

Кравченко О.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Демченко М.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Волошко О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Філіппова М.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

У статті описано важливість ефективного використання ресурсів для успішної діяльності будь-якої компанії або організації. Проаналізовано оцінку сучасного стану проблеми для вирішення питання раціональності та доцільності використання ресурсів на підприємствах, особливо при їх плануванні. Встановлено необхідність застосування нових підходів у вирішенні ефективності використання ресурсів, які дозволяють уникнути похибок при розрахунках та необхідності виконання повторних. Запропоновано проведення аналізу ефективності використання x ресурсів на виробництві за допомогою використання технології цифрових двійників, як інноваційного підходу до моделювання та управління фізичними об'єктами. Для реалізації даного підходу, проведено експериментальне дослідження виробництва в програмному середовищі FlexSim зі створенням цифрового двійника технологічного процесу виготовлення деталі типу фланець. Даний цифровий двійник представлено у вигляді ділянки цеху з розташованим в ньому обладнанням, пристроями, операторами та зв'язками між ними, як напрями руху деталей. В ході проведення дослідження за допомогою вбудованих інструментів програмного середовища отримано дані про кожен з заданих елемент моделі. Визначено завантаження кожного елемента, що задіяний в процесі виробництва, та проаналізовано ефективність їх використання за часом роботи з урахуванням кожного з станів, в якому вони перебувають. В результаті дослідження підкреслено, що використання технології цифрового двійника на виробничих підприємствах, як інструмента для аналізу ефективності використання ресурсів, має високу результативність, та дозволяє проводити оцінку задіяння ресурсів на підприємстві за для досягнення максимального результату від працівників без втрати прибутків.

Ключові слова: автоматизація виробництва, трудові ресурси, ефективність, цифрові двійники, FlexSim.

Постановка проблеми. Ефективне використання ресурсів виробництва є невід'ємною частиною успішної діяльності будь-якої компанії або організації. Взаємозв'язок між продуктивністю працівників та прибутком компанії є очевидним. Якщо всі трудові ресурси використовуються ефективно, тоді кількість виготовленої продукції або наданих послуг збільшується, що призводить до збільшення прибутку компанії.

Однак, деякі компанії не розуміють важливості ефективного використання власних ресурсів та не

можуть його забезпечити. Управління ресурсами є ключовим елементом управління підприємством, яке дозволяє досягати високої продуктивності виробництва, зменшити витрати на закупівлю обладнання та забезпечувати максимальну продуктивність виробництва. Однак, багато компаній стикаються з проблемами управління ресурсами, які можуть призвести до неправильного розподілу ресурсів, зайвих витрат на зарплати, не досягнення максимального результату від працівників та, відповідно, до втрати прибутків.

Щоб забезпечити ефективне використання ресурсів, компанії повинні розуміти, що успішне управління ресурсами включає в себе ряд дій, таких як: аналіз продуктивності майбутнього виробництва, підбір кваліфікованих кадрів, навчання та розвиток працівників, створення комфортних умов праці, мотивацію працівників та контроль за продуктивністю роботи.

Постановка завдання. Ефективність роботи є найбільш важливою метою для кожного підприємства. Щоб досягти успіху, підприємство повинно регулярно аналізувати свою діяльність та знаходити шляхи підвищення ефективності своєї роботи в майбутньому.

Один з основних методів підвищення ефективності роботи підприємства – це проведення попереднього аналізу. Цей процес допомагає виявити недоліки та проблеми в роботі підприємства та знайти шляхи їх вирішення.

Попередній аналіз може включати в себе вивчення таких аспектів роботи підприємства, як фінансовий стан, ринкова конкуренція, здатність конкурувати з іншими підприємствами, внутрішня організація, якість продукції та інші.

Важливим етапом попереднього аналізу є визначення метрик ефективності. Це можуть бути різноманітні показники, такі як прибуток, витрати, чистий прибуток, кількість продукції, якість продукції, рівень задоволеності клієнтів та інші [4].

Після того, як метрики ефективності визначені, підприємство може перейти до оцінки своєї роботи за цими метриками. Це може включати в себе порівняння показників з аналогічними показниками інших підприємств у цій же галузі або інших ринкових галузях.

На основі отриманих результатів підприємство може знайти шляхи для підвищення своєї ефективності. Це може включати в себе зміни в організації роботи підприємства, вдосконалення процесів виробництва, покращення якості продукції, розширення асортименту, збільшення обсягів продажів, зменшення витрат на виробництво та інші заходи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз ефективності використання ресурсів на підприємстві є важливою задачею під час планування майбутнього підприємства, тому що це напряму впливає на конкурентоспроможність підприємства і, відповідно, на те як довго підприємство буде функціонувати.

Кравченко М.А. у своїй статті [1] розкрив ефективність використання ресурсів як необхідну умовою конкурентоспроможності і прибутковості підприємств. На основі проведеного дослідження

встановлено, що для аналізу ефективності використання ресурсів потрібно застосовувати комплексний і системний підхід. Автором наголошує, що аналіз ефективності використання ресурсів, дозволяє виявити сильні і слабкі сторони управління ресурсами і запропонувати заходи щодо їх усунення чи поліпшення.

Гусарова О.С. [2] розглядає аналіз ефективності використання ресурсів на підприємстві з врахуванням аналізу чисельності, складу та руху робочої сили; аналіз використання фонду робочого часу; аналіз продуктивності праці. При цьому відмічається, що ефективність використання трудового потенціалу залежить від багатьох факторів, таких як організація праці, мотивація персоналу, соціально-психологічний клімат на підприємстві, а для оцінки ефективності використання ресурсів необхідно застосовувати комплекс показників, що характеризують кількісні і якісні аспекти працездатності персоналу.

У статті [3] автори статті розглядають проблему оптимізації розподілу ресурсів між проектами в умовах обмеженості та конфлікту ресурсів. Вони пропонують метод оптимізації на основі покращеного генетичного алгоритму, який враховує фактори, такі як навички працівників, час проекту та бюджет. У статті проводиться експериментальне порівняння їхнього методу з іншими методами оптимізації та демонструють його переваги в термінах ефективності та стабільності розподілу ресурсів. Як затверджують автори їх метод може допомогти покращити використання ресурсів підприємства та забезпечити успішне виконання проектів.

У вищеперерахованих статтях використовуються застарілі методи аналізу використання ресурсів. Вони призводять до необхідності проводити тривалі розрахунки, що досить часто веде до появи помилок в обчисленнях та необхідності починати все з початку.

Постановка завдання. Ефективності використання ресурсів на підприємстві в першу чергу пов'язана з аналізом стану всіх елементів виробництва та вибору найбільш економічно вигідно підходу. Для вирішення даного питання доцільним є застосування технології цифрового двійника виробництва. Розробка цифрового двійника (ЦД) технологічного процесу виготовлення деталей, з використанням середовища розробки FlexSim, дозволить аналізувати стан всіх елементів виробництва. Метою даної роботи є використано технологію ЦД для аналізу використання ресурсів виробництва, що проектується.

Виклад основного матеріалу. Технологія ЦД, відома як Digital Twin, і є інноваційною методологією, що дозволяє створювати цифрові копії реальних об'єктів, процесів та систем. Такі цифрові моделі точно відображають реальні об'єкти та можуть бути використані для досліджень, тестування та оптимізації різних рішень та сценаріїв [5].

Однією з основних переваг використання технології ЦД є можливість моделювання та тестування різних рішень та сценаріїв, не втрачаючи часу та коштів на фізичні експерименти [6]. Завдяки цьому, компанії можуть прискорити процеси розробки та випуску нових продуктів, виробництва, планування та виконання проектів. Крім того, технологія ЦД дозволяє отримувати реальний часовий потік даних про стан реальних об'єктів та систем, що дозволяє оперативно реагувати на зміни та вчасно вносити корективи до роботи систем.

За допомогою ЦД обладнання та виробничих ліній виробництва можливо оптимізувати процес виробництва, знизити час зупинок та ремонтів обладнання, а також підвищити ефективність виробництва в цілому. Для вирішення поставленого питання, а саме аналізу ефективності використання ресурсів на підприємстві, дана технологія дозволяє визначати оптимальні рішення з точки зору ефективності та оптимізації.

Для розробки ЦД технологічного процесу виробництва серед відомих програмних середовищ такі як Siemens Digital Twin, ANSYS Twin Builder, SAP Leonardo, FlexSim, було обрано FlexSim як потужне програмне середовище для

моделювання та симуляції складних процесів та систем. Дане середовище дозволяє проектувати та оптимізувати виробничі лінії; моделювати та аналізувати складні логістичні і транспортні процеси; аналізувати ефективності бізнес-процесів та стратегій управління великими компаніями та організаціями; проектувати та тестувати нові продукти [7].

Моделювання виробництва розглянемо на прикладі технологічного процесу виготовлення типу фланець. На рис. 1 представлено план цеху по виготовленню даної деталі. Виділено основні приміщення цеху: склад заготовок, виробнича ділянка, ділянка контролю, склад деталей. Маршрут обробки складається з двох основних операцій – комплексної та шліфувальної. Для їх виконання обрано оброблювальний центр DMG MORI CTX beta 1250 TC та плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1224TD.

Виробничий процес організовано наступним чином. Зі складу заготовок через бункер поштучної подачі надходить на конвеєр, який знаходиться в центрі виробничої лінії, а саме в центрі цеху. Біля кожного верстату розташований робот-маніпулятор, що забирає заготовку з конвеєру і завантажує до верстату, а після завершення операції – повертає деталь назад на конвеєр. Після виконання механічної обробки, деталі відправляють до контрольної станції, звідки після успішної операції деталь прямує до складу. На складі розташовані 5 автоматизованих складських механізмів: один розвозить деталі по рядах, а чотири – завантажують деталі на стелажі.

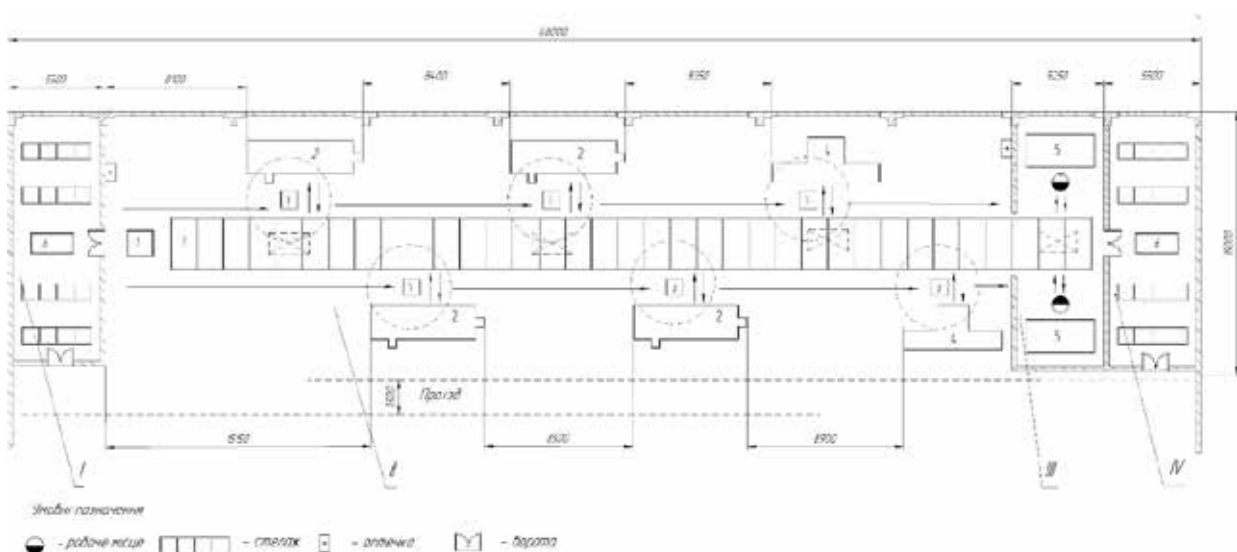


Рис. 1. План цеху по виготовленню деталі типу фланець:

I – склад заготовок, II – виробнича ділянка, III – ділянка контролю, IV – склад деталей, 1 – бункер орієнтуючої подачі, 2 – оброблювальний центр, 3 – промисловий робот, 4 – шліфувальний станок, 5 – контрольний стіл, 6 – візок, 7 – конвеєр

З огляду принципу побудови, планування цеху виглядає логічним і всі його елементи є доречними. Проте потрібно отримати якісні дані для точного аналізу даного цеху. Тому для цього створено його цифрову версію у програмному середовищі FlexSim.

На рис. 2 представлено цифрову копію виробництва створену у FlexSim. На рисунку можна побачити всі елементи цеху, а також зв'язки між елементами (чорні тоненькі лінії), які задають напрям руху деталей.

За допомогою вбудованих інструментів в програмному середовищі зібрані дані про всі стани в яких знаходиться кожен елемент моделі протягом усього часу виготовлення. Проте перед тим як перейти до їх аналізу, потрібно визначити, що означає легенда кожної діаграми. У таблиці 1 приведені всі стани, які можуть зустрітися в легенді.

На рис. 3 а) зображено діаграми станів усіх виробничих станцій, таких як оброблювальні центри, плоскошліфувальні верстати та станції перевірки. На рис. 3 б) – діаграми станів усіх роботів маніпуляторів та операторів.

З рис. 3 а) видно що оброблювальні центри знаходяться в процесі обробки близько 98% всього часу, коли на решту, а саме 2%, припадає стан очікування на завантаження деталі. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що верстат працює ефективно.

Для даного технологічного процесу час шліфування та час потрібний на перевірку однаковий, тому проаналізувати їх можна разом. Близько 56% всього часу вони перебувають у стані роботи. Даний показник (Processing) не такий високий, як у попередніх верстатів, але зменшити кількість шліфувальних верстатів/станцій перевірки

Таблиця 1

Пояснення легенди діаграми

№	Легенда	Пояснення
1	Processing	Стан, в якому об'єкт знаходиться в процесі обробки
2	Idle	Стан, в якому об'єкт не зайнятий і не виконує жодних дій
3	Blocked	Стан, в якому об'єкт зупинився і не може продовжити виконувати свої дії через якусь причину.
4	Waiting for transporter	Стан, в якому об'єкт очікує на транспорт, який буде переносити його до нової локації.
5	Travel empty	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації порожнім
6	Travel loaded	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації з вантажем
7	Offset travel empty	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху
8	Offset travel loaded	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
9	Loading	Стан, в якому об'єкт набирає вантаж
10	Unloading	Стан, в якому об'єкт розгружується.

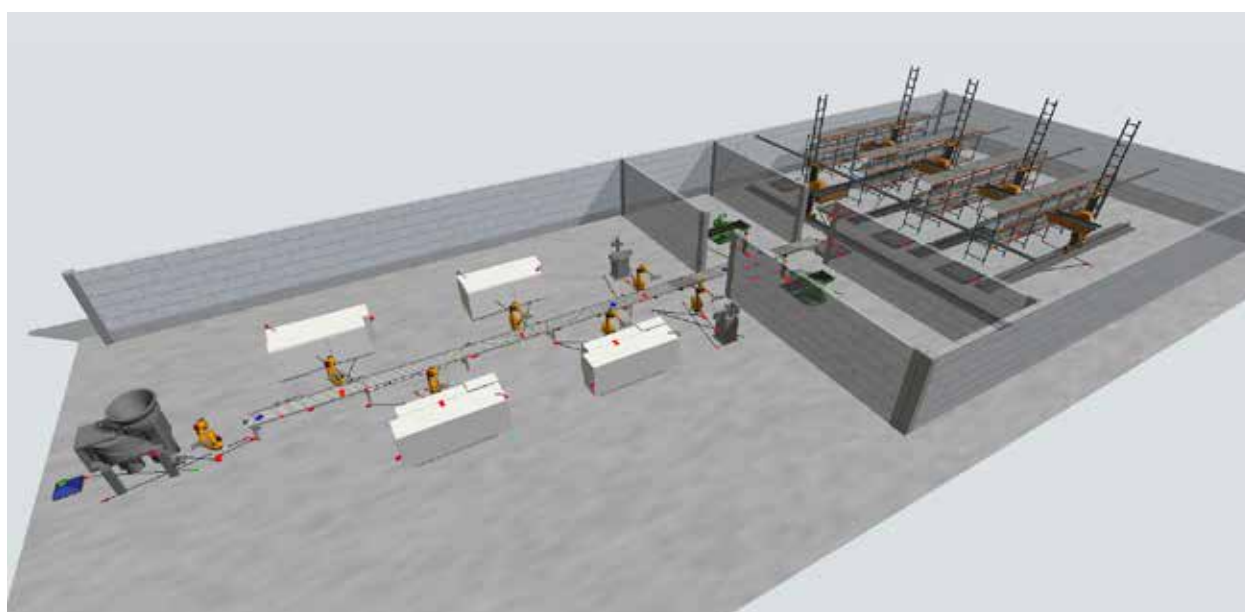


Рис. 2. Цифровий двійник виготовлення деталі типу фланець

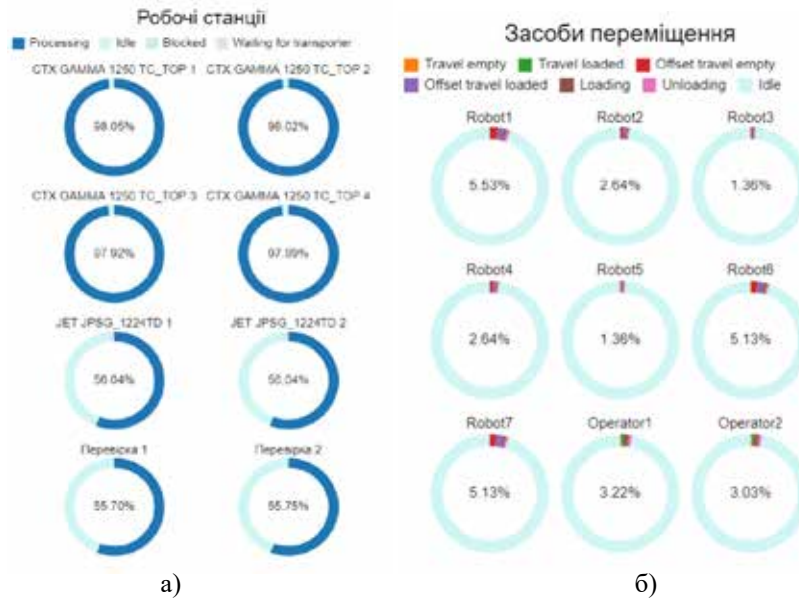


Рис. 3. Діаграми станів ЦД технологічного процесу: а) виробничі станції; б) засоби переміщення

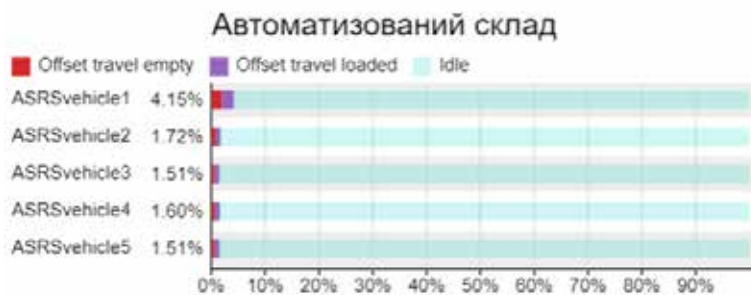


Рис. 4. Діаграми станів автоматизованих складських систем

не можна, тому що коли залишиться один верстат/станція перевірки, то на них припадатиме близько 112% часу роботи, а це означає що на виробничій лінії буде створюватися затримка.

На рис. 3 б) зображено діаграми станів маніпуляторів та операторів. Robot 1 відповідає за переміщення заготовок від пристрою поштучної подачі заготовок на конвеєр. Він знаходиться всього 5,46% всього часу в роботі, але так як він один виконує цю задачу, покращити цей вузол не має можливості, чого не можна скажати про Robot 2-5. Вони працюють близько 2% всього часу і виконують однакову задачу – завантажують заготовки в оброблювальний центр, тому їх кількість можна зменшити. В теорії можна використовувати один маніпулятор, який може переміщатися по прямій. Тільки для цього потрібно перемістити всі оброблювальні центри на одну сторону, або встановити такий маніпулятор замість деякої частини конвеєра.

З Robot 6-7 та операторами 1-2 ситуація така сама, вони знаходяться в роботі близько 5% та 3%

всього часу, відповідно. Їхню кількість можна скоротити.

На рис. 4 зображено діаграму станів складських механізмів. З діаграми видно, що перший механізм працює всього 4,15% часу, а решта – близько 1,5%. Зрозуміло, що ці ресурси використовуються не раціонально. При зміні планування цеху із цією задачею спокійно справлявся б всього один механізм, і він би знаходився у роботі близько 11% від всього часу.

З отриманих даних можна зробити висновок, що всі робочі станції працюють ефективно, чого не можна сказати про роботів-маніпуляторів, операторів та автоматизовані складські системи. З семи маніпуляторів можна залишити всього три, з двох операторів – одного, з п'яти складських механізмів – один. Проте для цього потрібно перебудувати план цеху, що значно скоротить витрати на закупівлю обладнання, і в свою чергу позитивно вплине на конкурентоспроможність фірми.

Висновок. Проведене експериментальне дослідження в програмному середовищі FlexSim з розробкою цифрового двійника цеху по виготовленню деталі типу фланець, полягало в аналізі ефективності використання ресурсів підприємства. За допомогою вбудованих інструментів отримано дані про роботу усіх елементів моделі, таких як верстати, оператори, засоби переміщення тощо.

Проведені моделювання параметрів верстатів та обладнання підтвердили доцільність вико-

ристання технології ЦД для дослідженні аналізу використання ресурсів.

Моделювання виробництва з використанням цифрового двійника дає можливість створити циф-

рову копію виробництва, виявити її недоліки та знайти шляхи їх вирішення. Отримані таким чином дані про роботу всіх елементів, дозволяють спрогнозувати їх працездатність та ефективність роботи.

Список літератури:

1. Кравченко М. А. Аналіз ефективності використання трудових ресурсів на підприємстві. Ефективна економіка, № 10, 2010. 2 с.
2. Гусарова О.С. Аналіз ефективності використання трудових ресурсів на підприємстві. Харківський Національний Економічний Університет, 2013. 1 с.
3. Liang G., Long L., Chen L. Optimization of Enterprise Labor Resource Allocation Based on Quality Optimization Model. Publishing Open Access research journals & papers, 2021. pp. 2-6.
4. Шевчук І.В., Коцеруба Н.В. Аналіз ефективності використання трудових ресурсів підприємства. Львівський науковий форум «Теорія і практика сучасної науки та освіти», 2020. 16-17 с.
5. Shcheglov V. Методи та технології розроблення цифрових двійників для гарантоздатних систем індустриального інтернету речей. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2022. – Т. 4 (70). – С. 127-137. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.127>.
6. Як технології дозволяють керувати речами на відстані [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://techno.nv.ua/>
7. Велика О.Т., Ляковська С.Є., Смотров О.О., Бойко М.В. Імітаційне моделювання технологічного процесу виготовлення виробів у середовищі FlexSim. Scientific Bulletin of UNFU, №31, 2021. 108-113с. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310218>.
8. Вислоух С. П., Філіппова М. В. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні. Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. 2004. № 28. С. 139–144.

Kravchenko O.S., Demchenko M.O., Voloshko O.V., Filippova M.V.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING RESOURCES IN THE COMPANY USING DIGITAL TWIN

The article discusses the importance of effective utilization of resources for the successful operation of any company or organization. An assessment of the current state of the problem is analyzed to address the issue of rational and appropriate use of resources in enterprises, particularly during their planning. The necessity of implementing new approaches in addressing resource efficiency is established, which can prevent errors in calculations and the need for repetitions. Conducting an analysis of resource utilization efficiency in production using the technology of digital twins is proposed as an innovative approach to modeling and managing physical objects. To implement this approach, an experimental study of production in the FlexSim software environment was conducted with the creation of a digital twin of the manufacturing process of a flange-type part. This digital twin is represented as a shop floor with equipment, devices, operators, and connections between them, such as directions of part movement. During the study, data were obtained for each of the specified model elements using the built-in tools of the software environment. The loading of each element involved in the production process was determined, and the efficiency of their utilization was analyzed over time with consideration of each of their states. The study emphasizes that the use of digital twin technology in manufacturing enterprises as a tool for analyzing resource efficiency is highly effective and enables the assessment of resource utilization at the enterprise to achieve maximum results from employees without loss of profits.

Key words: production automation, resources, efficiency, digital twins, FlexSim.