

УДК 658.5:621

JEL Classification: L23, M21, D24, M11, C44

DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2025.13\(46\).2.234-243](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2025.13(46).2.234-243)

О.В. Родіонов, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Методологічні засади застосування ключових показників ефективності для оцінювання виробничої діяльності машинобудівних підприємств

У статті обґрунтовано наукові підходи до розроблення аналітичної системи оцінювання ефективності виробничої діяльності машинобудівних підприємств на основі використання ключових показників ефективності (КПІ). Визначено роль і значення КПІ як інструменту кількісного оцінювання результативності виробничо-господарської діяльності, що забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень в умовах цифровізації економіки та зростання обсягів даних. Розкрито методологічні засади формування системи показників, що передбачають інтеграцію виробничих, фінансово-економічних та операційних даних підприємства.

Систематизовано економічні показники, що відображають основні складові виробничої ефективності, зокрема виконання планових завдань, своєчасність виробництва, якість продукції, ефективність використання обладнання, стабільність технологічних процесів, рівень браку та продуктивність праці персоналу. Запропоновано комплексну економіко-аналітичну систему, що охоплює джерела даних, етапи їх збору та обробки засобами ВІ-систем, формування показників та їх аналітичну візуалізацію у форматі інтерактивних інформаційних панелей.

У дослідженні акцентовано увагу на використанні сучасних цифрових інструментів аналітики, включаючи засоби статистичного контролю процесів (SPC), методи прогнозування попиту з використанням моделей машинного навчання (ML), коефіцієнт варіації для оцінювання стабільності процесів та індекс загальної ефективності обладнання (OEE). Обґрунтовано доцільність застосування інтегрованих аналітичних рішень (дашбордів, теплових карт, багатовимірної візуалізації), які забезпечують своєчасне виявлення відхилень, ідентифікацію проблемних зон та підтримку процесу прийняття управлінських рішень.

Зроблено висновок, що в умовах розвитку Індустрії 4.0 і цифрової трансформації підприємств ключового значення набуває здатність до оперативного аналізу значних обсягів виробничих і фінансово-економічних даних. Запропонований підхід до побудови економіко-аналітичної системи КПІ підвищує обґрунтованість управлінських рішень щодо виробничої діяльності, сприяє оптимізації використання ресурсів та зміцненню конкурентоспроможності підприємства. Результати дослідження можуть бути використані у практиці управління машинобудівними підприємствами, а також як методична основа для подальших наукових досліджень у сфері оцінювання ефективності діяльності промислових підприємств.

Індустрія 4.0, виробнича діяльність, ефективність виробництва, аналітика даних, виробничі процеси, ключові показники ефективності, статистичні методи, стабільність процесів, цифровізація

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку економіки, підприємства України активно впроваджують інноваційні технології та програмно-апаратні комплекси, що відповідають концепції Індустрії 4.0. Це передбачає широке використання інтегрованих систем управління виробництвом, які забезпечують автоматизацію діяльності ключових підрозділів підприємства, зокрема фінансових, виробничих, логістичних, постачальницьких та сервісних. Водночас, значного поширення набувають «розумні» виробничі системи та оброблювальні центри, здатні виконувати складні технологічні операції за заданими алгоритмами.

Функціонування таких систем супроводжується генерацією значних обсягів даних, що характеризують різні аспекти виробничої діяльності підприємства. У зв'язку з цим зростає потреба у їх систематизації, обробці та аналітичній інтерпретації з метою прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Стрімке

збільшення обсягів інформації, у свою чергу, ускладнює можливість її ефективного опрацювання без застосування сучасних аналітичних інструментів та технологій бізнес-аналітики. За таких умов особливої актуальності набуває формування системи показників, яка дозволяє узагальнювати, структурувати та інтерпретувати дані, забезпечуючи інформаційну основу для оцінювання результативності виробничої діяльності. Ключові показники ефективності (KPI) виступають важливим інструментом трансформації великих масивів даних у релевантну управлінську інформацію, що сприяє підвищенню якості прийняття рішень.

Таким чином, дослідження методологічних засад застосування KPI для оцінювання виробничої діяльності машинобудівних підприємств є актуальним як для новостворених підприємств, так і для тих, що здійснюють модернізацію виробничих процесів і систем управління, а також прагнуть підвищити ефективність аналітичного забезпечення управління на основі виробничих та фінансово-економічних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оцінювання ефективності виробничої діяльності підприємств на основі ключових показників ефективності (KPI), а також використання сучасних інструментів аналітики та цифрових технологій є предметом активного наукового пошуку. У науковій літературі висвітлено підходи до розвитку бізнес-аналітики, використання технологій Big Data та вплив Індустрії 4.0 на цифровізацію виробничих процесів [3; 5; 9]. Значну увагу приділено формуванню систем показників ефективності виробництва, зокрема оцінюванню ефективності використання обладнання та застосуванню показника загальної ефективності обладнання (OEE), а також визначенню KPI відповідно до міжнародних стандартів [7; 6; 8; 11]. Не менш значимими є публікації, присвячені дослідженню питань застосування аналітичних інструментів у виробничій діяльності [1; 2; 4] та підходів до оцінювання якості виробничих процесів [10].

Водночас більшість досліджень зосереджена на окремих показниках або аналітичних інструментах, тоді як питання побудови цілісної економіко-аналітичної системи KPI, що інтегрує процеси збору, обробки, аналізу та візуалізації даних, залишаються недостатньо розкритими. Це зумовлює необхідність розроблення комплексних підходів до формування аналітичного забезпечення оцінювання ефективності виробничої діяльності машинобудівних підприємств.

Постановка завдання. Метою статті є обґрунтування методологічних засад формування економіко-аналітичної системи оцінювання ефективності виробничої діяльності машинобудівних підприємств на основі ключових показників ефективності (KPI) з урахуванням сучасних можливостей збору, обробки, аналізу та візуалізації виробничих і фінансово-економічних даних.

Для досягнення поставленої мети у статті визначено такі завдання:

- визначити джерела формування виробничих і фінансово-економічних даних, необхідних для оцінювання ефективності діяльності підприємства;
- обґрунтувати підхід до побудови системи збору, зберігання та обробки даних із використанням сучасних цифрових технологій;
- систематизувати ключові показники ефективності виробничої діяльності та визначити методичні підходи до їх розрахунку;
- розкрити можливості застосування аналітичних інструментів для оцінювання результативності виробничих процесів;
- розробити підходи до аналітичної візуалізації KPI та їх використання у процесі прийняття управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. Функціонування сучасних машинобудівних підприємств в умовах Індустрії 4.0 супроводжується формуванням значних обсягів даних, що генеруються виробничим обладнанням, сенсорними системами та інтегрованими інформаційними платформами підприємства [3]. Такі дані охоплюють

показники випуску продукції, використання матеріальних ресурсів, технічний стан обладнання, параметри технологічних процесів, а також управлінські рішення, сформовані в інформаційних системах підприємства [5; 9].

З урахуванням зростання обсягів і складності виробничих даних, а також потреби у їх аналітичній інтерпретації, доцільним є формування багаторівневої архітектури обробки таких даних, що забезпечує інтеграцію, трансформацію та використання інформації для цілей управління. Відповідна трирівнева архітектура обробки даних представлена на рис. 1.

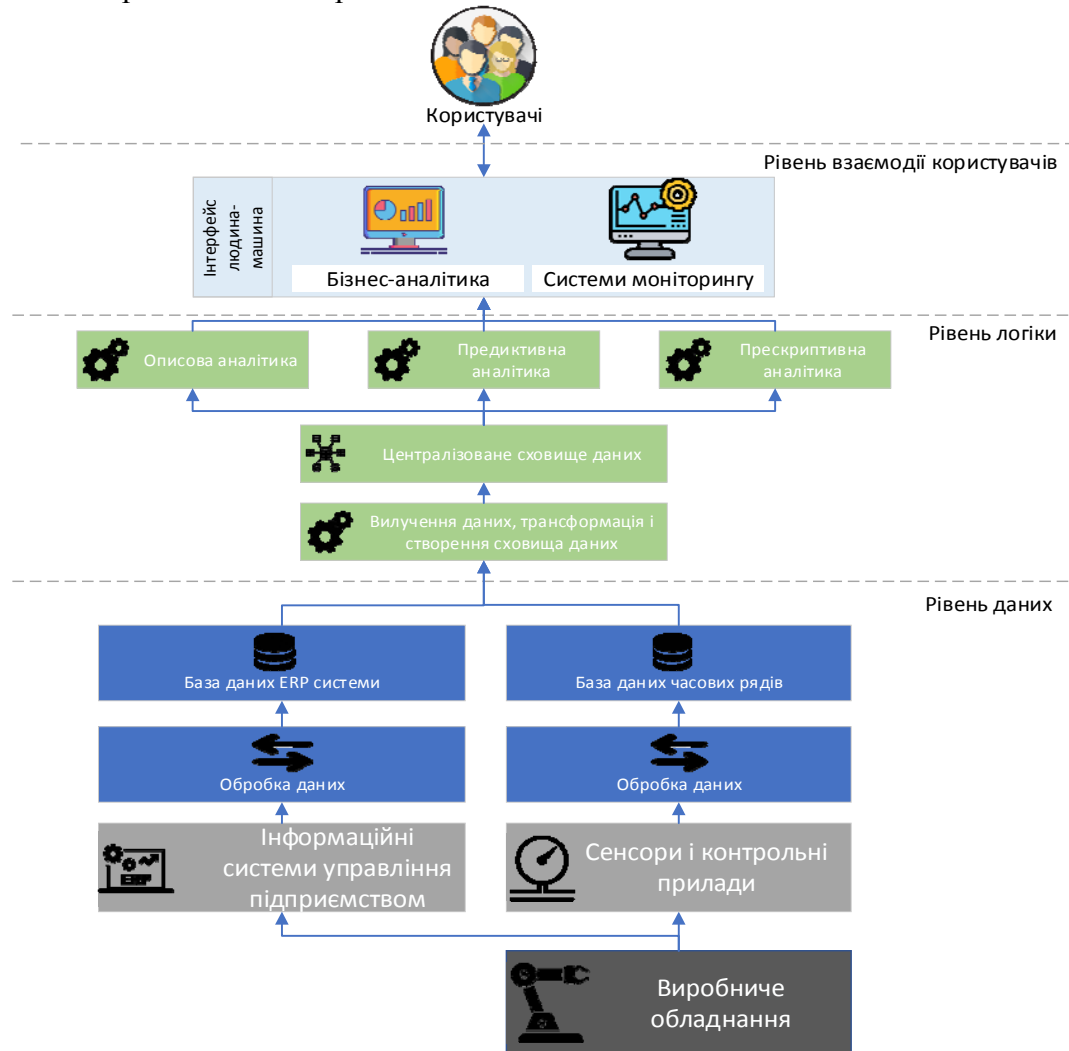


Рисунок 1 – Трирівнева архітектура обробки та аналітичного використання даних в умовах Індустрії 4.0
Джерело: побудовано автором

Запропонована трирівнева архітектура обробки даних передбачає послідовну організацію процесів формування, трансформації та аналітичного використання інформації, що забезпечує її ефективне застосування в управлінні виробничою діяльністю підприємства. В межах даної архітектури доцільно виокремити такі рівні:

1) перший рівень – рівень первинних (сирих) даних, що формуються безпосередньо у джерелах їх виникнення: виробничому обладнанні, ERP-системах та інших інформаційних підсистемах підприємства. Дані цього рівня характеризуються високим ступенем деталізації та орієнтовані на забезпечення операційної діяльності, однак їх структура не є придатною для безпосередньої аналітичної обробки;

2) другий рівень – рівень обробки та підготовки даних, на якому здійснюється їх трансформація, узгодження та інтеграція із застосуванням ETL-технологій (Extract,

Transform, Load). На цьому етапі формуються узгоджені масиви даних, що використовуються для побудови аналітичних моделей, у тому числі з використанням методів машинного навчання (ML), які забезпечують можливості предикативної та прескриптивної аналітики. Результатом функціонування даного рівня є формування структурованих даних, придатних для подальшого аналізу.

3) третій рівень – рівень взаємодії з користувачами, який реалізується через аналітичні інтерфейси та інструменти візуалізації. Він забезпечує представлення результатів обробки даних у формі, придатній для прийняття управлінських рішень, зокрема у вигляді аналітичних панелей, звітів, прогнозів та рекомендацій.

В умовах цифровізації виробництва особливого значення набуває формування системи показників, що дозволяє узагальнювати результати діяльності підприємства та здійснювати їх аналітичну інтерпретацію. Одним із ключових напрямів є оцінювання виконання виробничих планів, які формуються на основі прогнозування попиту на продукцію.

Традиційні підходи до прогнозування, що базуються на аналізі історичних даних і експертних оцінках, поступово доповнюються сучасними методами, зокрема моделями машинного навчання, які враховують багатофакторний вплив економічних, соціальних та інших чинників. Поряд із цим зберігають актуальність і більш прості методи прогнозування, зокрема трендові та адаптивні моделі, що використовуються в умовах обмеженості інформаційних ресурсів [1; 4].

Результати прогнозування попиту інтегруються у системи планування ресурсів підприємства (ERP), що забезпечує формування виробничих завдань, визначення потреби у матеріальних, трудових і фінансових ресурсах, а також узгодження виробничих потужностей із запланованими обсягами виробництва. У свою чергу, аналітичні системи, побудовані на основі KPI, забезпечують моніторинг виконання виробничих планів та оцінювання ефективності функціонування окремих підрозділів і підприємства в цілому.

Важливим елементом оцінювання ефективності виробничої діяльності підприємства є аналіз виконання виробничого плану, який виступає базовим індикатором результативності функціонування виробничої системи. Для оцінювання стану виконання плану доцільно використовувати відносні та абсолютні показники, зокрема рівень виконання плану у відсотках (як відношення фактичного обсягу виробництва до запланованого) та відхилення від плану, що визначається як різниця між фактичними і плановими значеннями.

Водночас оцінювання виробничої діяльності не може обмежуватись лише аналізом обсягів виробництва. Суттєве значення має своєчасність виконання виробничих завдань, оскільки порушення термінів виготовлення продукції призводить до дестабілізації виробничого процесу, виникнення дефіциту напівфабрикатів на наступних стадіях виробництва та, як наслідок, до невиконання контрактних зобов'язань. У зв'язку з цим аналіз відхилень фактичних показників від планових доцільно доповнювати оцінюванням своєчасності виконання виробничих завдань, зокрема шляхом аналізу відхилень за термінами виконання. Аналітична інтерпретація зазначених показників може бути реалізована із застосуванням інструментів візуалізації, зокрема, стовпчикових діаграм для відображення розподілу відхилень за тривалістю випередження або запізнення, а також секторних діаграм для аналізу причин порушення термінів виконання виробничих завдань.

Для комплексного оцінювання ефективності використання виробничого обладнання доцільно застосовувати інтегральний показник загальної ефективності обладнання (OEE – Overall Equipment Effectiveness) [7; 8; 10], який дозволяє оцінити продуктивність виробничих процесів на основі трьох складових: доступності,

продуктивності та якості. Доступність (Availability) характеризує співвідношення фактичної та запланованої тривалості роботи обладнання; продуктивність (Performance) характеризує ступінь використання виробничої потужності обладнання та відображає співвідношення фактичного обсягу виробництва до теоретично можливого; якість (Quality) визначає частку продукції, що відповідає встановленим вимогам якості та не потребує повторної обробки або виправлення дефектів. Інтегральне значення показника ОЕЕ розраховується як добуток зазначених компонентів.

Структуру формування складових показника доступності обладнання у системі оцінювання ОЕЕ наведено на рис. 2.

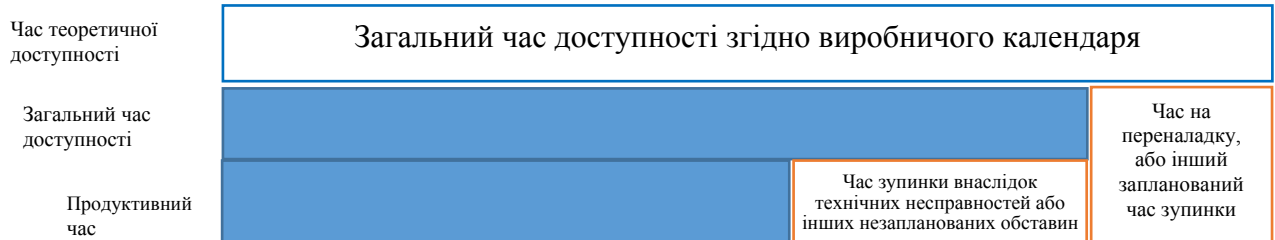


Рисунок 2 – Структура формування показника доступності обладнання

Джерело: побудовано автором

Оцінювання показника ОЕЕ доцільно здійснювати як на рівні підприємства в цілому, так і у розрізі виробничих підрозділів, номенклатури продукції та окремих робочих центрів. Такий підхід дозволяє ідентифікувати джерела неефективності та забезпечує можливість прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації виробничих процесів. Аналітичні можливості показника ОЕЕ суттєво розширюються за умови його аналізу в динаміці та в розрізі складових. Зокрема, використання діаграм, що відображають структуру показника за складовими, дозволяє оцінити внесок кожного компонента у формування загального рівня ефективності, а аналіз змін показника у часі – виявити періоди зниження ефективності та встановити їх причини.

Застосування показника ОЕЕ дозволяє:

- ідентифікувати проблемні ділянки виробництва;
- визначати причини зниження ефективності виробничих процесів;
- виявляти повторювані відхилення та закономірності;
- обґрунтовувати управлінські рішення щодо підвищення рівня використання виробничих потужностей;
- удосконалювати процеси планування виробництва та управління ресурсами.

Важливим показником оцінювання ефективності виробництва є показник якості виробничого процесу (First Pass Yield – FPY) [8; 10; 11], який характеризує частку виготовленої продукції, що відповідає встановленим вимогам якості та не потребує повторної обробки. Даний показник характеризує ефективність виробничого процесу з точки зору забезпечення належного рівня якості без необхідності виконання додаткових операцій з усунення дефектів. Показник FPY розраховується як відношення кількості продукції, що відповідає встановленим вимогам якості без повторної обробки, до загального обсягу виробленої продукції. Використання показника забезпечує можливість оцінювання втрат, пов'язаних із браком і повторною обробкою, а також ідентифікації проблемних ділянок виробничого процесу.

Поглиблений аналіз показника FPY передбачає дослідження структури браку та факторів, що визначають його рівень. Такий підхід дозволяє деталізувати причини відхилень якості продукції, зокрема пов'язані з характеристиками сировини, дотриманням технологічних параметрів, точністю налаштування обладнання та рівнем кваліфікації персоналу. Для забезпечення аналітичної інтерпретації доцільно

застосовувати інструменти візуалізації даних, зокрема теплові карти та зведені таблиці, що дозволяють оцінювати показник у розрізі номенклатури продукції, виробничих підрозділів і робочих центрів.

Візуалізація KPI є важливим елементом економіко-аналітичної системи, що забезпечує інтерпретацію результатів аналізу та підтримку процесу прийняття управлінських рішень. У межах запропонованого підходу доцільно застосовувати комплекс інструментів візуалізації, орієнтованих на різні напрями оцінювання: динамічні діаграми – для аналізу змін показників у часі; структурні діаграми – для оцінювання складу інтегральних показників (зокрема OEE); порівняльні візуалізації – для аналізу ефективності у розрізі підрозділів, продукції або робочих центрів; аналітичні панелі (дашборди) – для інтегрованого представлення ключових показників у режимі реального часу. Застосування зазначених інструментів забезпечує підвищення наочності аналітичної інформації, оперативність виявлення відхилень та обґрунтованість управлінських рішень.

Оцінювання ефективності організації виробничого процесу може бути доповнене використанням коефіцієнта продуктивності виробництва (Production Process Ratio – PPR), який характеризує ступінь використання виробничого потенціалу підприємства [6; 8]. Показник визначається як співвідношення фактичного обсягу виробництва до максимально можливого за наявних виробничих ресурсів. Застосування показника PPR дозволяє оцінити ефективність використання виробничих потужностей з урахуванням якості планування виробництва, рівня технічного обслуговування обладнання та організації виробничих процесів. Низькі значення показника можуть свідчити про наявність простоїв обладнання, технічні несправності, дефіцит сировини, надмірну кількість переналаштувань, недостатню продуктивність праці персоналу або високий рівень зношеності обладнання. Аналіз показника PPR у розрізі виробничих підрозділів, номенклатури продукції та робочих центрів дозволяє ідентифікувати вузькі місця виробничого процесу та визначити напрями його оптимізації.

З метою забезпечення комплексного оцінювання ефективності виробничої діяльності доцільно систематизувати ключові показники ефективності за функціональними групами. Зокрема, у межах економіко-аналітичної системи оцінювання пропонується виокремлювати такі групи показників:

- показники результативності виробництва, що характеризують виконання виробничих планів (рівень виконання плану, відхилення від планових значень);
- показники ефективності використання обладнання, зокрема інтегральний показник OEE та його складові;
- показники якості виробничого процесу, зокрема показник FPY, що відображає частку продукції, виготовленої без дефектів;
- показники використання виробничого потенціалу, зокрема коефіцієнт продуктивності виробництва (PPR);
- показники стабільності виробничого процесу, що характеризують варіабельність результатів виробництва (стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, контрольні межі процесу).

Така систематизація забезпечує комплексний підхід до оцінювання ефективності виробничої діяльності та дозволяє враховувати як кількісні результати, так і якісні характеристики функціонування виробничих процесів.

Важливим доповненням до системи показників оцінювання ефективності виробничої діяльності є оцінювання стабільності виробничого процесу (Process Stability), що характеризує мінливість результатів виробництва у часі та відображає здатність виробничого процесу функціонувати без суттєвих відхилень від заданих параметрів [8; 11]. Забезпечення стабільності виробничих процесів є необхідною умовою ритмічної роботи підприємства, дотримання термінів виконання виробничих завдань та контрактних зобов'язань. Крім того, стабільність процесів має важливе

значення для ефективного планування, оскільки системи планування орієнтовані на передбачуваність функціонування виробничих потужностей. Порушення стабільності може призводити до збоїв у постачанні напівфабрикатів, дефіциту матеріалів або накопичення надлишкових запасів, що негативно впливає на загальну ефективність діяльності підприємства.

В аналітичній системі оцінювання виробничої діяльності доцільно застосовувати статистичні методи контролю процесів (Statistical Process Control – SPC), які дозволяють оцінювати варіабельність виробничого процесу та виявляти відхилення від його стабільного функціонування. Використання даного підходу забезпечує можливість розмежування випадкових (природних) коливань, притаманних будь-якому процесу, та систематичних відхилень, зумовлених порушенням технології, неякісною сировиною, технічними несправностями обладнання або помилками персоналу.

Першим етапом аналізу є формування часових рядів даних, що характеризують обсяги виробництва, зокрема розміри виробничих партій за визначений період часу. На основі цих даних розраховується середній розмір партії для кожного виду продукції або робочого центру за формулою:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

де, X_i – розмір партії;

n – кількість спостережень у вибірці.

На основі даних про розміри партій продукції розраховується значення стандартного відхилення, яке характеризує ступінь відхилення фактичних значень від середнього. Стандартне відхилення визначається за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

де, X_i – розмір партії у i -му спостереженні;

\bar{X} – середній розмір партії;

n – кількість спостережень у вибірці.

Зменшення стандартного відхилення свідчить про підвищення стабільності виробничого процесу. Для порівняльного аналізу доцільним є застосування коефіцієнта варіації, який дозволяє оцінити відносну мінливість процесу та розраховується за формулою:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3)$$

де σ – стандартне відхилення;

\bar{X} – середній розмір партії.

Чим меншим є значення коефіцієнта варіації, тим вищими є стабільність і передбачуваність виробничого процесу. Оцінювання цього показника здійснюється в розрізі виробничих підрозділів, типів виробництва та окремих робочих центрів.

Для виявлення проблемних зон доцільно поєднувати аналіз коефіцієнта варіації з показником загальної ефективності обладнання (ОЕЕ) або його складовими. Зокрема, використання точкових діаграм (scatter plots), де кожна точка відображає окреме спостереження, забезпечує можливість одночасного аналізу кількох показників: два з них задаються осями координат, тоді як інші можуть бути представлені через зміну розміру та кольору точок. Це забезпечує виявлення залежностей між показниками та ідентифікацію відхилень у виробничому процесі.

Важливим елементом аналізу стабільності процесу є визначення допустимих меж варіації показників. Такі межі встановлюються на основі галузевих стандартів, внутрішніх нормативів підприємства або визначаються на основі статистичних

розрахунків. Зокрема, для визначення меж варіації використовується такий показник, як розмах варіації, що характеризує діапазон змін показника та розраховується за формулою:

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (4)$$

де, X_{\max} – максимальне значення серед усіх партій;

X_{\min} – мінімальне значення серед усіх партій.

На основі отриманих даних розраховуються контрольні межі процесу:

$$UCL = \bar{X} + A_2 R \quad (5)$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 R \quad (6)$$

де UCL – верхня контрольна межа;

LCL – нижня контрольна межа;

A_2 – статистичний коефіцієнт, що залежить від обсягу вибірки. Цей коефіцієнт визначається емпірично і може бути отриманий зі статистичних таблиць;

R – розмах варіації, діапазон між мінімальним і максимальним значенням партії.

Контрольні межі визначають допустимий інтервал коливань показника. Вихід значень за ці межі свідчить про наявність системних відхилень у виробничому процесі та потребує додаткового аналізу причин їх виникнення. Для підвищення ефективності аналізу доцільно відображати контрольні межі разом із фактичними значеннями показників у динаміці. Це дає змогу оперативно виявляти періоди нестабільності процесу, локалізувати проблемні інтервали часу та здійснювати поглиблений аналіз чинників, що зумовили відхилення.

Отже, методологічні засади застосування ключових показників ефективності для оцінювання виробничої діяльності машинобудівних підприємств передбачають інтеграцію системи збору та обробки даних, реалізованої у вигляді трирівневої архітектури, системи КРІ, яка охоплює показники результативності, ефективності обладнання, якості, використання виробничого потенціалу та стабільності процесів, а також аналітичних методів та інструментів візуалізації. Запропонований підхід забезпечує формування цілісної економіко-аналітичної системи, що дозволяє здійснювати комплексне оцінювання ефективності виробничої діяльності, своєчасно виявляти відхилення у функціонуванні виробничих процесів та обґрунтовувати напрями їх оптимізації.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано методологічні засади застосування ключових показників ефективності для оцінювання виробничої діяльності машинобудівних підприємств в умовах цифровізації та розвитку Індустрії 4.0, які передбачають інтеграцію системи збору та обробки даних, реалізованої у вигляді трирівневої архітектури, системи КРІ, яка охоплює показники результативності, ефективності обладнання, якості, використання виробничого потенціалу та стабільності процесів, а також аналітичних методів та інструментів візуалізації. При цьому, ефективність функціонування сучасних виробничих систем значною мірою залежить від здатності підприємств інтегрувати великі обсяги різнорідних даних, забезпечувати їх аналітичну обробку та використовувати результати аналізу для прийняття управлінських рішень.

Запропоновано підхід до формування економіко-аналітичної системи оцінювання ефективності виробничої діяльності, що базується на поєднанні трирівневої архітектури обробки даних, системи ключових показників ефективності та аналітичних інструментів, зокрема статистичних методів контролю процесів і засобів візуалізації. Систематизація КРІ за функціональними групами (результативності, ефективності обладнання, якості, використання виробничого потенціалу та стабільності процесів) забезпечує комплексний підхід до оцінювання діяльності підприємства та дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні характеристики виробничих процесів.

Використання аналітичних методів, зокрема коефіцієнта варіації та інструментів статистичного контролю процесів, у поєднанні з сучасними засобами візуалізації даних сприяє своєчасному виявленню відхилень у функціонуванні виробничих процесів, підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та оптимізації використання виробничих ресурсів.

Реалізація запропонованого підходу створює передумови для підвищення ефективності виробничої діяльності машинобудівних підприємств, забезпечення стабільності виробничих процесів та адаптації підприємств до умов цифрової трансформації.

Перспективи подальших наукових досліджень вбачаються у розвитку прикладних напрямів реалізації запропонованої економіко-аналітичної системи, зокрема у розробці цифрових платформ для інтеграції виробничих даних, побудові предикативних моделей оцінювання ефективності виробничих процесів із використанням методів машинного навчання, а також у формуванні кількісних моделей оцінювання впливу КРІ на результати діяльності підприємств. Перспективним напрямом є також дослідження можливостей адаптації запропонованого підходу до підприємств інших галузей та умов функціонування.

Список літератури

1. Андрейшина Н. Б. Концептуальний підхід щодо прогнозування попиту. *Бізнес Інформ*. 2013. № 6. С. 120–124. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-6_0-pages-120_124.pdf (дата звернення: 12.04.2025).
2. Магопєць О.А., Рассоха І.В., Яцко М.В. Застосування Big Data та аналітики в бухгалтерському обліку для прийняття стратегічних рішень. *Економіка. Фінанси. Право*. № 6. 2024. С. 96-100. URL: <https://doi.org/10.37634/efp.2024.6.20> (дата звернення: 08.04.2025).
3. Мельник Л. Г. Четверта промислова революція: передумови та зміст. *Актуальні проблеми економіки*. 2016. № 9. С. 26–30.
4. Строцьєн Л. П. Якісні методи прогнозування попиту. *Галицький економічний вісник*. 2018. Т. 54, № 1. С. 113–118. URL: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/54/14.pdf> (дата звернення: 02.04.2025).
5. Chen H., Chiang R. H. L., Storey V. C. Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *MIS Quarterly*. 2012. Vol. 36, No. 4. P. 1165–1188.] <https://doi.org/10.2307/41703503>.
6. Cheah C. K., Prakash J., Ong K. S. Overall equipment effectiveness: a review and development of an integrated improvement framework. *International Journal of Productivity and Quality Management*. 2020. Vol. 30, No. 1. P. 46–71. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2019.10020889>.
7. De Ron A. J., Rooda J. E. OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research*. 2006. Vol. 44, No. 23. P. 4987–5003. <https://doi.org/10.1080/00207540600573402>.
8. Kikolski M. Determination of ISO 22400 key performance indicators using simulation models: the concept and methodology. *8th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*. 2020. P. 92–97. URL: <https://DOI:10.5220/0009175800920099>.
9. Kusiak A. Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*. 2018. Vol. 56, No. 1–2. P. 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>.
10. Waseem S. First pass yield: what it is and how to improve it? URL: <https://retrocausal.ai/blog/first-pass-yield/>.
11. Zhu L., Johnsson C., Mejvik J., Varisco M., Schiraldi M. Key performance indicators for manufacturing operations management in the process industry. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Singapore, 2017. P. 969–973. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290036>.

References

1. Andreishyna, N. B. (2013). Kontseptualnyi pidkhid shchodo prohnozuvannia popytu [A conceptual approach to demand forecasting]. *Biznes Inform – Business Inform*, (6), 120–124. [in Ukrainian]. Retrieved from: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-6_0-pages-120_124.pdf.
2. Magopets, O. A., Rassokha, I. V., & Yatsko, M. V. (2024). Zastosuvannia Big Data ta analityky v bukhgalterskomu obliku dlia pryiniattia stratehichnykh rishen [Application of Big Data and analytics in

- accounting for strategic decision-making]. *Ekonomika. Finansy. Pravo – Economics. Finance. Law*, (6), 96–100. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.37634/efp.2024.6.20>.
3. Melnyk, L. H. (2016). Chetverta promyslova revoliutsiia: peredumovy ta zmist [The fourth industrial revolution: prerequisites and content]. *Aktualni problemy ekonomiky – Actual Problems of Economics*, (9), 26–30. [in Ukrainian].
 4. Strotsen, L. P. (2018). Yakisni metody prohozuvannia popytu [Qualitative methods of demand forecasting]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk – Galician Economic Bulletin*, 54(1), 113–118. [in Ukrainian]. Retrieved from: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/54/14.pdf>.
 5. Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188. [in English]. <https://doi.org/10.2307/41703503>.
 6. Cheah, C. K., Prakash, J., & Ong, K. S. (2020). Overall equipment effectiveness: a review and development of an integrated improvement framework. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 30(1), 46–71. [in English]. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2019.10020889>.
 7. De Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2006). OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research*, 44(23), 4987–5003. [in English]. <https://doi.org/10.1080/00207540600573402>.
 8. Kikolski, M. (2020). Determination of ISO 22400 key performance indicators using simulation models: the concept and methodology. In *Proceedings of the 8th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development* (pp. 92–97). [in English]. <https://DOI:10.5220/0009175800920099>.
 9. Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. [in English]. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>.
 10. Waseem, S. (n.d.). First pass yield: what it is and how to improve it? [in English]. <https://retrocausal.ai/blog/first-pass-yield/>.
 11. Zhu, L., Johnsson, C., Mejvik, J., Varisco, M., & Schiraldi, M. (2017). Key performance indicators for manufacturing operations management in the process industry. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 969–973). [in English]. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290036>.

Oleksandr Rodionov, Postgraduate (student of the third (educational and scientific) level of higher education) Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Methodological foundations for the application of key performance indicators in evaluating the production activities of machine-building enterprises

The article is devoted to substantiating methodological approaches to the development of an analytical system for evaluating the efficiency of production activities of machine-building enterprises based on the use of key performance indicators (KPI). The role and significance of KPI as a tool for quantitative assessment of production and economic performance are determined, ensuring improved justification of managerial decision-making in the context of economic digitalization and the growing volume of data. The methodological principles of forming a system of indicators based on the integration of production, financial, economic, and operational data are revealed.

The study systematizes economic indicators reflecting the main components of production efficiency, including the fulfillment of production plans, timeliness of production, product quality, equipment efficiency, stability of technological processes, defect rates, and labor productivity. A comprehensive economic and analytical system is proposed, encompassing data sources, stages of data collection and processing using BI systems, the formation of indicators, and their analytical visualization in the form of interactive dashboards.

Particular attention is paid to the use of modern digital analytical tools, including statistical process control (SPC), demand forecasting methods based on machine learning models, the coefficient of variation for assessing process stability, and overall equipment effectiveness (OEE). The expediency of applying integrated analytical solutions (dashboards, heat maps, and multidimensional visualization) is substantiated, as they ensure timely detection of deviations, identification of problem areas, and support for managerial decision-making.

It is concluded that under the conditions of Industry 4.0 development and digital transformation of enterprises, the ability to promptly analyze large volumes of production and financial data becomes critically important. The proposed approach to building an economic and analytical KPI system enhances the validity of managerial decisions regarding production activities, contributes to the optimization of resource use, and strengthens enterprise competitiveness. The results of the study can be applied in the management practice of machine-building enterprises and serve as a methodological basis for further research in the field of evaluating the efficiency of industrial enterprises.

Industry 4.0, production activity, production efficiency, data analytics, production processes, key performance indicators, statistical methods, process stability, digitalization

Одержано (Received) 30.04.2025

Прорецензовано (Reviewed) 14.05.2025
Прийнято до друку (Approved) 26.05.2025