту і сталого розвитку. Їх застосування дозволяє не лише описувати стан галузі, а й генерувати нові знання, прогнозувати розвиток технологій та розробляти інноваційні рішення [3].

Таким чином, систематизація та аналіз креативних підходів у дослідженні пакувальної галузі та рекламних комунікацій є актуальним науковим завданням, що відповідає сучасним потребам академічної спільноти й практикуючих фахівців галузі.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є систематизація та характеристика креативних підходів у науковому дослідженні сучасних тенденцій у виготовленні пакувань та рекламних комунікацій, визначення їхнього потенціалу для генерування інноваційних рішень у галузі.

Завдання дослідження:

- охарактеризувати дизайн-мислення як методологічний інструмент у пакувальній та рекламній галузях;
- розглянути можливості застосування штучного інтелекту та генеративних технологій у проєктуванні пакування і рекламного контенту;