DOI: 10.18372/2310-5461.60.18266
УДК 621.396 (045)

В. В. Собчук**,** д-р техн. наук, професор,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0002-4002-8206
e-mail: sobchuk@knu.ua;

І. М. Циганівська**,** канд. фіз.-мат. наук,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0001-7632-3410
e -mail: itsy8009@knu.ua;

О. А. Лаптєв**,** д-р техн. наук, ст. наук. спів.,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0002-4194-402X
e -mail: alaptev64@ukr.net;

В. М. Журавльов**,** канд. фіз.-мат. наук,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
orcid.org/0009-0004-8806-2130
e -mail: vnzhur@knu.ua

ПЛАНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛАНЦЮЖКІВ ЗАСОБАМИ СКІНЧЕННО ЧАСТКОВО ВПОРЯДКОВАНИХ МНОЖИН

Вступ

Підвищення ефективності управління виробничим підприємством нерозривно пов'язане із вдосконаленням системи оперативно-виробничого планування (ОВП) та обліку на підприємстві. При цьому головною метою ОВП є забезпечення злагодженого, комплексного, ритмічного ходу виробництва по випуску продукції при максимально повному і рівномірному використанні усього арсеналу виробничих ресурсів, своєчасному виконанні зобов'язань по випуску готової продукції, базуючись на рівномірній і комплектній організації виробничих процесів на кожній ланці [1], а також досягненні мінімальної тривалості виробничого циклу й, відповідно, оптимізації об'ємів незавершеного виробництва.

Реалізація вищевказаної мети забезпечується через розв'язання достатньо складного набору функцій ОВП, до яких, зазвичай, відносять: оцінки завантаженості виробничих потужностей по підприємству загалом та окремих виробничих підрозділах зокрема; розрахунки планово-календар-них нормативів організації виробничих процесів, з урахуванням тривалості виробничого циклу виробництва готових виробів та їх елементів, оцінки обсягів незавершеного виробництва, розрахунки партій запуску готової продукції, встановлення термінів випереджуючого запуску продукції у виробництво з урахуванням фаз та стадій обробки елементів готових виробів та безпосереднім виготовленням готової продукції; розробка календар-них планів-графіків запуску-випуску готової продукції; встановлення оперативних виробничо-технологічних завдань підрозділам виробничого підприємства (робочим місцям, виробничим центрам, дільницям, цехам тощо); оперативне управління, облік та контроль ходу виконання планових завдань; завдання мережевого планування; забезпечення функціональної стійкості складних технічних та інформаційних систем тощо [2].

Стрімкий розвиток інформаційних технологій в останні роки в тому числі націлений на розв'язання цих задач. Інтегруючи накопичений досвід в даній сфері станом на тепер розроблено велика кількість методик та підходів до ОВП та управління промисловим підприємством. Найвідоміші з них є наступні нормативні документи управління: MRP II (Manufacturing Resource Planning), ERP (Enterprise Resource Planning), APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) і MES (Manufacturing Execution Systems) [2]. Ці системні рішення апробовані протягом двох останніх десятиліть різними виробничими підприємства-ми у багатьох індустріях. Спільною рисою цих систем є те, що у них реалізовано принципи, що характерні для інтегрованих автоматизованих систем управління підприємством (ІАСУ), впровадження яких має на меті автоматизувати ши-

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

рокий комплекс управлінських функцій, охоплюючи задачі стратегічного, виробничого та фінансового планування; оперативного управлін-ня запасами, закупками та постачанням з одночасною автоматизацією конструкторської та технологічної підготовки виробництва тощо.

Протягом останнього періоду при вивченні питань автоматизації управління підприємствами часто перевагу надають саме ERP-системам. Їх концепція ґрунтується на автоматизації та інформатизації бізнес-процесів (БП) плануванні процесів збуту, наскрізного виробничого та фінансового планування, управління логістичними ланцюжками, задач обліку тощо. Беззаперечною перевагою ERP-систем є реалізований в них процесний підхід до управління промисловим підприємством, який водночас покладено в основу стандартів ISO, що, фактично, й виз-начило позиціонування ERP-систем як загальноприйнятого інструменту реалізації систем управління промисловими підприємствами в самих різних індустріях.

Варто зазначати, що ERP-системи мають низку недоліків. Наприклад, в багатьох системах ERP планування ґрунтується на застосуванні стандарту MRPII. Цим стандартом передбачено лише об'ємне планування, зазвичай, на рівні місячного плану. Як наслідок, це призводить до того, що, на практиці, планування робіт, технологічних операцій для виробничих центрів та іншого технологічного обладнання в ERP-системах здійснюється без врахування оперативного завантаження виробничих ланок і стану незавершеного виробництва. Визначення тривалості виробничого процесу (ВП) здійснюється засобами простого підсумовування тривалості усіх технологічних операцій. Однак, на практиці, тривалість ВП залежить, насамперед, від завантаженості технологічного обладнання на момент виконання замовлення. Відтак, часто це призводить до того, що будь-який детальний ERP-план практично буде неможливо виконати. Більше того, зазвичай неможливо оперативно коригувати такі плани.

За таких обставин одним із дієвих альтернативних варіантів є впровадження на підприємстві системи виробничого планування класу APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) або ж, при досить високому рівні автоматизації виробничих процесів, MES-системи (Manufacturing Execution Systems), які забезпечують більш точне планування ходу виробництва. Такі системи з'явились на ринку в кінці минулого століття і головною метою мають складання детальнішого, в порівнянні з ERP-системами, цехових і міжцехових планів-розкладів роботи для усього парку обладнання на комплексі портфелів замовлень на тривалий час з урахуванням реального стану незавершеного виробництва.

Необхідно зазначити, що більшість сучасних виробничих підприємств мають досить обмежений парк виробничого обладнання та при цьому намагаються випускати досить широку гаму продукції. Відтак вимоги до універсальності обладнання постійно зростають. Водночас високий рі-вень автоматизації виробничих процесів вимагає від ІАСУ ефективних алгоритмів планування виробництва, завантаженості виробничих центів та обліку фінансових показників.

Виробництво – це процес, який вимагає реалізації певної управлінської стратегії, яка прагне досягти максимальної ефективності використання наявних ресурсів при наявності природних обмежень. Одним з найпоширеніших обмежень є про-пускна здатність виробничих підрозділів в цілому та окремих одиниць обладнання зокрема. Відтак планування завантаження виробничого обладнання у спосіб, що дозволяє гнучко та ефективно виконувати реалізовувати індивіду-альні стратегії для забезпечення дотримання пла-нових показників випуску продукції є предметом постійної уваги на всіх рівнях управління сучас-них виробничих підприємств.

Математичний апарат, який описує логіку прийняття рішень базами знань ІАСУ постійно розвивається. В даній роботі розглянемо як можна використати елементи апарату математичної теорії категорій для автоматизації виробничих процесів підприємств.

Математична теорія категорій – це розділ математики, який вивчає властивості відношень між математичними структурами, незалежно від внутрішньої топології структур, що абстрагуються від множин і функцій до діаграм, де об'єкти сполучені морфізмами. Власне в рамках даної теорії під сагайдаком розуміють структуру, що лежить в основі категорії, але без складу або позначення морфізма ідентичності. Такий математичний об'єкт є зручним інструментом для моделювання, планування та автоматизації виробничих процесів сучасних виробничих підприємств. Розглянемо детально задачу побудови критерію Q – еквівалентності частково впорядкованих множин з 5-ти елементів зі зв'язною діаграмою.

Постановка проблеми

Спираючись на реалізовані механізми планування в сучасних ІАСУ розробити підхід для застосування елементів апарату математичної теорії категорій для автоматизації виробничих процесів підприємств. Використанням елементів математичної теорії категорій в ІАСУ дозволяє побудувати моделі системи, що дозволяє аналізувати та прогнозувати поведінку системи, забезпечувати автоматичне керування процесами, виявляти та усувати проблеми, а також оптимізувати ресурси та процеси.

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Теорія категорій надає формальні інструменти для опису структури та відношень між об'єктами системи. В контексті автоматизації виробничих процесів, вона може бути застосована для опису компонентів системи, їх взаємозв'язків та взаємодій, що відбуваються між ними. Відтак, для виробничих підприємств, в яких кількість виробничих підрозділів чи виробничих центрів окремого підрозділу (виробничої дільниці) є обмеженою, дослідити особливості застосування математичного апарату теорії категорій для планування виробничих процесів та розподілу затрат при формуванні собівартості готової про-дукції та побудови відповідних стратегій завантаженості технологічних ресурсів підприємства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основні принципи автоматизації виробничих процесів, включаючи комп'ютерно-інтегровані системи, технології автоматичного керування та планування виробництва описано в [3]. Підходи до управління виробництвом, засноване на знаннях; управління проектами, інженерне управління та управління якістю; стійкість і управління виробництвом; відкрита архітектура хмарних обчислень для інтелектуального виробництва та кіберфізичних виробничих систем; роль адитивного виробництва в реконфігурації та сталості ланцюжка створення вартості; управління операціями у виробництві на замовлення; управління життєвим циклом продукту та послуги: інновації, що ґрунтуються на знаннях, і соціальні наслідки детально вивчено в [4].

Важливим аспектом при плануванні виробничих процесів є забезпечення властивості функціональної стійкості останніх. Власне йдеться про те, що в сучасних умовах технологічні процеси часто функціонують в умовах постійних впливів зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Відтак здатність УАСУ сучасних підприємств виявляти нештатні ситуації, розпізнавати нештатні ситуації та парирувати їх наслідки є вкрай важливою. Цій проблематиці присвячено низка робіт, зокрема в роботах [5–7] проводиться аналіз за-стосування ієрархічних структур для забезпечення властивості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. Основи концепції забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи підприємств в умовах ризиків впливу зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів та алгоритм контролю і прогнозування функціональної стійкості складних інформаційно-технічних систем досліджено у [8–9]. Проблематика формування індивідуальної стратегії управлінням експлуатацією виробничих центрів для забезпечення функціональної стійкості технологічних процесів виробничих підприємств описа-но у [10–11].

Охарактеризуємо роботи, які присвячені дослідженню результатів математичного інструментарію, який використовується при побудові моделей планування процесів у УАСУ. Власне у роботах [12–13] детально досліджено порядок над кільцями дискретного оцінювання, скінченними ланцюгами Маркова та частково впорядкованими множинами. Показникові матриці та їх сагайдаки вивчались у [14].

Водночас в роботах мало вивчено застосуання апарату теорії категорій, яка надає формальний мовний апарат для моделювання та аналізу складних систем. Можливості описати об'єкти системи та їх взаємозв'язки, а також використовувати категорійні конструкції для представлення структури системи та її еволюції з часом, використання цього математичного апарату для моделювання ефективних виробничих стратегій є перспективним напрямком досліджень.

Виклад основного матеріалу

Нехай $P=\{\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_n\}$ скінчена множина виробничих центрів (виробничих підрозділів), які необхідні для випуску видів продукції за визначеним відношенням відповідності виготовлення певних одиниць продукції згідно з технологічною картою відповідної специфікації. Сагайдак $Q(P)$ – це діаграма послідовності виконання технологічних операцій P, яка складається з множини вершин $VQ(P)=\{1,...,n\}$ і множини стрілок $AQ(P)$, таких що в $AQ(P)$ є стрілка $\sigma: i \to j$,тоді і тільки тоді, коли α_j на-криває α_i, що описує процес виробництва про-дукції відповідного виду.

Матриці показників виникли при вивченні черепичних порядків. Між (0,1) – матрицями показників та скінченими частково впорядко-ваними множинами існує взаємно однозначна відповідність. В [12] встановлено зв'язок між сагайдаками (0,1) – матриць показників та діаг-рамами відповідних частково впорядкованих множин. У роботі [12] введено поняття індексу матриці показників частково впорядкованих множин.

Покажемо далі як визначити числові критерії еквівалентності частково впорядкованих множин з п'яти елементів зі зв'язною діаграмою.

Означення. *a* «накриває» b в множині P, це означає, що не існує $x \in P$, такий що $a > x > b$.

Означення. Нехай $P=\{\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_n\}$ скінчена множина з відношенням порядку $\leq$. Діаграма P – це сагайдак $Q(P)$, який складається з множини вершин $VQ(P)=\{1,...,n\}$ і множини стрілок $AQ(P)$, такий що в $AQ(P)$ є стрілка $\sigma: i \to j$, тоді і тільки тоді, коли α_j накриває α_i.

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Означення. Частково впорядковану множину P називають зв'язною, якщо її діаграма $Q(P)$ зв'язний сагайдак.

Дамо конструкцію, яка для даної частково впорядкованої множини $P=\{p_1,...,p_n\}$ дозволяє побудувати сильно зв'язний сагайдак без кратних стрілок і кратних петель.

Позначимо через $P_{\max}(P_{\min})$ множину максимальних (мінімальних) елементів P і через $P_{\max}\times P_{\min}$ їх декартів добуток.

Означення. Сагайдак $\tilde{Q}(P)$, що отримується з діаграми $Q(P)$ додаванням стрілок σ_{ij} для всіх $(p_i,p_j)\in P_{\max}\times P_{\min}$ називають сагайдаком, отриманим з частково впорядкованої множини P.

Означення. Дві частково впорядковані множини P_1 і P_2 називають Q-еквівалентними, якщо $\tilde{Q}(P_1)$ і $\tilde{Q}(P_2)$ ізоморфні.

Означення. Індекс *inxP* скінченої частково впо-рядкованої множини P – це найбільше дійсне власне значення матриці суміжності сагайдака $\tilde{Q}(P)$.

Твердження 1. Якщо скінченні частково впорядковані множини S і P Q-еквівалентні, то лівий і правий власні вектори матриці $\left[\tilde{Q}(S)\right]$ можна отримати з лівого та правого власних векторів матриці $\left[\tilde{Q}(P)\right]$ перестановкою їх координат.

Доведення. За означенням частково впорядкованих множини S і P Q-еквівалентні, якщо сагайдаки $\tilde{Q}(S)$ і $\tilde{Q}(P)$ – ізоморфні. Тоді існує переставна матриця P_τ для деякої підстановки τ, така що

$$\left[\tilde{Q}(S)\right]=P_\tau^T\left[\tilde{Q}(P)\right]P_\tau.$$

Нехай λ – індекс частково впорядкованих множин S і P, і $\vec{x}_P$ – правий власний вектор матриці $\left[\tilde{Q}(P)\right]$, а $\vec{y}_P$ – лівий власний вектор мат-риці $\left[\tilde{Q}(P)\right]$.

Тоді

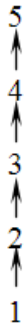
$$\left[\tilde{Q}(S)\right]P_\tau^T\vec{x}_P=P_\tau^T\left[\tilde{Q}(P)\right]P_\tau P_\tau^T\vec{x}_P=\lambda\left(P_\tau^T\vec{x}_P\right);$$
$$(\vec{y}_P P_\tau)\left[\tilde{Q}(S)\right]=\vec{y}_P P_\tau P_\tau^T\left[\tilde{Q}(P)\right]P_\tau=\lambda(\vec{y}_P P_\tau).$$

Тобто $P_\tau^T\vec{x}_P=\vec{x}_S$ – правий власний вектор матриці $\left[\tilde{Q}(S)\right]$, а $\vec{y}_P\vec{P}_\tau=\vec{y}_S$ – лівий власний вектор матриці $\left[\tilde{Q}(S)\right]$.

В таблиці для кожної частково впорядкованої множини з 5-ти елементів зі зв'язною діаграмою представлено обчислений індекс цієї частково впорядкованої множини та правий і лівий власні вектори, що йому відповідають [15].

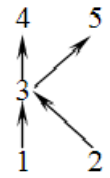
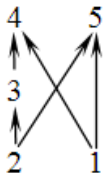
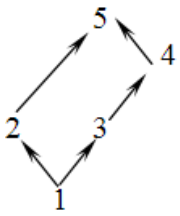
Таблиця

Індекс частково впорядкованої множини з 5-ти елементів зі зв'язною діаграмою та правий і лівий власні вектори

№ з/п	$\left[Q(P)\right]$	$Q(P)$	$\left[\tilde{Q}(P)\right]$
1	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{\left[\tilde{Q}(P)\right]}(\lambda)=\lambda^5-1$ $inxP=1$ $\vec{x}_P=(1,1,1,1,1)$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$

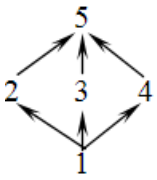
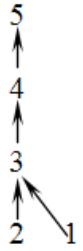
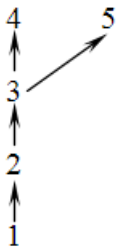
© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Продовження таблиці

№ з/п	$[Q(P)]$	$Q(P)$	$[\tilde{Q}(P)]$
2	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&1\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-4\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{4}$ $\vec{x}_P=(\frac{1}{\sqrt[3]{2}},\frac{1}{\sqrt[3]{2}},\sqrt[3]{2},1,1)$	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&1\\1&1&0&0&0\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$
3	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	$\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda^3-\lambda^2$ $inxP=\frac{\sqrt{5}+1}{2}$ $\vec{x}_P=(1,\frac{2}{1+\sqrt{5}},\frac{2}{1+\sqrt{5}},1,1)$ $\vec{y}_P=(1,\frac{2}{1+\sqrt{5}},1,1,\frac{2}{1+\sqrt{5}})$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&1&0\\1&0&1&0&0\\1&0&1&0&0\end{pmatrix}$
4	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&1\\0&0&1&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-3\lambda^3-\lambda^2$ $inxP\approx 1,879385242$	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\1&1&0&0&0\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$
5	$\begin{pmatrix}0&1&1&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^2-\lambda$ $inxP\approx 1,22074$	$\begin{pmatrix}0&1&1&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$

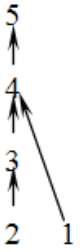
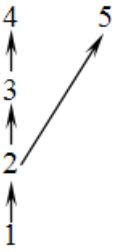
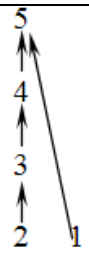
© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Продовження таблиці

№ з/п	$[Q(P)]$	$Q(P)$	$[\tilde{Q}(P)]$
6	$\begin{pmatrix}0&1&1&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-3\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{3}$ $\vec{x}_P=(\sqrt[3]{3},\frac{1}{\sqrt[3]{3}},\frac{1}{\sqrt[3]{3}},\frac{1}{\sqrt[3]{3}},1)$ $\vec{y}_P=(1,\frac{1}{\sqrt[3]{3}},\frac{1}{\sqrt[3]{3}},\frac{1}{\sqrt[3]{3}},1)$	$\begin{pmatrix}0&1&1&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&1\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$
7	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda$ $inxP=\sqrt[4]{2}$ $\vec{x}_P=(\frac{1}{\sqrt[4]{8}},\frac{1}{\sqrt[4]{8}},\frac{1}{\sqrt{2}},\frac{1}{\sqrt[4]{2}},1)$	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$
8	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&1\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda$ $inxP=\sqrt[4]{2}$ $\vec{x}_P=(\sqrt[4]{2},\sqrt{2},\sqrt[4]{2^3},1,1)$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&1\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$

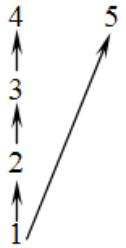
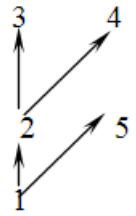
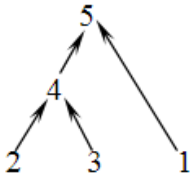
© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Продовження таблиці

№ з/п	$\left[Q(P)\right]$	$Q(P)$	$\left[\tilde{Q}(P)\right]$
9	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{\left[\tilde{Q}(P)\right]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^2-\lambda$ $inxP\approx 1,22074$	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&0\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$
10	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{\left[\tilde{Q}(P)\right]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^2-\lambda$ $inxP\approx 1,22074$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&1&0&1\\0&0&0&1&0\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$
11	$\begin{pmatrix}0&0&0&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{\left[\tilde{Q}(P)\right]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-\lambda$ $inxP=\sqrt{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}$ $\vec{x}_P=\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}}},-\frac{1-\sqrt{5}}{2\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}}},\frac{2}{1+\sqrt{5}},\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}}},1\right)$	$\begin{pmatrix}0&0&0&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Продовження таблиці

№ з/п	$[Q(P)]$	$Q(P)$	$[\tilde{Q}(P)]$
12	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-\lambda$ $inxP=\sqrt{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}$ $\vec{x}_P=(\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}},\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5}),\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}}(-1+\sqrt{5}),1,1)$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$
13	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&1&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{1+\frac{\sqrt{78}}{9}}+\sqrt[3]{1-\frac{\sqrt{78}}{9}}$ $\vec{x}_P=(\lambda,\frac{2}{\lambda},1,1,1)$ $\vec{y}_P=(\lambda,1,\frac{1}{\lambda},\frac{1}{\lambda},1)$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&1\\0&0&1&1&0\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$
14	$\begin{pmatrix}0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{1+\frac{\sqrt{78}}{9}}+\sqrt[3]{1-\frac{\sqrt{78}}{9}}$ $\vec{x}_P=(\lambda,1,1,\lambda,\lambda^2)$ $\vec{y}_P=(1,1,1,\frac{2}{\lambda},\lambda)$	$\begin{pmatrix}0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&1&1&0&0\end{pmatrix}$

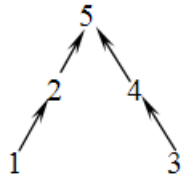
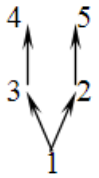
© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Продовження таблиці

№ з/п	$[Q(P)]$	$Q(P)$	$[\tilde{Q}(P)]$
15	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	$\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{1+\frac{\sqrt{78}}{9}}+\sqrt[3]{1-\frac{\sqrt{78}}{9}}$ $\vec{x}_P=(\lambda+1,1,\lambda,\lambda^2,\lambda^2)$ $\vec{y}_P=(1,1,\frac{2}{\lambda},\frac{2}{\lambda^2},\frac{1}{\lambda})$	$\begin{pmatrix}0&0&1&0&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\1&1&0&0&0\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$
16	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&0&1&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	$\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-\lambda^3-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{1+\frac{\sqrt{78}}{9}}+\sqrt[3]{1-\frac{\sqrt{78}}{9}}$ $\vec{x}_P=(\lambda^2-1,2,1,\lambda,\lambda)$ $\vec{y}_P=(\lambda,1,\lambda,\frac{\lambda+1}{\lambda},\frac{1}{\lambda})$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&0&1&1\\0&0&0&1&0\\1&0&1&0&0\\1&0&1&0&0\end{pmatrix}$
17	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	$\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda^3-\lambda^2$ $inxP=\frac{\sqrt{5}+1}{2}$ $\vec{x}_P=(\frac{4}{1+\sqrt{5}},\frac{4}{(1+\sqrt{5})^2},\frac{2}{1+\sqrt{5}},1,1)$ $\vec{y}_P=(\frac{\sqrt{5}+1}{2},\frac{\sqrt{5}+1}{2},1,\frac{\sqrt{5}+1}{2},1)$	$\begin{pmatrix}0&0&0&1&1\\0&0&1&0&0\\0&0&0&1&0\\1&1&0&0&0\\1&1&0&0&0\end{pmatrix}$

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

Закінчення таблиці

№ з/п	$[Q(P)]$	$Q(P)$	$[\tilde{Q}(P)]$
18	$\begin{pmatrix}0&1&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	$\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda^3-\lambda^2$ $inxP=\frac{\sqrt{5}+1}{2}$	$\begin{pmatrix}0&1&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\1&0&1&0&0\\1&0&1&0&0\end{pmatrix}$
		$\vec{x}_P=(1,\frac{2}{1+\sqrt{5}},\frac{2}{1+\sqrt{5}},1,1)$ $\vec{y}_P=(\frac{\sqrt{5}+3}{2},\frac{\sqrt{5}+1}{2},\frac{\sqrt{5}+3}{2},\sqrt{5}+1,1)$	
19	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{2}$ $\vec{x}_p=(\frac{1}{\sqrt[3]{4}},\frac{1}{\sqrt[3]{2}},\frac{1}{\sqrt[3]{4}},\frac{1}{\sqrt[3]{2}},1)$	$\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&0&1&0&0\end{pmatrix}$
20	$\begin{pmatrix}0&1&1&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$	 $\chi_{[\tilde{Q}(P)]}(\lambda)=\lambda^5-2\lambda^2$ $inxP=\sqrt[3]{2}$ $\vec{x}_P=(\sqrt[3]{2},\frac{1}{\sqrt[3]{2}},\frac{1}{\sqrt[3]{2}},1,1)$	$\begin{pmatrix}0&1&1&0&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&1&0\\1&0&0&0&0\\1&0&0&0&0\end{pmatrix}$

Використовуючи результати [12] можемо стверджувати, що серед наведених 44-ох зв'язних частково впорядкованих множин Q-еквівалент-ними є вище наведені частково впорядковані множини під номерами (властивість А):

1. 2,
2. 3,
3. 5, 9,
4. 6,
5. 20,
6. 7, 8,

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

7. 11, 12
8. 13,
9. 14, 2
10. 19, 20

За твердженням 1 їх ліві та праві власні вектори можна отримувати перестановкою координат з лівого та правого власних векторів *Q*-еквівалент-них множин.

Аналіз координат лівих та правих власних век-торів, що відповідають одному індексу частково впорядкованих множин, які не є *Q*-еквівалентними, дає наступну теорему.

Теорема 1. Дві частково впорядковані множини *S* і *P* з 5-ти елементів зі зв'язною діаграмою *Q*-еквівалентні, якщо

(a) inxP = inxS

(b) координати правого $\vec{x}_S$ та лівого $\vec{y}_S$ власного вектора матриці $\left[\tilde{Q}(S)\right]$ можна отримати перестановкою координат правого $\vec{x}_P$ та лівого $\vec{y}_P$ власного вектора матриці $\left[\tilde{Q}(P)\right]$.

Описаний вище математичний апарат можна використати в підсистемі планування та обліку ІАСУ виробничого підприємства, де кількість виробничих підрозділів чи виробничих центрів окремого підрозділу (виробничої дільниці) рівна 5. Автори сконцентрували увагу на розгляді такого обмеженого математичного апарату як модельного в рамках даної роботи.

Розглянемо детальніше концепцію випуску готової продукції в підсистемах APS-, MES- та ERP-систем ІАСУ сучасних виробничих підприємств. У більшості конфігурацій сучасних ERP-систем передбачено облік випуску різних товарів та послуг: продукції та напівфабрикатів; внутрішніх послуг; послуг зовнішніх контрагентів. Налаштуючи облікові політики, окремо для управлінського та регламентованих типів обліку кожного центру прибутку чи центу витрат підприємства, визначається вид попередньої собівартості, за якою вироблена протягом пері-оду продукція враховується до розрахунку фак-тичної собівартості. Наприклад, для виробничої зміни передбачені такі способи визначення розрахункової собівартості продукції:

1) за нульовою вартістю. Цей тип обліку використовується у тих випадках, якщо дані про вартість випущеної протягом місяця продукції не є важливими. Записи в товарних реєстрах при цьому здійснюються в кількісному виразі з нульовою вартістю;

2) за плановою собівартістю. Застосовуючи облік за плановою собівартістю, оприбуткування готової продукції здійснюється документом випуску за вартістю, зафіксованою у регістрі відомостей в якому обліковуються ціни номенклатури;

3) за прямими затратами. Облік за прямими затратами означає, що вартість готової продукції визначатиметься у момент проведення документа випуску, враховуючи зазначені у цьому документі матеріальний та нематеріальний склад прямих витрат на продукцію. Даний підхід можна використовувати, якщо документи випуску заповнюють дані про розподіл прямих витрат. При цьому у вартість включаються зазначені суми прямих нематеріальних витрат і розрахована сума матеріальних витрат. Остання розраховується шляхом множення кількості матеріалів, розподілених підсистемою планування матеріалів, на їх розрахункову ціну. Розрахункова ціна визначається базуючись на залишках цих матеріалів у незавершеному виробництві за заданою відповідною аналітикою на момент проведення документа. Таким чином, якщо в налаштуваннях облікової політики визначено спосіб списання собівартості товарно-матеріаль-них цінностей у розрізі партій не за документами списання, а за регламентною процедурою сис-теми, вартість випуску готової продукції буде залежати лише від зазначених нематеріальних витрат.

Зауважимо, що незалежно від визначеного способу обліку попередньої собівартості продукції протягом звітного періоду, наприкінці місяця собівартість готової продукції коригується відповідно до розрахованих та розподілених фактичних витрат. Таке коригування необхідне, оскільки крім прямих витрат у собівартість випущеної продукції також включаються й непрямі витрати, реальний обсяг яких зазвичай відомий тільки в кінці періоду.

Попередня собівартість використовується для отримання еталонної вартості виготовлення продукції, оцінки понесених затрат, для моделювання прибутку тощо. За розрахунковою вартістю ведеться складський облік та виробничий облік готової продукції до визначення фактичної вартості.

Крім того ІАСУ забезпечує розподіл матеріалів та розподіл інших витрат. Мета операцій відображення випуску – фіксація обсягів випуску та оприбуткування продукції для її реалізації або подальшого використання у виробництві.

При відображенні інформаційною системою випуску готової продукції крім обсягу продукції (послуги) може вказуватися специфікація її виготовлення. Вказання специфікацій – є елементом нормування, який дозволяє в подальшому автоматизувати процес розподілу як прямих так і непрямих витрат на собівартість продукції. Посилання на специфікації дають можливість автоматизації процедур, що фіксують матері-альні витрати, понесені під час виробництва готової продукції. Якщо виготовлення кількох видів продукції фіксується однією операцією, то

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

на кожен вид випущеної продукції. У випадках, коли однією специфікацією перед-бачено одночасний випуск кількох видів про-дукції, то частки, у яких розподіляються відпо-відні матеріальні витрати між видами продукції, за замовчуванням визначаються зі специфікації.

Зазначимо, що при відображенні в інформаційній системі випуску продукції автоматично формуються партії готової продукції, що передаються складу. Якщо виробництво позамовне, то при випуску продукції потрібно вказати замовлення, для якого було зроблено відповідний випуск. Відтак партія готової продукції на складі також співвідноситиметься до зазначеного замовлення.

Висновки

Досліджено механізми обліку, які реалізовані в ІАСУ сучасних підприємств з високим ступенем автоматизації виробничих процесів з урахуванням проблематики неупередженості процесів планування та обліку собівартості готової продукції.

Для виробничих підприємств, де кількість виробничих підрозділів чи виробничих центрів окремого підрозділу (виробничої дільниці) рівна 5, розроблено математичний апарат для планування виробничих процесів та розподілу затрат при формуванні собівартості готової продукції, що дозволяє будувати стратегії завантаженості виробничих ресурсів. Зокрема, стратегії оптимального завантаження виробничих центів (структурних підрозділів) підприємства реалізується підсистемою планування управління виробничими ланцюжками, які можуть використовувати будь-який з 11 варіантів завантаженості виробничих центів (структурних підрозділів) відповідно до властивості А для сагайдака $\tilde{Q}(P)$. Більше того, показано, що всі ці варіанти є еквівалентними і від їх вибору не залежить ні виконання плану випуску продукції ні ефек-тивність завантаження технологічних ресурсів підприємства.

Встановлено, що для 5-ти елементної множини існують правий $\vec{x}_P$ та лівий $\vec{y}_P$ власні вектори матриці $\left[\tilde{Q}(P)\right]$. Координати цих векторів є ваговими коефіцієнтами при розподілі витрат на одиницю виробничого обладнання (виробничого центру / виробничого підрозділу) задіяного при випуску відповідної продукції згідно з вибраною за властивістю А стратегією плану-вання виробничих ланцюжків. В залежності від фактичних координат правого $\vec{x}_P$ та лівого $\vec{y}_P$ власних векторів, чи їх відсутності отримуємо відмінні концентрації витрат у відповідних виробничих центрах. Водночас, це не означає, що організована в такий спосіб реалізація стра-тегії завантаженості технологічного обладнання суттєво впливає на собівартість продукції.

Використання запропонованого математичного апарату в середовищах функційного програмування при розробці підсистем планування та формування собівартості сучасних APS-системи, MES-систем та ERP-систем дозволить підвищити показники якісної автоматизації процесів планування ресурсів сучасних виробничих підприємств за рахунок мінімізації експертного впливу в роботі складних технічних систем.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Pichkur V., Sobchuk V. Mathematical Model and Control Designofa Functionally Stable Technological Process. *Journal Of Optimization, Differential Equations And Their Applications* (JODEA). 2021. Vol. 29, Issue 1. P. 32–41. DOI http://dx.doi.org/10.15421/142102

[2] Собчук В.В. Методика створення єдиного інфор-маційного простору на виробничому підприєм-стві з функціонально стійким виробничим проце-сом. *Наукове періодичне видання «Системи управ-ління, навігації та зв'язку»*. 2019. Вип. 6 (58). С. 84–91.

[3] Mikell P. Groover, G. Jayaprakash Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing. Pearson Education Limited, 2015. 816 p.

[4] Umeda S., Nakano M., Cieminski G. and all. Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth. Published in IFIP Advances in Information. 2015. DOI:10.1007/978-3-319-22759-7

[5] Собчук В. В., МусієнкоА. П., Ільїн О. Ю. Аналіз використання ієрархічної структури для забезпе-чення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. *Телекомуні-каційні та інформаційні технології*. 2018. № 4 (61). С.53 – 61. DOI: 10.31673/2412-4338.2018.045361

[6] Sobchuk A. V., Sobchuk V. V., Barabash O. V., Lyashenko I. O. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis. *Scienceand Education a New Dimension*. *Naturaland Technical Sciences*, 2019. VII (23), Issue193, Budapest, Hungary, pp. 46–48. https://doi.org/ 10.31174/ SEND-NT2019-193VII23-11

[7] Собчук В. В., Замрій І. В., Олімпієва Ю. І., Лаптєв С. О. Функціональна стійкість технологічних процесів на основі нелінійної динаміки із застосуванням нейромереж. *Сучасні інформацій-ні системи*. 2021. Т.5. No2. P. 49–57. DOI: 10.20998/2522-9052.2021.2.08

[8] Барабаш О. В., Мусієнко А. П., Собчук В. В. Основи забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємств в умовах

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

впливу дестабілізуючих факторів: монографія. Київ: Міленіум, 2022. 272 с.

[9] Замрій І. В., Собчук А. В., Лаптєв С. О., Лаптєва Т. О., Копитко С. Б. Алгоритм контролю та прогнозу-вання функціональної стійкості складних інформаційно-технічних систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2022. № 1 (74). С. 4–15. DOI: 10.31673/2412-4338.2022.010414

[10] Собчук В. В., Замрій І. В., Власик Г. В., Зінченко О. В., Кравець В. І. Функціональна стійкість технологічних процесів та формування індивідуальної стратегії управлінням експлуата-цією виробничих центрів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021, № 1 (70). С. 4–16. DOI: 10.31673/2412-4338.2021.010416

[11] Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Yurii Shcheblanin, Oleg Barabash, Andrii Musienko, Valerii Kozlovskyi Evaluation of Efficiency of Application of Functionally Sustainable Generalized Information System of the Enterprise. 4th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (9–11 June 2022, Ankara, Turkey). DOI: 10.1109/ HORA55278.2022.9800037

[12] Kirichenko V. V., Chernousova Zh. T., Dokuchaev M. A., Khibina M. A., Miroshnichenko S. G., Zhuravlev V. N. Tiled orders over discretevaluation rings, finite Markov chains and partially orderedsets. II.Algebra and Discrete mathematics. 2002. №1. С. 32-63.

[13] Kirichenko V. V., Chernousova Zh. T., Dokuchaev M. A., Khibina M. A., Miroshnichenko S. G., Zhuravlev V. N. Tiled order sover discretevaluation rings, finite Markov chain sand partially ordered sets II. Algebra and Discrete mathematics. 2003. № 2. С. 47–86.

[14] Kirichenko V. V., Zelensky A. V., Zhuravlev V. N. Exponent matrices and their quivers Buletinul Academiei de Stiinte a Republicii Moldova. Matematica. 2004. № 1(44). p. 57–66.

[15] Журавльов В. М., Циганівська І. М. Q-еквівалентні скінчені частково впорядковані множини. *Вісник Київського університету*. Серія: фізико-математичні науки. 2005. № 1. С. 47–51.

Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М.

ПЛАНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛАНЦЮЖКІВ ЗАСОБАМИ СКІНЧЕННО ЧАСТКОВО ВПОРЯДКОВАНИХ МНОЖИН

Автоматизація та інформатизація бізнес-процесів сучасних виробничих підприємств ґрунтується на концепції об'ємного виробничого і фінансового планування, управління логістичними ланцюжками, задач обліку тощо. Інформаційні системи підприємств будуються з врахуванням реалізації в них процесного підходу до управління підприємством, що є основою загальноприйнятої міжнародної практики створення систем управління промисловими підприємствами. Стрімкий розвиток інформаційних технологій спонукає розвиток математичного апарату, який описує логіку прийняття рішень базами знань інтегрованих автоматизованих систем управління сучасних підприємств. Зручний абстрактний апарат для опису систем та їхніх взаємозв'язків забезпечується використанням теорії категорій. Це дозволяє моделювати різні аспекти підприємств, такі як виробничі процеси, ресурси, взаємодії між підрозділами та співробітниками, а також залежності між задачами та проектами. Водночас теорія категорій підтримує композиційність, що означає, що складні системи можуть бути побудовані з більш простих компонентів. Це дає можливість розглядати підприємство як систему, що складається з різних підсистем, процесів та ресурсів, і визначати оптимальні стратегії використання цих компонентів. В роботі описані механізми обліку та планування, які реалізовані інформаційних системах автоматизованого управління сучасних підприємств. Для виробничих підприємств з обмеженою кількість виробничих підрозділів чи виробничих центрів окремого підрозділу (виробничої дільниці) досліджено математичний апарат для планування виробничих процесів та розподілу затрат при формуванні собівартості готової продукції. Показано, що для реалізації стратегії оптимального завантаження виробничих центів (структурних підрозділів) підприємства можуть використовувати довільний з визначених у роботі 11 варіантів завантаженості виробничих центів (структурних підрозділів) відповідно до властивості для сагайдака відповідного вигляду. Встановлено, що всі 11 варіантів є еквівалентними і від їх вибору не залежайте ні виконання плану випуску продукції ні ефективність завантаження технологічних ресурсів підприємства.

Ключові слова: автоматизовані системи управління; виробниче планування; теорія категорій; сагайдак; стратегія планування технологічних процесів.

Sobchuk V., Tsyganivska I., Laptiev O., Zhuravlev V.

THE PLANNING OF TECHNOLOGICAL CHAINS BY MEANS FINITE PARTIALLY ORDERED SETS

Automation and informatization of business processes of modern production enterprises is based on the concept of comprehensive production and financial planning, supply chain management, accounting tasks, etc. Information systems of enterprises are built taking into account the implementation of a process approach to industrial enterprise management, which is the basis of the generally accepted international practice of creating industrial enterprise man-

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023

agement systems. The rapid development of information technologies prompts the development of a mathematical apparatus that describes the decision-making logic of knowledge bases of integrated automated management systems of modern enterprises. A convenient abstract apparatus for describing systems and their relationships is provided by the use of category theory. It allows you to model various aspects of enterprises, such as production processes, resources, interactions between departments and employees, as well as dependencies between tasks and projects. At the same time, category theory supports compositionality, which means that complex systems can be built from simpler components. This makes it possible to consider the enterprise as a system consisting of various subsystems, processes and resources, and to determine optimal strategies for the use of these components. The work describes the mechanisms of accounting and planning, which are implemented in the information systems of automated management of modern enterprises. For manufacturing enterprises with a limited number of production divisions or production centers of a separate division (production site), a mathematical apparatus for planning production processes and cost allocation when forming the cost of finished products was investigated. It is shown that in order to implement the strategy of optimal loading of production centers (structural divisions), enterprises can use any of the 11 load options of production centers (structural divisions) defined in the work in accordance with the quiver property of the corresponding form. It was established that all 11 options are equivalent and neither the execution of the production plan nor the efficiency of loading the company's technological resources depend on their choice.

Keywords: automated control systems; production planning; theory of categories; quiver; strategy for planning technological processes.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2023 р.
Прийнято до друку 19.12.2023 р.

© Собчук В. В., Циганівська І. М., Лаптєв О. А., Журавльов В. М., 2023