

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАЗИЛЕВИЧ ПЕТРО РОМАНОВИЧ

УДК 658.5:005

ДИСЕРТАЦІЯ
ФОРМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ
БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ

08.00.04 - Економіка та управління підприємствами
(за видами економічної діяльності)
08 - Економічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук

Ідентичність усіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради*

Завербний А.С.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ /П.Р. Базилевич/

Науковий керівник Кузьмін Олег Євгенович, д.е.н., професор, Заслужений
працівник народної освіти України

Львів – 2018

АНОТАЦІЯ

Базилевич П.Р. Формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)». - Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

Дисертацію присвячено вирішенню наукового і прикладного завдання формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств. Актуальність наукового дослідження підтверджується тим, що в сучасних умовах ринкової економіки, конкурентного середовища та глобалізаційних процесів оптимізація виробничих процесів є особливо актуальною.

Формалізація виробничих процесів на підприємствах за допомогою процесного підходу, побудова інструментів для їх аналізування з метою подальшої оптимізації є одним із актуальних завдань сучасної економічної науки. В дисертації розроблено теоретичне узагальнення та запропоновано нове вирішення наукового завдання щодо теоретичного та методичного забезпечення для опису, аналізу, проектування, структуризації та реструктуризації бізнес-процесів підприємств з застосуванням апарату асинхронних дискретних систем та простих і вищого порядку мереж Петрі.

У *першому розділі* «Теорія та прикладні засади формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств» з'ясовано сутність та значення процесного підходу до управління підприємством та його виробничими процесами. При процесному підході діяльність підприємства розглядається як система взаємодіючих процесів, яка складається з множини вхідних ресурсів (сировина), які забезпечуються постачальниками; внутрішніх ресурсів, що є наявними на підприємстві, або додатково залучені для виготовлення конкретного продукту (персонал,

обладнання) та вихідних продуктів. Процесний підхід передбачає перехід на «Lean production» (бережливе виробництво), яке є економним, раціоналізованим виробництвом, що поєднує кращих спеціалістів, матеріали, обладнання та системи.

Зроблено огляд можливостей найбільш поширених програмно-інформаційних систем: Protos, ARIS, FLOWer, FileNet, ARENA, CPN. Показано, що добрі можливості для опису бізнес-процесів мають системи Protos та CPN, які базуються на описі процесів за допомогою мереж Петрі. Система Protos є придатною для відображення виробничих потоків, опрацювання ресурсів та має достатній рівень деталізації. Система CPN має розвинуту формальну семантику та можливості верифікації.

Автором пропонується новий підхід, при якому виробництво описано як асинхронна дискретна система, де окремі бізнес-процеси можна моделювати за допомогою апарату мереж Петрі, який дає глибокий рівень деталізації опису. Це створює ефективні умови для оптимізації бізнес-процесів, що необхідно при інженерії та реінженерії, в тому числі при мінімізації виробничих затрат та часу виконання, виявленні «вузьких» місць, декомпозиції, розпаралелюванні та розв'язуванні інших завдань.

У другому розділі «Аналізування бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем» описано властивості бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем. Деталізовано властивості дискретності, асинхронності, погодженості та паралельності, які є характерними для виробничих процесів підприємств.

Подано класифікацію мереж Петрі та описані ними базові логічні операції, необхідні для реалізації довільного бізнес-процесу. Мережа Петрі створює можливість виявити такі властивості та елементи бізнес-процесів: безпечність, обмеженість, збереження, активність, тупики, пастки, досяжність, покривання та інші. Показано, що мережі Петрі мають добре розроблену семантику, що дозволяє однозначно та детально описувати бізнес-процеси, якісно досліджувати їх властивості, вивчати закономірності

функціонування. Мережі Петрі, зокрема вищого порядку - часові та кольорові, є одними з найефективніших інструментів для моделювання на найбільш детальному рівні бізнес-процесів підприємств, дослідження закономірностей їх функціонування. Вони дозволяють описувати всі логічні функції, які присутні в бізнес-процесах.

Мережі Петрі є ефективним інструментарієм для створення програмно-інформаційних систем автоматизованого проектування бізнес-процесів та робототехнічних систем, їх оптимізації, оскільки дозволяють використати потужний апарат сучасних математичних методів. Такі можливості тільки частково наявні в інших системах опису бізнес-процесів.

Розроблено порядок оптимізації бізнес-процесів на підприємствах з використанням мереж Петрі. Узагальнено отриману в результаті анкетування інформацію про способи формалізації бізнес-процесів на семи підприємствах для надання рекомендацій щодо кроків для їх оптимізації.

У третьому розділі «Застосування асинхронних дискретних систем та мереж Петрі для удосконалення бізнес-процесів підприємств» розвинуто можливості моделювання бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем та як простих та вищого порядку мереж Петрі. Для структурного аналізу бізнес-система описана у вигляді орієнтованого графу (орграфу) $G(X, V)$, де X – множина вершин, що відображає операції бізнес-процесу, а V – множина дуг (орієнтовані ребра), що відображає безпосередній спрямований зв'язок між операціями, тобто передачу певного продукту, матеріального чи інформаційного, від однієї операції до іншої.

Бізнес-система (виробничий процес) S є утвореною, в загальному випадку, множиною n незалежних бізнес-процесів P_i , кожний з яких має чітко визначені функції виготовлення певного типу продукції: $S = \{P_1, \dots, P_n\}$. Кожний окремий бізнес-процес $P_i, i=1, \dots, n$, описується орграфом $G_i(X_i, V_i)$, де X_i – множина вершин, утворена чотирма підмножинами: $X_i = \{O_i, I_i, R_i, D_i\}$, де O_i – множина операцій бізнес-процесу; I_i – множина його ініціаторів, R_i –

множина результатів, D_i – множина інформаційних джерел. Граф бізнес-системи формується об'єднанням графів окремих її бізнес-процесів.

Аналізування графу бізнес-процесу як асинхронної дискретної системи дозволяє визначати та описувати багато його особливостей, в тому числі: шляхи проходження кожного вхідного продукту до кожного кінцевого; критичні шляхи, що вимагають найбільшого часу для виконання; сумарні значення параметрів для кожної операції з врахуванням значень параметрів для окремих процесів, тобто їх завантаженість; сумарні значення показників споживання кожного вхідного продукту; значення показників кожного кінцевого продукту; операції та шляхи, що мають перевантаженість або недовантаженість; ланцюжки, що можуть бути розпаралелені; операції, які відповідають за створення кожного окремого вихідного продукту; операції, в яких відбувається перетворення кожного вхідного продукту; протоколи системи, що безпосередньо вказують для яких вихідних виробів використовується кожний вхідний продукт, та репозиції, що вказують з яких вхідних продуктів утворений кожний виріб; цикли в окремих процесах, де відбувається повторне виконання певних операцій, в тому числі ієрархічну вкладеність циклів; завантаженість кожного циклу з врахуванням значень параметрів кожної операції та вимог до циклічності.

В дисертації запропоновано метод структуризації та реструктуризації підприємства як асинхронної дискретної системи на основі ієрархічного кластерного аналізу його бізнес-процесів, що дає можливість виділити багаторівневу структуру підприємства, входження одних бізнес-процесів та підрозділів підприємств в інші вищого рівня; отримати рекомендації для структуризації підприємства з врахуванням характеристик зв'язності між бізнес-операціями (бізнес-процесами), мінімізуючи кількість зв'язків між підрозділами та максимізуючи їх кількість в межах одного підрозділу. Деталізовано процедури забезпечення бажаних вимог до структури підприємства, оптимізації розв'язків з врахуванням додаткових обмежень,

для формування підрозділів різних за обсягами робіт, для включення чи виключення певних операцій в конкретний підрозділ.

Опис бізнес-процесу як асинхронної дискретної системи створює умови для його структурного аналізу, що може бути використано на етапах проектування нових та реінженерії існуючих систем для підвищення його ефективності. Піддаються оцінці завантаженості операцій та шляхів передавання продуктів; визначаються шляхи перетворення вхідних продуктів, шляхи утворення кінцевих продуктів, критичні шляхи та ряд інших елементів діяльності підприємств.

В даному розділі побудовано прості мережі Петрі для таких бізнес-процесів та структур: з послідовним та паралельним використання ресурсів; декількох виробників з декількома споживачами та спільним складом постачання; складських приміщень; з циклічними та пріоритетними чергами; комплектування виробів; з обмеженою кількістю ресурсів, що призводить до утворення тупикових ситуацій. Досліджено властивість «активність» та умови появи таких ситуацій. Аналіз мережі Петрі дає можливість виявити такі ситуації при проектуванні бізнес-процесів, їх передбачити та усунути. Мережі Петрі забезпечують можливість досліджувати паралельні процеси.

Розроблено моделі бізнес-процесів у вигляді мереж Петрі вищого порядку для систем масового обслуговування типу «Замовник – черга – виконавець» з однолінійними та багатолінійними типами чергами; різною кількістю замовників; одно- та багатопрофільними виконавцями. Дано оцінку їх продуктивності, час очікування в черзі та необхідні вимоги для забезпечення часу очікування в черзі, який не перевищує задане значення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні методико-прикладного забезпечення для проектування, структуризації та реструктуризації бізнес-процесів на основі їх аналізу як асинхронних дискретних систем засобами простих і мереж Петрі вищого порядку, що дає змогу глибоко досліджувати особливості їх функціонування, будувати їх

простори станів, вивчати причини утворення небажаних ситуацій при неякісній організації виробництва, визначати часові та інші характеристики.

Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка». Матеріали наукового дослідження використані та впроваджені на підприємствах ТОВ «Завод Електропобутприлад» та ТОВ «Нестле Україна», а також при викладанні дисципліни «Економіка та управлінсько-правове забезпечення діяльності бізнесу» для студентів спеціальності 073 «Менеджмент» спеціалізації «Бізнес-адміністрування».

Ключові слова: процесний підхід, бізнес-процес, асинхронна дискретна система, прості мережі Петрі, мережі Петрі вищого порядку, структуризація та реструктуризація.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові публікації, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1.1. Монографія

1. Bazylevych, P. and Kuzmin, O., 2017. *Queueing systems modeling by Petri nets*. Monograph. Lambert. Academic Publishing, Saarbrücken.

1.2. Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних

2. Базилевич, П.Р., 2003. Декомпозиція в економічних задачах на основі ієрархічної кластеризації. *Актуальні проблеми економіки*, 9 (27), с. 11-18.

3. *Базилевич П.Р., 2011. Структуризація і реструктуризація організацій на основі ієрархічного кластерного аналізу виробничих процесів. *Актуальні проблеми економіки*, 6, С. 248-257. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*)

* Публікації одночасно належать до видань, що входять до наукометричних баз даних

4. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2012. Асинхронна дискретна модель бізнес-систем. *Актуальні проблеми економіки*, 6, с. 304-310. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*)
5. Базилевич, П.Р. та Кузьмін, О.Є., 2012. Графовий аналіз виробничих систем. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*, 748, с. 115-119.
6. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2012. Деякі задачі моделювання ресурсів виробничих систем мережами Петрі. *Актуальні проблеми економіки*, 12, с. 207-216. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*).
7. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2014. Опис виробничих систем типу «Запити – черга – виконавці» мережами Петрі вищого порядку. *Актуальні проблеми економіки*, 2, с. 501-507. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory, EconLit, Cabell`s Directories*).

1.3. Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

8. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Y., 2013. Modeling of Business Processes Queues by Petri Nets. *Actual Problems of Computer Science*, 1 (3), pp. 44-50.
9. Bazylevych, P.R. and Kyzmin, O.Y., 2014. A high-level petri net model of queueing production system. *Applied Computer Science*, 10 (3), pp. 78 – 85.

2. Опубліковані праці апробаційного характеру

10. Базилевич, П.Р., 2016. Застосування мереж Петрі для дослідження систем масового обслуговування в машинобудуванні. В: *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подолання наслідків*

* Публікації одночасно належать до видань, що входять до наукометричних баз даних

Чорнобильської катастрофи (матеріали XV Міжнародного наукового семінару). Київ – оз. Світязь, Україна, 4-8 Липень 2016. Київ: Національна академія управління.

11. Базилевич, П.Р., Кузьмін, О.Є., 2014. Процесний підхід для дослідження циклічних черг на підприємствах з використанням мереж Петрі. В: *Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: XII Міжнародна науково-практична конференція*, Харків, Україна, 8-12 Вересень 2014. Харків: Харківський авіаційний інститут.

12. Базилевич, П.Р., Кузьмін, О.Є., 2014. Застосування мереж Петрі вищого порядку для дослідження особливостей функціонування підприємств з різними типами черг. В: *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях: IX Міжнародна науково-практична конференція*. Запоріжжя, Україна, 23–24 Жовтень 2014. Запоріжжя: Запорізький національний університет.

13. Базилевич, П.Р., 2013. Процесний підхід для опису підприємств з чергами. В: *Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств харчової промисловості: Міжнародна науково-практична конференція*. Одеса, Україна, 2–4 Жовтень 2013. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.

14. Базилевич, П.Р., 2013. Моделювання підприємств типу «запити-черги-виконавці» мережами Петрі вищого порядку. В: *Економіка і управління в умовах глобалізації: II міжнародна науково-практична конференція*. Донецьк, Україна, 30 Січень 2013. Донецьк: Вид. «Ноулідж».

15. Базилевич, П.Р., 2003. Оптимізація в задачах розбиття складних економічних систем. В: *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці: IV Міжнародна науково-практична конференція*. Ірпінь, Україна, 15–17 Травень 2003. Ірпінь: Академія ДПС України.

ANNOTATION

Bazylevych P.R. Formation of asynchronous discrete systems of enterprises' business-processes. - Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of economic sciences (Ph.d.), specialty 08.00.04 - Economy and management of enterprises (by the types of economic activity) - Lviv Polytechnic National University of Ministry of education and science of Ukraine, Lviv, 2018.

The thesis is dedicated to the solution of scientific and applied problem of enterprises' asynchronous discrete systems of the formation of business-processes. The relevance of scientific research is confirmed by the fact that the optimization of production processes in competitive environment and globalization are particularly important in the current conditions of the market economy. The enterprises' business-processes formalization by using a process approach and building the instruments for their analysis in order to enable further implementation in the robotic systems is one of the urgent tasks of modern economic science. The theoretical generalization and new solutions for analysis, design, structuring and restructuring of enterprises with using the asynchronous discrete systems approach and simple and higher-level Petri are developed in the thesis.

The essence and significance of the process approach to the enterprise management and production processes found in the first chapter "Theory and applied tools for forming asynchronous discrete business-process systems of enterprise". The review of the Protos, ARIS, FLOWer, FileNet, ARENA, CPN and other software systems is provided. It is shown that the systems Protos and CPN which are based on the Petri nets have good possibilities for describing business-processes. The Protos system is suitable for the display of the production process and has a sufficient level of details. The CPN system has good developed formal semantics and verification capabilities. The deep level of detailed modelling gives the approach, where the production system is described as an asynchronous

discrete system by the Petri nets. This creates the efficient conditions for the optimization of business-processes that is necessary in the engineering and reengineering, decomposition, minimization of production costs and execution time, identifying the "narrow" locations, parallelization and for many other problems.

The second chapter "The analysis of enterprises' business-processes as the asynchronous discrete systems" describes the properties of the business-processes as such systems. The properties of discreteness, asynchrony, coherence and parallelism that are characteristic of the manufacturing processes of enterprises are detailed. The classification of Petri nets and basic logical operations which are required for the implementation in any business-process are described. The Petri nets create the opportunity to reveal such properties of business-processes: security, limitation, conservation, activity, dead-ends, traps, connectivity, covering up and others. It is shown that Petri nets have a well-developed semantics that allows to describe the business-processes clearly and in detail, to explore their properties accurately, to study patterns of operations. The timed and colored high-level Petri nets are one of the most efficient tools for the enterprises' business-processes modeling at the most detailed level and for studying of their functioning. They allow to describe all the logical functions that are present in the business-processes.

Petri nets are efficient tools for creating software and information systems of the computer automated design of business-processes and robotic systems, specifically for their optimization. They allow to use the powerful aid of the modern mathematics methods. Such features are present only partially in the other modeling systems that are used to the business-processes' design.

The enterprises' business-processes modeling as asynchronous discrete systems as well as by simple and high-level Petri nets is developed in the third chapter "The application of asynchronous discrete systems and Petri nets for improving of the enterprises' business-processes". The business system is described by the oriented graph $G(X, V)$, where X is the set of vertices that reflects the operation of the

business-process, and V is the set of arcs that reflects the relations between operations, i.e. the transfer of specific products, materials or information from one transaction to the another. Business system $S = \{P_1, \dots, P_n\}$ are made, in the general case, by a set of independent business-processes P_i , $i = 1, \dots, n$, each of which has a clearly defined function of the certain types of products (or data) production. Each separate business-process P_i is described by orgraf $G_i(X_i, V_i)$ where X_i is the set of vertices, formed by four subsets $X_i = \{O_i, I_i, R_i, D_i\}$, where the O_i is the set of operations in a business-process. The I_i is the set of its initiators, the R_i is the set of results; the D_i is the set of information sources. The graph of full system is formed by the union of the individual business-processes' graphs.

Analysis of business-process as asynchronous discrete system allows us to define and to describe many of its features, including: the ways of the products passing from each input of to each output; the critical pathways that require the greatest time for implementation; the total value for each operation taking into account the values of individual processes; the total value of consumption of each input product; the value of each finished product; the operations and the routes that have an overload or an underload; the chains that can be parallelized; the operations, which are responsible for the creation of every product; the operations, where conversion of each input product takes place; the system's protocols that directly indicate which output products are created from given source product, and system's repositions which indicate which sources products are used for creating the given output product; the loops in separate processes, where performance of certain operations including hierarchically nesting cycles is a repeated; the workload of each cycle, taking into account the values of the parameters of each operation and requirements for its periodicity.

The method of structuring and restructuring of enterprises that is based on hierarchical cluster analysis of business-processes is developed. This enables estimation of the multilevel structure of the enterprise, the entry of some business operations into other, the entry of some divisions into other of higher levels; receipt of recommendations for structuring the enterprise taking into account the

characteristics of the connections between business operations, minimization of the number of connections between the divisions and maximization of their number within a single division. Developed detailed algorithms make it possible to ensure the desired requirements for the structure of the enterprise, to optimize the solutions taking into account the additional constraints, to create the units of different volumes of work, to include or exclude certain operations in a specific unit etc.

Description of the business-process as asynchronous discrete system creates conditions for its structural analysis that can be used for designing new and reengineering existing systems to enhance their effectiveness. The load capacity of operations and paths can be evaluated; the roads of input product transformation and of output products formation can be defined; the critical roads and a number of other elements of the enterprises' activity can be estimated. In this chapter, the simple Petri nets are built for such business-processes and structures: for the serial and the parallel use of resources; for several manufacturers with multiple consumers and common warehouse of supply; for storage warehouse; for systems with cyclic and priority queues; for products' completing; for systems with a limited amount of resources and which leads to creating the deadlock situations. Property of activity and conditions of such situations are investigated. Analysis of Petri nets gives an opportunity to identify such situations as well as to anticipate and to eliminate them in the business-processes design. Petri nets offer the opportunity to investigate the parallel processes.

The models of business-processes as a high-level Petri are developed for: one-linear and many-linear queueing systems such as "Customer – Queue – Performer"; for varying number of customers; for single and many-profile performers. The assessment of their efficiency, the waiting time in the queue and the necessary requirements to ensure the given waiting time in the line which does not exceed the specified value are given.

The practical significance of obtained results consists of the development of applied software for the design, structuring and restructuring of business-processes

on the basis of their analysis as asynchronous discrete systems by means of simple and high-level Petri nets. It allows us to deeply explore the features of their functioning, to build their spaces, to study the causes of undesirable situations, to determine the waiting time and other characteristics.

The thesis is performed within the research of the Department of management and international business of Lvivska Politechnic National University. The research materials are used in the enterprises LLC "Elektropobutprylad" and LLC "Nestle Ukraine" as well as for the discipline "Economics and management - legal support of business activity" for students of the specialty 073 "Management" specialization "Business administration".

Keywords: process approach, business-process, asynchronous discrete system, simple Petri nets, high-level Petri nets, structuring and restructuring.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE DISSERTATION TOPIC

1. Scientific publications, where are published the main scientific results of dissertations

1.1. Monograph

1. Bazylevych, P. and Kuzmin, O., 2017. *Queueing systems modeling by Petri nets*. Monograph. Lambert. Academic Publishing, Saarbrücken.

1.2. Publications in scientific professional editions of Ukraine

2. Bazylevych, P.R., 2003. Decomposition in economic problems based on hierarchical clustering. *Actual problems of Economics*, 9 (27), pp. 11-18.
3. * Bazylevych, P.R., 2011. Structuring and restructuring organizations based on hierarchical cluster analysis of production processes. *Actual problems of Economics*, 6, pp. 248-257. (*International scientometric databases: SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*).
4. * Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Ye., 2012. Asynchronous discrete model of business systems. *Actual problems of Economics*, 6, pp. 304-310. (*International*

* Article also belong to the publications included in the international scientometric databases

scientometric databases SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory).

5. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Ye., 2012. Graph analysis of manufacturing systems. Management and entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and development", 748, pp. 115-119.
6. * Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Ye., 2012. Some of the tasks of modeling resources production systems by Petri nets. Actual problems of Economics, 12, pp. 207-216. (*International scientometric databases: SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*).
7. * Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Ye., 2014. Description of production systems type "Requests - queue – performers" by high-level Petri nets. Actual problems of Economics, 2, pp. 501-507. (*International scientometric databases SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory, EconLit, Cabell`s Directories*).

1.3. Publications in scientific professional editions of foreign countries

8. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Ye., 2013. Modeling of business-processes queues by Petri Nets. Actual Problems of Computer Science, 1(3), pp. 44-50.
9. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Y., 2014. A high-level Petri net model of queueing production system. Applied Computer Science, Volume 10, Number 3, pp. 78-85.

2. Scientific publications that confirm the implementation of dissertation materials

10. Bazylevych, P.R., 2016. Application of Petri nets for investigation of queueing systems in engineering. Modern problems of Informatics in management, economics, education and overcoming the consequences of the Chernobyl disaster. Edited by Yermoshenko M.M. Kyiv: National Academy of management.

* Article also belong to the publications included in the international scientometric databases

11. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Y., 2014. Process approach for the study of cyclic queueing enterprises using Petri nets. Modern information technologies in economy and management of enterprises, programs and projects: XII International scientifically-practical conference, Kharkiv, Ukraine, September, 8-12. Kharkiv: Kharkiv Aviation Institute.
12. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Y., 2014. Application of higher-level Petri nets to investigation the peculiarities of enterprises' functioning with various types of queues. Challenges and prospects of the development of the new economy on the global, national and regional level: the 9-th International scientific-practical conference. Zaporizhzhya, Ukraine, October, 23-24. Zaporizhzhya: Zaporizhzhya National University.
13. Bazylevych, P.R., 2013. Processes approach to the description the enterprises with the queues. Economic and managerial aspects of the development of the food industry: international scientific-practical Conference. Odesa, Ukraine, October, 2-4, 2013. Odessa: Odessa National Academy of food technologies.
14. Bazylevych, P.R., 2013. Simulation of enterprises "Requests-queue-performers" by the high-level Petri nets. Economics and management in the conditions of globalization: II international scientific-practical Conference. Donetsk, Ukraine, January 30. Donetsk: "Noulidz".
15. Bazylevych, P.R., 2003. Optimization in problems to split the complex economic systems. The problem of introduction of information technologies in economy: the IV international scientific-practical Conference, Irpin, Ukraine, 15–17, May 2003. Irpin: STS.

ЗМІСТ

ВСТУП	19
<p>РОЗДІЛ 1 ТЕОРІЯ ТА ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ</p>	
26	
1.1. Сутність та значення процесного підходу до управління підприємством	26
1.2. Засоби моделювання бізнес-процесів з використанням програмно- інформаційних систем	33
1.3. Підприємство як асинхронна дискретна система та мережі Петрі як ефективні засоби для моделювання бізнес-процесів	39
Висновки за розділом 1.	50
<p>РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ ЯК АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ</p>	
52	
2.1. Методичні положення з аналізування бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем	52
2.2. Методичні положення з аналізування бізнес-процесів підприємств мережами Петрі вищого прядку	57
2.3. Аналізування можливостей нотацій існуючих програмно- інформаційних систем для дослідження та проектування бізнес- процесів підприємств	80
2.4. Аналізування стану формалізації бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах	89
Висновки за розділом 2	94

РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ	97
3.1. Моделювання бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем	97
3.2. Дослідження структури та закономірностей функціонування бізнес- процесів підприємств із застосуванням мереж Петрі	116
3.3. Формування асинхронних дискретних систем та побудова мереж Петрі вищого порядку для дослідження структури та закономірностей функціонування бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах.....	156
Висновки за розділом 3	183
ВИСНОВКИ.....	185
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	189
ДОДАТКИ.....	209

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне складне ринкове середовище, що неперервно змінюється, вимагає постійного вдосконалення систем управління підприємством. Процесний підхід, який базується на концепції, що управління є безперервною серією взаємопов'язаних та взаємодіючих функцій, є найбільш ефективним на сучасному етапі. Підприємства об'єднують багато бізнес-процесів, що реалізують тисячі операцій. Актуальним є розроблення ефективних підходів, придатних для детального їх описування, аналізування особливостей функціонування, оптимізації, контролювання, діагностування проблемних ситуацій та формування заходів для їх усунення. Це вимагає створення ефективного інструментарію для вирішення таких завдань.

Вагомий внесок у розроблення теоретико-прикладних положень у сфері дослідження особливостей функціонування та аналізу бізнес-процесів підприємств зробило чимало вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких варто виокремити праці В.М.П. Аалста, І. Алексеева, А. Божека, О. Волкова, М. Гаммера, Д.Григор'єва, Р. Дафта, К. Дженсена, М. Доррера, Д. Зайцева, Н. Євдокімової, В. Зуберек, В.Ільїна, Г. Калянова, В. Козика, Є. Крикавського, О. Кузьміна, В.Кузьмука, Т. Кужди, О. Мельник, М.Мескона, Н. Лохмана, Й. Петровича, Ж. Полтавської, Д. Чемпі, Л. Чернобай, Н.Чухрай, Л. Файфоля, С. Філіппової, М. Хамера, Ф. Хедоурі, А-В. Шеера та інших. У своїх працях вчені зосереджуються на дослідженні сутності опису особливостей функціонування підприємств та окремих бізнес-процесів, їх структуризації та реструктуризації, аналізу, основних перевагах та недоліках існуючих підходів тощо.

Незважаючи на значні напрацювання, багато питань ще залишаються нерозв'язаними у цій сфері. Зокрема, потребують подальшого розвитку методи дослідження структури бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем. Такі підходи створюють нові можливості для вивчення

закономірностей їх функціонування та аналізу на найбільш глибокому рівні. З цієї точки зору бізнес-процеси доцільно розглядати як системи, які мають такі властивості: утворені скінченною множиною окремих операцій, що мають скінченну тривалість, є асинхронними в реалізації та не керуються єдиним сигналом (за виключенням конвеєрних систем). Ефективним математичним апаратом для деталізації опису бізнес-процесів є мережі Петрі, як прості так і вищого порядку – часові та кольорові. Мережі Петрі є інтерпретацією асинхронної дискретної моделі з вищим рівнем деталізації опису операцій. В ній крім подій та зв'язків між ними додаються умови, необхідні для виконання операцій. Можливостям їх застосування для дослідження бізнес-процесів присвячено праці таких вчених як Д. Зайцев, В. Котов, В. Кузьмук, С. Рябухін, Т. Aized, W.M.P. Aalst, К. Jensen, Т. Murata, J.L. Peterson, W. Reisig J. Wang.

Методи аналізування бізнес-процесів як асинхронних дискретних систем з деталізацією їх опису за допомогою мереж Петрі обрано в дисертації як одні з найбільш ефективних, що забезпечують якісне вивчення та застосування для проектування, структуризації, реструктуризації бізнес-процесів на підприємствах. Це зумовило вибір теми дисертаційної роботи, її мети та завдань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка»: «Інвестиційно-інноваційне забезпечення розвитку національного господарства та його суб'єктів в умовах дослідження моделі глобалізації» (номер державної реєстрації ДР 0115U006723), де автором розроблено моделі простих мереж Петрі для дослідження особливостей використання ресурсів на підприємствах з обсягом ресурсів меншим від потреб при одночасному завантаженні роботою всіх процесів (акт від 30.10.2017р.).

Матеріали дисертації використані також при виконанні науково-дослідної роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка»: «Формування системи управління діяльністю організації на засадах врахування інтересів стейкхолдерів» (номер державної реєстрації ДР 0115U006724), де автором розроблено моделі мереж Петрі вищого порядку (часові та кольорові) та розвинуто можливості їх застосування для дослідження систем масового обслуговування з однолінійними та багатолінійними чергами, з наявністю як універсальних так і різнопрофільних виконавців (акт від 30.10.2017р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення теоретичних та прикладних засад побудови інструментальних засобів для впровадження процесного підходу на етапах проектування, структуризації та реструктуризації бізнес-процесів підприємств. Для досягнення зазначеної мети у роботі встановлено та розв'язано такі завдання:

- обґрунтувати застосування інструментальних засобів для забезпечення процесного підходу у дослідженні структури та закономірностей функціонування бізнес-процесів, виділити найбільш ефективні серед них для їх подальшого розвитку та вдосконалення;

- розвинути змістове наповнення методів, що застосовуються для опису структури та дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів на підприємствах як асинхронних дискретних систем;

- удосконалити методи структуризації та реструктуризації бізнес-процесів підприємств на основі аналізування їх виробничих операцій;

- побудувати прості мережі Петрі як моделі бізнес-процесів з обмеженим обсягом ресурсів, з використання складських приміщень, з циклічними чергами;

- розробити мережі Петрі вищого порядку (часові та кольорові) як моделі систем масового обслуговування, в тому числі сервісних центрів з однолінійними та багатолінійними чергами, з одним і багатьма джерелами

замовлень, з одним та багатьма одно- та різнопрофільними виконавцями; визначити показники їх ефективності.

Об'єктом дослідження є формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств.

Предметом дослідження є методи, моделі та інструментарій для формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених завдань у дисертаційній роботі використано такі методи наукових досліджень:

- *систематизації, порівняння та узагальнення* – для уточнення сутності і значення процесного підходу до управління підприємством (п.1.1, п.1.2, п.1.3);

- *системний підхід* – методи аналізування та синтезування, економіко-математичне моделювання – для формування методичних засад побудови асинхронних дискретних систем (п.2.1) та мереж Петрі (п.2.2);

- *методи теорії множин, методи теорії графів, кластерний аналіз* - для побудови моделей бізнес-процесів як асинхронних дискретних систем (п. 3.1);

- *прості мережі Петрі* – для побудови моделей бізнес-процесів з використанням ресурсів складських приміщень; з циклічними чергами; з обмеженою кількістю виробничих ресурсів (п. 3.2);

- *мережі Петрі вищого порядку (часові та кольорові)* – для дослідження структур та закономірностей функціонування бізнес-процесів масового обслуговування різних типів (п. 3.2).

Теоретичною, методологічною та інформаційною основою дисертаційної роботи є наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів, матеріали періодичних видань, огляди, результати експертних досліджень, виробнича документація вітчизняних підприємств, Інтернет-ресурси у сфері менеджменту та, зокрема, процесного підходу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

вперше:

- запропоновано метод структуризації та реструктуризації підприємства як асинхронної дискретної системи на основі ієрархічного кластерного аналізу бізнес-процесів, що дає змогу побудувати економічно обґрунтовану багаторівневу структуру підприємства. Розроблено моделі мереж Петрі вищого порядку (часові та кольорові) та розвинуто можливості їх застосування для дослідження систем масового обслуговування з багатолінійними чергами за наявності як однопрофільних, так і різнопрофільних виконавців;

удосконалено:

- модель бізнес-процесів підприємств у вигляді орієнтованого графу, що, на відміну від існуючих, дає можливість оцінювати завантаженості операцій та шляхів виготовлення продуктів, визначати шляхи перетворення вхідних продуктів, шляхи утворення кінцевих продуктів, критичні шляхи, циклічні операції; виявляти можливості розпаралелювання операцій;

- методи формування простору станів виробничої системи, що, на відміну від існуючих, дають змогу визначати всі ситуації, які утворюються, а також причини виникнення небажаних ситуацій в організації виробництва у системах збереження та використання ресурсів;

- моделі бізнес-процесів підприємств, що, на відміну від існуючих, побудовані на основі простих та вищого порядку (часових та кольорових) мереж Петрі, які дозволяють досліджувати особливості бізнес-процесів зі складськими приміщеннями, комплектування виробів, з недостатнім обсягом ресурсів для одночасного завантаження роботою всіх процесів, обслуговування клієнтів у випадку різнотипних замовлень;

набули подальшого розвитку:

- методи оцінювання продуктивності систем з чергами, що, на відміну від існуючих, використовують мережі Петрі вищого порядку, які забезпечують бажаний час очікування виконання замовлення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні методико-прикладного забезпечення для детального проектування, структуризації та реструктуризації бізнес-процесів на основі їх аналізу як асинхронних дискретних систем та простих і мереж Петрі вищого порядку, що дає змогу глибоко досліджувати особливості їх функціонування, будувати простори станів, вивчати причини утворення небажаних ситуацій при неякісній організації виробництва, визначати часові та інші характеристики. На основі розробленої методології проаналізовано структуру та вдосконалено виробничий процес відділу експортно-імпортних операцій департаменту логістики ТОВ «Нестле Україна» (довідка № 23/10-1 від 23.10.2017р.) та бізнес-процес виготовлення електродвигуна ДПС 80-12 на підприємстві ТзОВ «Завод Електропобутприлад» концерну «Електрон» (довідка №38/42 від 13.10. 2017р.).

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» і застосовуються під час викладання дисципліни «Економіка та управлінсько-правове забезпечення діяльності бізнесу» для студентів спеціальності 073 «Менеджмент» спеціалізації «Бізнес-адміністрування» (довідка № 67-01-1979 від 05.12.2017р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею. Усі наукові результати, викладені в дисертації, одержані автором особисто. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в роботі використано лише ті положення та ідеї, що становлять індивідуальний внесок автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації розглянуто та схвалено на таких міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях та семінарах: «Сучасні комп'ютерні технології в бізнесі та підприємстві» (м. Ірпінь, 2000 р.); «Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці» (м. Ірпінь, 2002 р.); IV міжнародна науково-практична конференція «Проблеми впровадження

інформаційних систем і технологій» (м. Ірпінь, 2003 р.); II-ий науковий семінар «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті», (с. Світязь, 2003 р.); V та VI Міжнародні науково-практичні конференції «Актуальні проблеми економіки» (м. Київ, 2011 та 2012 рр.); «Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств харчової промисловості» (м. Одеса, 2013 р.); «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами» (м. Харків, 2014 р.); IX Міжнародна науково-практична конференція «Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях» (м. Запоріжжя, 2014 р.); IX–XIII міжнародні наукові семінари «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подолання наслідків чорнобильської катастрофи» (с. Світязь, 2010-2017 рр.).

Публікації. Основні результати дисертації повністю відображено у 15-ти наукових працях, з них 1 монографія, 6 статей у наукових фахових виданнях України, з них 4 статті у виданнях, які включені до наукометричних баз даних; 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав; 6 матеріалів та тез доповідей на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях. Загальний обсяг публікацій – 4,6 друк. арк., з них особисто автору належить 4,2 друк. арк.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст роботи викладено на 170 сторінках. Робота містить 11 таблиць, 86 рисунків, список використаних джерел із 251 найменувань, 6 додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРІЯ ТА ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ

1.1. Сутність та значення процесного підходу до управління підприємством

Господарство України на сучасному етапі розвитку повинно мати можливість швидко адаптуватися до змін як внутрішніх потреб суспільства, так і до зовнішнього середовища. Необхідним є інноваційний розвиток виробничих систем та постійне вдосконалення систем управління. Одним з ефективних підходів для вирішення проблем управління підприємством є процесний підхід. На основі даного підходу є можливість створювати та розвивати засоби, які дозволяють ефективно проектувати нові та реструктуризувати існуючі підприємства.

Переважаюча частина сучасних підприємств мають такі особливості: висока технологічна складність, різноманітна природа окремих бізнес-процесів, багатоетапність, широкий набір обладнання з сучасними верстатами та роботами, наповненими складними програмними засобами, наявність висококваліфікованого персоналу тощо. Це вимагає різних підходів до їх управління. Основні з них є такими: структурний (системний), ситуаційний та процесний (Кузьмін та Мельник, 2003, 2007). В першому підході основна увага приділяється структурі підприємства, яке утворене набором взаємозв'язаних елементів, включаючи персонал, технології та завдання, що поставлі перед підприємством.

При використанні ситуаційного підходу конкретні методи управління вибираються в залежності від ситуації, яка склалася при розв'язуванні конкретної задачі на підприємстві. Оскільки не існує «найкращого» єдиного методу для всіх випадків, метод управління адаптується до ситуації, як внутрішньої так і зовнішньої.

Структурний підхід був протягом тривалого часу та залишається до сьогоднішнього дня для багатьох підприємств, зокрема державного управління, основним принципом організації їх діяльності. Організаційна будова підприємств має різноманітну структуру: лінійну, матричну, ієрархічну, функціональну та інші. Найбільш поширеними структурними елементами виступають: правління, генеральний директор, директори за напрямками, їх заступники, відділення, відділи, департаменти, цехи, групи за напрямками виконуваних функцій тощо.

Зміна виробничої діяльності, а саме поява нових завдань, не змінює прийнятої структури. Тобто, нові бізнес-процеси «пакують» в існуючу структуру. Організаційна структура підприємства та його штат не змінюється. Часто технологічні процеси, які є сильно пов'язані між собою, необхідно дробити та віддавати в різні відділи, що є неефективним для належного управління. Окремим підрозділам видаються завдання, які не були властиві для їх минулого досвіду. Одного разу створена організаційна структура підприємства може бути недоцільною для нових завдань. Важко ефективно поділити ці завдання між існуючими підрозділами, адаптувати їх до існуючої структури. Для ефективно організації нового виробництва кращим є створення нової організаційної структури, ніж штучне «пакування» окремих бізнес-процесів в існуючу структуру. Необхідною є реорганізація структури таким чином, щоб вона найкраще відповідала новим потребам.

Для процесного підходу такі недоліки або взагалі є відсутніми, або суттєво ослабленими, вони легко піддаються виявленню, аналізу причин їх виникнення та усуненню. Вивченню процесного підходу до діяльності підприємств присвятили багато праць як вітчизняні, так і зарубіжні вчені, зокрема Альберт М., Бабець Е.К., Бондар Н. М., Бойчук І.М., Брю С.П., Василенко В.О., Виханський О.С., Друккер П., Євдокімова Н.М., Гаммер М., Кірієнко А.В., Кузьмін О.Є., Макконелл К.Р., Мельник В.М., Мескон М.Х., Осовська Г.В., Осовський О. А., Піча Ю.В., Портер М., Файоль Г., Хедоури Ф., Чампи Дж. та інші.

Мескон М. Х. (Мескон, Альберт та Хедоури, 1997) дає таке визначення процесного підходу: "Процесний підхід до управління базується на концепції, згідно з якою управління є безперервною серією взаємопов'язаних дій або функцій". Автором принципів процесного підходу є Файоль Г. (Fayol, 1979), який писав: "Керувати означає проорокувати і планувати, організовувати, розпоряджатися, координувати і контролювати". Постачальники ресурсів, споживачі виробленої продукції, виробничі операції, що забезпечують виготовлення кінцевого продукту, та система управління розглядаються в процесному підході як єдине ціле.

Вдосконалення всіх виробничих операцій, їх оптимізація, взаємне погодження між собою є найважливішою особливістю процесного підходу. «Не товари, а процеси, які їх створюють, приносять компаніям довготривалий успіх» - так стверджують Michael Hammer та James Champy (Hammer та Champy, 1993).

Процесний підхід є орієнтованим не на організаційну структуру підприємства, а на бізнес-процеси, основна ціль яких є виготовлення конкретних продуктів або послуг, що відповідають конкретним потребам суспільства, тобто мають цінність для споживачів в даний момент часу. Управління підприємством є серією таких взаємопов'язаних функцій: планування, організації, мотивації, координації, контролю, комунікації та прийняття рішень. При процесному підході діяльність підприємства розглядається як система взаємодіючих процесів, що має множину вхідних ресурсів (сировина), які забезпечуються постачальниками; внутрішніх ресурсів, що є наявними на підприємстві або додатково залучені для виготовлення конкретного продукту (персонал, обладнання) та вихідних продуктів.

Процесний підхід передбачає перехід на «Lean production» (бережливе виробництво), яке є економним, раціоналізованим виробництвом, що поєднує кращих спеціалістів, матеріали, обладнання та системи. В такому підході замовник є завжди «поруч», тобто часто приймає безпосередню участь в

управлінні чи постійно консультує, який саме кінцевий продукт та якої якості його цікавить. Субпідрядники також часто приймають участь у виробництві продукції, само виробництво та відповідальність є чітко розподіленими.

Основними рисами та перевагами процесного підходу є (Кузьмін та Мельник, 2003, 2007; Чернобай та Дума, 2011, 2014; Гвоздь та Мицько, 2014; Пономаренко, Мінухін та Знахур, 2013):

1. Зменшення кількості рівнів прийняття рішень.
2. Делегування повноважень та відповідальності конкретним виконавцям.
3. Розмежування діяльності підприємства на дві групи процесів: систему «постачальників» та «споживачів», а саме:
4. «Постачальники» - це вхідні ресурси та дані, обладнання та методики виконання робіт; включаючи послідовність дій для виготовлення продукції або надання послуг;
5. «Споживачі» - це ті (те), хто (що) використовує вихідну продукцію, яка, з однієї сторони повинна відповідати технологічному процесу її виготовлення, та з другої – вимогам замовника.
6. Поєднання принципу цільового управління з груповою організацією праці.
7. Широке застосування у різних сферах людської діяльності, що виявляє причинно-наслідкові зв'язки появи небажаних ситуацій на виробництві та шляхи їх усунення.
8. Підвищення уваги до забезпечення такої якості продукції, яка відповідає бажанням конкретних споживачів.
9. Вагоме використання інформаційних технологій в управлінні.
10. Автоматизація технологічного процесу виконання бізнес-операцій.

Керівники підприємств повинні чітко формалізувати всі бізнес-операції, їх взаємну організацію та взаємодію в єдиній системі, що суттєво знизить небажані результати виробництва кінцевого продукту. Така деталізація бізнес-процесу суттєво спрощує створення математичного та програмного забезпечення для автоматизованого керування процесом,

забезпечуючи бажані показники якості. На основі процесного підходу структура підприємства може бути оптимізованою з використанням сучасних математичних методів.

Процесний підхід є одним із елементів стандарту ISO 9000 (ISO 9000. https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_9000), який визначає 8 основних принципів системи менеджменту якості, на яких він базується:

- орієнтація на споживача;
- лідерство та роль керівництва;
- залучення персоналу підприємства;
- процесний підхід;
- системний підхід;
- постійне вдосконалення;
- прийняття рішень, що базуються на фактах;
- взаємовигідні відношення з постачальниками.

На сьогодні процесний підхід знайшов широке поширення в управлінні підприємством. Він замінив структурний, функціональний та інші підходи. Управління процесами здійснюється на основі циклу Деминга Plan-Do-Check-Act (PDCA. <https://en.wikipedia.org/wiki/PDCA>). Об'єктом управління тут є бізнес-процес. Процесний підхід дозволяє здійснити вагомі системні зміни в організації діяльності підприємств, зокрема в структурі підприємства в залежності від типу продукції, яка повинна бути виготовленою. Тобто, структура підприємства адаптується до кінцевого продукту, вона не є сталою. Необхідно чітко визначити, якими є стратегічні цілі організації, хто є споживачами продукції та адаптувати виробництво до потреб споживача. Метою є радикальні зміни в структурі організації, а не незначні приросткові зміни. Така радикальна модель була запропонована Michael Hammer та James Champy в книзі «Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution» (Hammer та Champy, 1993). Автори стверджують, що процесний підхід не передбачає незначних часткових змін, наприклад на 10% чи 20%, а повинен бути суттєвим (революційним, breakthrough solution). Багато

підприємств в 1990-х роках використовували термін "реінжиніринг" як засіб для незначних покращень, не робили радикальних змін у своїх бізнес-процесах, що призводило до провалів у їх діяльності. Проте окремі підприємства тим не менше вважали реінжиніринг цінним інструментом у процесі поступової зміни в управлінні. Підприємство є мережею взаємопов'язаних та взаємодіючих бізнес-процесів. При проектування нового та реструктуризації існуючого підприємства потрібно виявити всі бізнес-процеси, необхідні для створення кінцевого продукту, детально їх описати, визначити їх мету та показники ефективності, визначити ресурси, необхідні для їх реалізації, кінцевих споживачів, для яких вони виробляються, а також засоби керування ними.. Управління – це також процес, утворений групою послідовних операцій. Цей процес включає групу взаємопов'язаних функцій: планування, організування, мотивування та контролювання.

За допомогою планування відбувається взаємодія колективу та наявного інструментарію для досягнення поставленої мети. Планування повинно здійснюватися неперервно; після досягнення однієї мети у більшості випадків організація ставить перед собою наступну мету, досягнення якої потребує свого планування. Часто поставлені задачі є настільки складними, що скласти чіткий план є неможливо, або змінюються як внутрішні так і зовнішні умови, що потребує коригування початкових планів. Тобто, планування необхідно розглядати як динамічний процес.

Організування підприємства передбачає створення певної структури, яка забезпечує розв'язання поставленої задачі. Потрібно визначити, яким чином буде виконана кожна бізнес-операція, склад персоналу, обладнання, матеріальне забезпечення та чітко описати, яким має бути кінцевий продукт кожної операції. Функції мотивування полягають в тому, щоб елементи виконавчої структури чітко знали свої завдання та виконували їх вчасно, забезпечуючи потрібну якість. В процесі виконання роботи можливими є певні відхилення від поставленої мети, наприклад, утворення бракованої продукції. Тут необхідним є контролювання, яке виявляє такі ситуації і

дозволяє коригувати бізнес-процес. Всі виділені функції управління – планування, організування, мотивування та контролювання - мають спільні риси: вимагають прийняття рішень, для чого необхідною є комунікація, обмін інформацією (Кузьмін та Мельник, 2003, 2009; Кузьмін, Чернобай та Романко, 2011; Кузьмін, Мельник та Петришин, 2009; Кузьмін та ін., 2006, 2011). Ці риси взаємно пов'язують виділені чотири функції управління, забезпечуючи їх взаємозв'язок; їх необхідно розглядати разом. Для прийняття правильних рішень керівник повинен вміти їх вибирати з множини альтернативних рішень. Прийняття рішення – це вибір того, як правильно планувати, мотивувати та контролювати. Для цього керівник повинен отримувати точну та адекватну інформацію, для чого потрібною є комунікація. Комунікація забезпечує обмін інформацією, тому його якість є особливо важливою для ефективного функціонування підприємства, включаючи контролювання. Керівники чи автоматизована система постійно потребують мати інформацію про хід виконання поставленого завдання, щоб вчасно його коригувати.

Для опису бізнес-процесів існує ряд формалізованих нотацій з відповідним програмним забезпеченням, проте вибір конкретного з них не є простим для менеджерів підприємств. Крім того, моделі, які вони використовують, потребують подальшого вдосконалення. Для розв'язання існуючих проблем потрібна глибока деталізація бізнес-процесів з математичною формалізацією, що створить умови для ефективного використання існуючого інструментарію з використанням широкого набору оптимізаційних методів. Розвиток та вдосконалення існуючих програмно-інформаційних систем управління підприємством дає змогу керувати бізнес-процесами, їх моніторити та швидко адаптувати до змін. Тому необхідно розвивати теоретичні основи процесного підходу управління підприємством, конкретизувати зміст та вдосконалювати його методику.

1.2. Засоби моделювання бізнес-процесів з використанням програмно-інформаційних систем

Зовнішнє середовище постійно змінюється, структура підприємства також не є сталою. Необхідно мати засоби та інструментарій, в тому числі ефективні програмно-інформаційні системи, які дозволяють змінювати структуру підприємства, адаптуючи її до нових умов та вимог. Одноразова зміна структури є малоефективною, її потрібно змінювати часто та швидко. На сьогодні вже багато програмних систем створено, проте здебільшого вони розв'язують часткові задачі, поєднання яких в один проект є проблематичним. Інтеграція у виробництво таких засобів є дуже складним, трудомістким та тривалим завданням (Минухин, 2006; Михайловська, 2006, 2008; Пономаренко та ін., 2013; Репин та Елифаров, 2008; Чайковська, 2006; Кузьмін та ін., 2011; Корінько та Тітаренко, 2009; Калянов, 2003, 2004, 2006; Каменнова та ін., 2001; Алексеєва, Алексеєв та Кузьмін, 2010; Войнов, Пудовкин та Телегин, 2002; Григор'єв, 2015; Жовтанецький та Твердохліб, 2009; Корінько та Тітаренко, 2009; Лутицька, 2011; Матвійчук-Соскіна, 2009; Минухин, 2006; Слепцов та Юрасов, 1986; Шеер, 2000а, 2000б; Шпак, 2006).

Не для всіх компонент підприємств створено належне алгоритмічне та програмне забезпечення. Формалізація функціонування підприємств є копіткою задачею, яка потребує одночасного залучення економістів, керівників, технологів, математиків, програмістів. Будь-які кроки, спрямовані в напрямку розроблення кращих моделей, здатних розв'язувати ці задачі, є актуальними. Формалізація задач управління на підприємствах часто існує виключно на рівні посадових інструкцій та регламенту процесу, яких необхідно дотримуватись, проте ці документи є недостатніми для створення якісного програмного забезпечення. При внесенні будь-яких змін до цих документів необхідно повідомити і навчити співробітників новому способу ведення справ. Для більш якісного виконання бізнес-процесу потрібно

призначати завдання персоналу в автоматичному режимі з використанням програмно-апаратних засобів відповідно до існуючої схеми бізнес-процесу.

Перешкодою на шляху динамічних змін бізнес-процесів підприємства є також їх різне розуміння аналітиками і програмістами, відповідальними за впровадження автоматизованих засобів управління. Відповідно це веде до неадекватної реалізації бізнес-процесів. У зв'язку з цим виникла потреба у створенні таких систем, які дозволяють вирішувати зазначені проблеми і коригувати існуючі процеси в необхідному темпі. Так, на рубежі XX і XXI ст. з'явилися концепція і технологія Business Process Management (BPM) - управління бізнес-процесами (Business_process_modeling. http://en.wikipedia.org/wiki/Business_Process_Modeling.1995). Якщо внутрішні (локальні) системи управління підрозділами підтримують їх роботу в рамках функціонального підходу, то BPM-система є інструментарієм процесного управління, який за мірою виконання бізнес-процесу відповідно до його моделі доручає потрібні функції відповідному підрозділу або прикладній системі, яка автоматизує його роботу. Тобто, з точки зору BPM, розроблення бізнес-процесу полягає не лише у створенні його моделі, а й у конструюванні інтерфейсів до його функцій, тоді виконання бізнес-процесу такою системою полягає в автоматизованому роздаванні завдань співробітникам і програмам. Впровадження нової технології BPM вимагає застосування науково-обгрунтованого підходу та методів, які дозволили б максимально використовувати накопичений на підприємстві досвід з опису та управління бізнес-процесами. Впровадження рішення на основі BPM-системи дозволить підприємству отримати додаткову конкурентну перевагу.

На сьогодні існує складність в переході на новий рівень в процесному управлінні підприємством на основі систем Business Process Management System та інших. Труднощі властиві як підприємствам, які раніше детально не описували свої бізнес-процеси, так і досить зрілим організаціям з чітко визначеним регламентом всіх процесів. Невід'ємною частиною такого переходу є розробка стандартних нотацій бізнес-процесів в BPM-системі.

Група BPMI (Business Process Modeling Initiative) розробила стандарт BPMN (Business Process Modeling Notation) (Rosing Mark von, White Stephen and Cummins Fred, 2009), який рекомендується використовувати всім розробникам бізнес-процесів і їх користувачам. Це усуває розрив між проєктантами бізнес-процесів та користувачами та сприяє використанню мови XML, розробленої для створення веб-сервісів в бізнес-процесах. Метою розроблення BPMN було уніфікувати позначення в різних мовах, що використовуються для опису бізнес-процесів. Це забезпечує прості засоби для спілкування між розробниками та користувачами бізнес-процесів.

Відомими мовами моделювання бізнес-процесів є UML, ARIS, IDEF (IDEF0, IDEF3), BPMN. Приклади інших нотацій є в мовах UML Activity Diagram, UML EDOC Business Processes, IDEF, ebXML BPSS, Activity-Decision Flow (ADF) Diagram, RosettaNet, LOVeM, Event-Process Chains.

Окремо слід виділити такі типи моделювання:

- моделювання бізнес-процесів (Business Process Modeling);
- моделювання потоків робіт (Work Flow Modeling);
- моделювання потоків даних (Data Flow Modeling).

Поширеною методологією опису бізнес-процесів є стандарт IDEF (Integrated DEFinition for Process Description Capture) - методології сімейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), за допомогою якої можна ефективно відобразити і аналізувати моделі діяльності широкого спектру складних систем. До стандарту входять (<https://en.wikipedia.org/wiki/IDEF>):

- IDEF0 - функціональне моделювання;
- IDEF1 - моделювання інформаційних потоків;
- IDEF1X (IDEF1 Extended) - побудова реляційних структур;
- IDEF2 - динамічне моделювання розвитку систем;
- IDEF3 - документування процесів;
- IDEF4 - побудова об'єктно-орієнтованих систем;
- IDEF5 - дослідження складних систем.

Слід відзначити також методологію SADT (Structured Analysis and Design Technique) - метод структурного аналізу і проектування – яка складає основу багатьох сучасних методологій моделювання бізнес-процесів (https://en.wikipedia.org/wiki/Structured_analysis_and_design_technique).

Моделювання бізнес-процесів включає два етапи: структурне і детальне. Воно дозволяє проаналізувати не тільки роботу підприємства в цілому, взаємодію із зовнішніми організаціями, замовниками та постачальниками, але і як організована діяльність на кожному робочому місці.

Розглянемо можливості найбільш поширених інформаційно-програмних засобів для моделювання бізнес-процесів: Protos, ARIS, FLOWer, FileNet, ARENA, CPN (Jansen-Vullers та Netjes, 2006). В табл. 1.1 наведено порівняння цих систем. Наявність добрих можливостей позначена значком ++, середніх можливостей - значком +, можливостей з відсутністю деяких важливих можливостей - значком +/-, відсутність добрих можливостей значком -, повна відсутність можливостей відповідно як --.

Таблиця 1.1

Порівняння можливостей засобів проектування бізнес-процесів (Jansen-Vullers та Netjes, 2006).

Властивості системи	Protos	Aris	FLOWERs	FileNet	Arena	CPN
Простота побудови моделей	++	+	+	+	+	--
Формальна семантика та верифікація	+	-	--	--	+/-	++
Виробничі потоки	+	-	+	+/-	+	+
Відображення джерел та даних	+	++	++	+/-	+	+/-
Рівні деталізації	++	++	++	+	++	--

Система Protos є простою для опису бізнес-процесів, відображення виробничих потоків, опрацювання ресурсів та має глибокий рівень деталізації. Вона базується на мережах Петрі, в ній легко будувати такі структури з наступним їх використанням для детального аналізу функціонування підприємств.

На сучасному етапі однією з поширених є система ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), (ARIS), яка підтримує такі типи моделей (Structured analysis and design technique):

- організаційні моделі для відображення структури системи;
- функціональні моделі;
- інформаційні моделі.

Система ARIS - це комплекс засобів аналізу і моделювання діяльності підприємства. Її методичну основу становить сукупність різних методів моделювання, що відображають різні погляди на досліджувану систему. Система ARIS побудована на інших ніж Protos принципах, в ній використовуються підходи на основі ланцюгів, керованих потоком подій (Even-driven Process Chains). Це професійний інструмент для динамічного аналізу процесів. Семантика тут не є достатньо чіткою, що може призвести до непередбачуваної поведінки при описі деяких логічних структур, зокрема (X)OR. Є можливість опису ієрархічних структур. Неформальна мова системи може створювати незручності при використанні деяких шаблонів опису виробничих потоків.

Система FLOWer має можливість описувати винятки, та керувати порядком дослідження. Вона підтримує більшість шаблонів опису бізнес-процесів, керується даними та бізнес-процеси можуть бути описані кількома рівнями деталізації. Відсутньою є формальна семантика та можливості верифікації коректності.

Система FileNet використовує прості засоби графічного опису моделей процесу без формальної семантики та можливостей верифікації. Користувач

може будувати бізнес-процес без особливих труднощів. Проте, деталізовані складні робочі процеси та ресурси важко описати в цій системі.

В системі ARENA моделі створюються дуже просто, проте як і для системи FileNet їх глибока деталізація є важкою. Є можливість створювати часткові моделі, багато деталей заховано у властивостях ікон. При створенні моделей необхідними є добрі знання про всі вбудовані структури та їх детальна специфікація. Підтримуються шаблони для управління потоками, проте більш складні шаблони потребують інших засобів опису.

Система CPN (Colored Petry Nets) є інструментарієм для дослідження структур та особливостей функціонування підприємств з використанням кольорових мереж Петрі. Вона має розвинуту формальну семантику, придатна для опису складних моделей, вимагає глибокої деталізації бізнес-процесів. Система створює часовий опис бізнес-процесів, що у багатьох випадках їх проектування є дуже важливим. Система має найкращу формальну семантику та можливості верифікації, є дуже потужною, має багаті можливості для опису та дослідження бізнес-процесів. Проте вона є більш складною для користувачів, ніж неформальні мови, вимагає додаткових затрат на її вивчення.

Як бачимо з табл.1.1 найкращі можливості для моделювання бізнес-процесів має система Protos, що базується на мережах Петрі. Добрі можливості має система CPN, що також використовує мережі Петрі, її недолік у відсутності рівнів деталізації можна усунути використанням ієрархічних структур, як це показано в (Jensen, 1997, 1998; Jensen та Kristensen, 2009; Jensen K. та Rozenberg, 1991; Jensen, Kristensen та Wells, 2007).

Слід відзначити, що більшість існуючих нотацій, які використовуються в інформаційно-програмних системах для моделювання бізнес-процесів не мають достатньої глибини деталізації, яка б дозволила застосовувати сучасний математичний апарат для оптимізації бізнес-процесів та виробництва в цілому. Для реалізації цих методів необхідною є деталізація

опису бізнес-процесів на найглибшому рівні, що дозволить досліджувати закономірності їх функціонування та вдосконалювати структуру. Такі можливості мають системи, що використовують мову мереж Петрі як простих, так і вищого порядку: часових та кольорових. До переваг такого підходу відносять: підвищення якості виробництва продукції з одночасним зниженням витрат; зростання професіоналізму співробітників; підвищення конкурентоспроможності підприємства.

1.3. Підприємство як асинхронна дискретна система та мережі Петрі як ефективні засоби для моделювання бізнес-процесів

Процесний підхід – це одна із форм системного підходу, в якій всі бізнес-операції підприємства розглядаються як єдина система взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів. Для опису таких систем запропоновано *макромодель* (Варшавский, 1986), яка може мати різні інтерпретації та може бути використана для широкого кола реальних систем, в тому числі і бізнес-процесів підприємств. Цю модель названо *асинхронною дискретною системою*. Реалізація конкретних можливостей визначається структурою системи та чинниками зовнішнього середовища. На першому етапі описом докільця можна знехтувати, його врахування є доцільним при збільшенні кількості параметрів, що визначають хід процесу. Зовнішні елементи можна додати до компонентів системи і розглядати як єдине ціле.

В асинхронних дискретних системах виділяють три множини складових елементів: *ініціатори*, *операції* та *результанти*. При описі бізнес-процесів *ініціатори* відповідають постачальникам, що забезпечують підприємство вхідною сировиною та інформацією, необхідною для управління процесом виготовлення кінцевої продукції; *операції* відповідають одиничним процесам внутрішнього перетворення продукції, вони є взаємозв'язаними, утворюючи мережу у вигляді орієнтованого графу з наявністю циклів (повторення певних операцій для забезпечення належної якості проміжних продуктів, що

потребує присутності елементів контролю їх якості); *результанти* відповідають кінцевим продуктам, утвореним системою з можливістю вказування їх споживачів.

Одним із чинників, які визначають ефективність підприємства, є його структура. Для якісного проектування та вдосконалення підприємства на основі процесного підходу необхідним є інструментарій, що дає змогу детально на найнижчому рівні з використанням математичного апарату аналізувати його структуру, виявляти основні властивості, в тому числі, недоліки та давати рекомендації для оптимізації, зокрема реструктуризації. Тут необхідно використовувати відповідні математичні моделі, які адекватно відображають структуру підприємства, його бізнес-процеси та виявляють закономірності їх функціонування. Такі підходи можуть бути застосовані для реструктуризації нових та реструктуризації існуючих підприємств, їх складових та слугитимуть основою для створення відповідного математичного забезпечення та програмного інструментарію, за допомогою якого реалізуються оптимізаційні заходи.

Бізнес-процес підприємства мають всі властивості асинхронних дискретних систем, а саме:

1. *Дискретність*. Наявність скінченного числа компонент, кожна з яких має скінчене число станів.
2. Наявність у процесів та їх складових явно виражених *фаз*. Протягом фаз відбувається зміна станів. Після завершення зміни одного стану відбувається перехід до наступного стану.
3. Видавання інформації про *завершення* кожної фази процесу. Після виконання кожної фази утворюється інформація про її завершення, що служить необхідною умовою переходу до наступної фази, яка споживає вироблений у попередній фазі продукт (інформацію).
4. *Наявність переходів*. Переходи є необхідними для перенесення результатів роботи однієї операції до інших, а також передавання

вхідних продуктів чи інформації (наприклад, з джерел постачання чи баз даних), або вихідних (кінцевих) продуктів джерелам їх споживання.

5. *Погодженість*. Кожна фаза може розпочати свою роботу тільки за умов завершення всіх попередніх фаз, продукти яких використовуються для її реалізації, тобто при наявності всіх необхідних для її виконання вхідних продуктів та інформації.
6. *Паралельність*. Можливість одночасного виконання декількох фаз, які є незалежними.
7. *Асинхронність*. Відсутність тактування, що задається синхронізуючим пристроєм, і обмеження на тривалість виконання кожної операції та переходу з однієї фази в іншу.

Важливою перевагою дослідження бізнес-процесів як дискретних систем є можливість використання розвинутого апарату опису сучасних інформаційних систем, який створює ефективні умови для їх оптимізації, що необхідно при їх інженерії та реінженерії, в тому числі мінімізації виробничих затрат, часу бізнес-процесів, їх декомпозиції, виявлення «вузьких» місць, розпаралелювання операцій та розв'язування інших завдань. Подією в дискретному процесі є «перехід» - зміна стану системи. Для побудови моделей таких систем важливими є засоби, що задають систему відношень між подіями, які визначають системний час – внутрішній годинник.

До перших робіт, що деталізують відношення між подіями в дискретних системах, слід віднести публікацію Muller'a D.E. (Muller, 1963), де запропонована модель, яку назвали діаграмою переходів. У 1964 р. Петрі запропонував мережу, яка дозволяє описувати потоки дискретних подій інваріантно до їх тривалості (Peterson, 1981; Рябухин, 2013). Обидві моделі мають як переваги так і недоліки, хоча мережам Петрі присвячено значно більше уваги, вони отримали широке використання для дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів різноманітного призначення.

Мережа Петрі – це розширення асинхронної дискретної моделі, її деталізація. В ній крім подій та зв'язків між ними додаються умови, необхідні для виконання операції, та результати, що виникають внаслідок її реалізації, що служать умовами для виконання наступних операцій. Усунувши з мережі Петрі умови, буде утворена асинхронна дискретна модель. Можливим є сумісне використання як асинхронної дискретної моделі, так і апарату мереж Петрі. Кожна з цих моделей відображає певні специфічні особливості діяльності підприємства. Мережі Петрі є одним із найбільш поширених та ефективних засобів для дослідження особливостей функціонування підприємств та окремих бізнес-процесів.

Мережі Петрі детально описують бізнес-процеси, створюють належні умови для їх дослідження, проектування та вдосконалення. Можливостям їх застосування для цієї мети присвячено ряд робіт як вітчизняних так і зарубіжних вчених (Зайцев, 2004, 2006; Зайцев та Слепцов, 1997; Зайцев та Шмельова, 2004; Котов, 1984; Кузьмук, 1990, 2011; Парнюк та Супруненко, 2011; Рябухин, 2013; Aalst, 1997 - 2010; Aized, 2010; Hack, 1972; Jensen, Kristensen та Wells, 2007; Jensen та Rozenberg, 1991; Jensen, 1997; Meng Chu Zhou та Kurapati Venkatesh, 1998; Murata, 1989; Silva та Valette Robert, 1989; Jensen та Kristensen 2007; Peterson, 1981; Reisig, 1985; René та Hassane, 2010; Wang, 1998; Watanuki та Murata, 2002; Zuberek, W.M., 1991 - 2010). Розглянемо ці можливості. В (Bozek, 2011, 2012; Božek та Żabiński, 2010) описано використання часових кольорових мереж Петрі для імітації, моделювання та планування виробничих систем. Відзначено необхідність розроблення сценарію “what-if” (“що-якщо”), визначення часових характеристик, наявності ресурсів та їх обмеження, складання графіків завантаження виробничих ресурсів, черговість їх використання та інших характеристик. Для цієї мети запропоновано використати ієрархічні кольорові часові мережі Петрі, запропоновані в (Jensen, 1997, 1998; Jensen та Rozenberg, 1991; Zubarek, 2010; Jensen, Kristensen і Wells, 2007; Jensen та Kristensen, 2007). Саме такий підхід було розвинуто завдяки їх широким

можливостям та гнучкості. Мітки в мережах Петрі вищого порядку дозволяють «нести» інформацію, що описує складний набір даних, включаючи параметри вхідних ресурсів довільного типу, проміжних перетворень та вихідної продукції, а також час всіх перетворень у виробничій системі. Багаторівнева структура дозволяє розбити систему на ієрархічно вкладені підсистеми. Розроблені один раз взірці окремих виробничих елементів та вузлів можуть бути параметризовані для конкретних випадків та використовуватися багато раз відповідно до їх застосування. Наявність часових характеристик, які надаються міткам, дозволяють складати графіки виконання бізнес-процесів.

Існує багато варіантів формалізацій мереж Петрі. У перших варіантах, запропонованих Петрі (Котов, 1984; Питерсон, 1984; Reisig, 1985; Murata, 1989; Peterson, 1981; Reisig, 1985), які називають мережами низького порядку (low-level) або простими, використовуються три множини елементів: умови (місця), переходи (процеси) та дуги. Такі множини утворюють дводольний граф, перша множина вершин – це умови, друга – переходи, а третя - це дуги (спрямовані ребра), які діляться на дві підмножини: дуги, які ідуть від умов до переходів, та дуги, що ідуть від переходів до умов. Ці мережі недостатньо глибоко могли описувати дискретні асинхронні процеси, включаючи виробничі. Тому вони були розширені на мережі Петрі вищого порядку (high-level), що мають значно ширші можливості (Jensen, 1997, 1998; Jensen та Rozenberg, 1991; Jensen, Kristensen та Wells, 2007; Jensen та Kristensen, 2007; Bozek, 2011, 2012; Bozek та Zabiński, 2010). Зокрема, додані такі параметри: час реалізації процесів, кольори для умов та переходів, спеціальні типи дуг (дуги заборони), пріоритетні моменти початку переходів та їх закінчення (вікна функціонування), ієрархію та інші. Кольорові мережі Петрі, запропоновані в (Jensen та Kristensen, 2009; Jensen, Kristensen та Wells, 2007), мають такі особливості:

1. Розширений синтаксис та семантику, що робить їх зручним та гнучкими для опису та дослідження бізнес-процесів на підприємствах.

2. Можливість описувати складні бізнес-процеси.
3. Можливість виконувати арифметичні обчислення та опрацьовувати складні дані (CPN Tools Home Page), імітувати бізнес-процеси різноманітного призначення.

Надання забарвлення, параметрів часу та ієрархічних властивостей мережам Петрі дозволили утворити широкий та практичний для різноманітного використання клас ієрархічно часових-кольорових мереж Петрі ІЧКМП (HTCPN – Hierarchical Timed Colored Petri Net), (Huang та Zu, 2005). Ієрархічний опис забезпечується використанням модулів, які включаються у структури вищого рівня. Кожний модуль можна описати переходом, який називають вкладеним переходом. Це суттєво спрощує опис та розуміння системи, враховуючи, що число рівнів може бути великим.

На рис.1.1 наведено приклад мережі Петрі простої (a), часової (b) та кольорової і часової (c). На рис. 1.1a наведено мережу низького рівня, яка має 7 умов, 4 переходи та описує два бізнес-процеси А та В, що працюють паралельно. Процеси А та В виконують роботу, коли надходить замовлення з умови “jobs” та вони є готовими до виконання (наявність міток в умовах “ready”). Після завершення виконання роботи машини вивільнюються, і надходять мітки в умови “free”. На наступному кроці відбувається завантаження машин (процеси “setup”). Результати завершенної роботи поступають в умови “result”. Дуги та переходи вносять затримки у виконання операцій. Процес завантаження А вимагає 2 одиниць часу, процес В – відповідно 7 та обидва процеси затримуються на 1. Після цього мітка “ready А” отримує маркування $1'@2$ та мітка “ready В” маркування $1'@7$. Загальний час зростає на 2 та після цього виконується перехід “process А”. Умова “free А” отримує маркування $1'@3$ та умова “free В” маркування $1'@7$. Загальний час зростає на 3 одиниці, виконується перехід “setupА” і т.д. Фінальне маркування на рисунку вказує, що машина А виконала три роботи з закінченням в моменти 3, 6 та 9, а машина В – одну роботу, яка закінчилася в момент 8 (рис.1.1b).

Приклад кольорової мережі Петрі подано на рис. 1.1с. Кожна пара умов, які були окремими для процесів А та В, замінена однією умовою. Окремі процеси відрізняються своїми мітками (кольорами, які приймають значення А або В). Також відповідними мітками позначаються дуги.

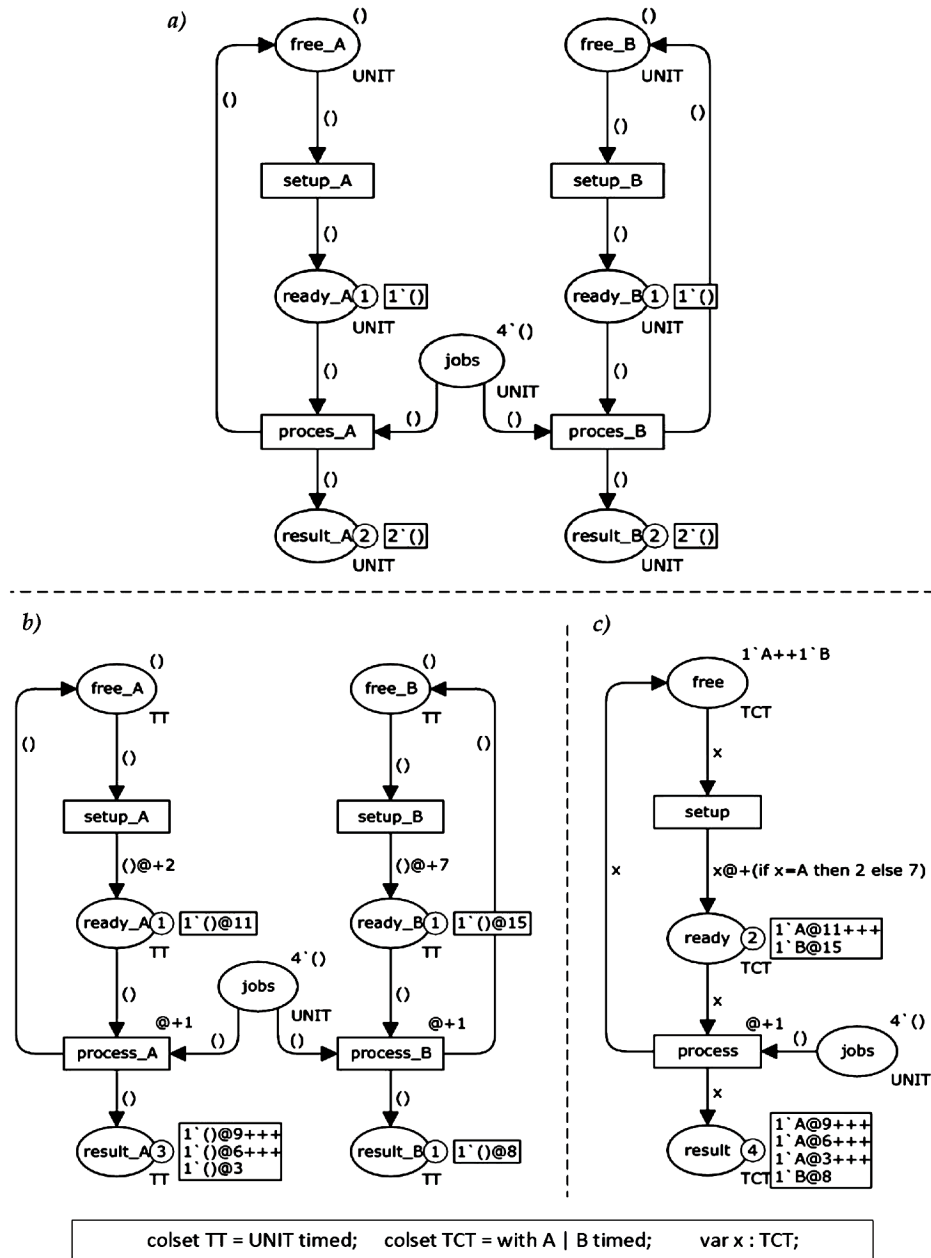


Рис. 1.1. Приклади мережі Петрі простої (a), часової (b) та кольорової і часової (c) (Bozek, 2012).

В праці (Bozek, 2011) описуються мережі Петрі для виробництв, в яких необхідною є синхронізація та організація черг. На рис. 1.2 зображено два процеси, які використовують послуги одного постачальника. Обидва процеси повинні виконати дві операції: а та b, причому спочатку обидві операції повинні виконати перший процес, і тільки після їх завершення – другий. У другому випадку (рис. 1.3) операція а виконується першою для довільного одного процесу, після чого вона може повторитися для другого процесу, і далі буде виконана операція b. Проте, операція b може відбутися тільки після виконання операції а.

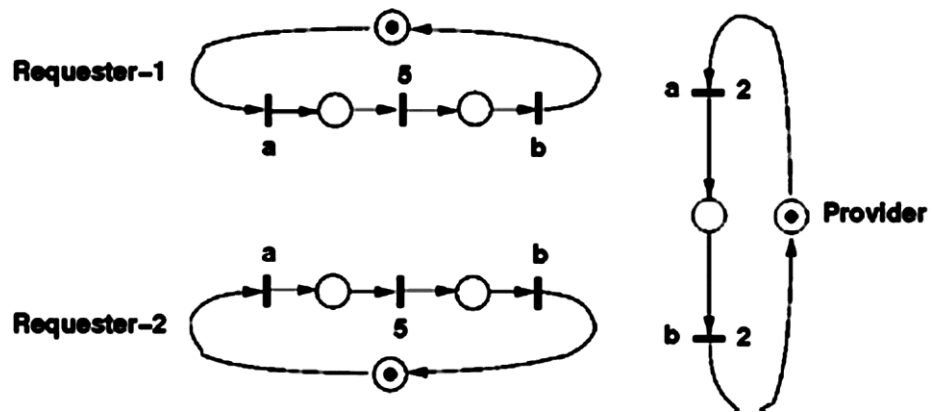


Рис. 1.2. Послідовне виконання операцій (Bozek, 2011).

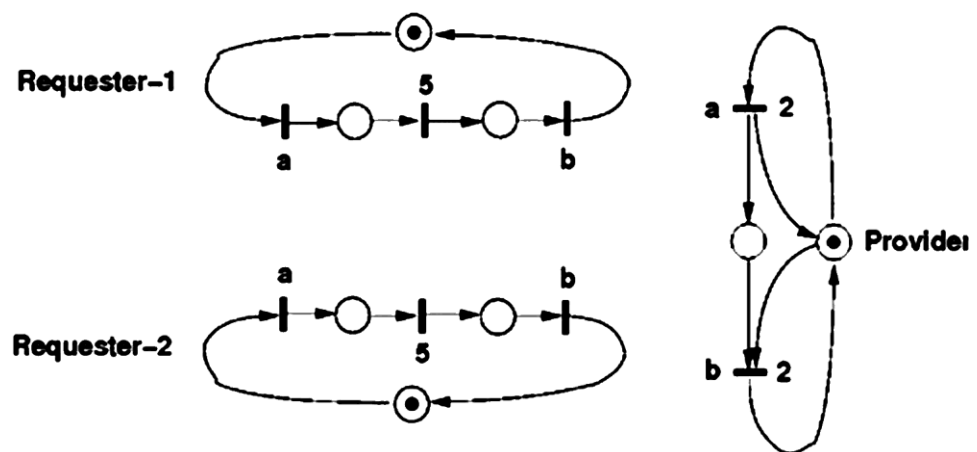


Рис. 1.3. Довільна послідовність виконання операцій (Bozek, 2011).

Особливості побудови мереж Петрі для бізнес-процесів з організацією черг знаходимо в (Zuberek, 1996с.). Як приклад описано робот з трьох машин (рис. 1.4).

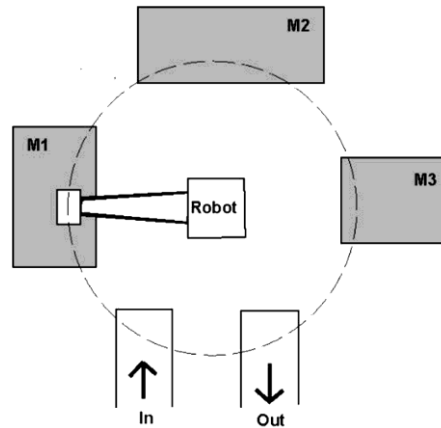


Рис. 1.4. Робот, утворений трьома машинами (Zuberek, 1996с.).

Відомо, що для виробничого вузла з m машин існує $m!$ різних простих графіків виконання операцій. Для вузла з трьох машин таких графіків операцій є 6:

- A: $(0, 0, 0) \rightarrow (1, 0, 0) \rightarrow (0, 1, 0) \rightarrow (0, 0, 1) \rightarrow (0, 0, 0)$
 B: $(0, 0, 1) \rightarrow (1, 0, 1) \rightarrow (0, 1, 1) \rightarrow (0, 1, 0) \rightarrow (0, 0, 1)$
 C: $(0, 0, 1) \rightarrow (1, 0, 1) \rightarrow (1, 0, 0) \rightarrow (0, 1, 0) \rightarrow (0, 0, 1)$
 D: $(0, 1, 0) \rightarrow (1, 1, 0) \rightarrow (1, 0, 1) \rightarrow (1, 0, 0) \rightarrow (0, 1, 0)$
 E: $(0, 1, 0) \rightarrow (1, 1, 0) \rightarrow (1, 0, 1) \rightarrow (1, 0, 0) \rightarrow (0, 1, 0)$
 F: $(0, 1, 1) \rightarrow (1, 1, 1) \rightarrow (1, 1, 0) \rightarrow (1, 0, 1) \rightarrow (0, 1, 1)$

Зміна конфігурації відповідає перенесенню деталі від однієї машини до іншої: з входу до першої машини, та з останньої машини до виходу. Всі графіки розпочинаються перенесенням деталі з входу до першої машини. При зміні конфігурації деталь може переноситись тільки з i -тої позиції на $i+1$, та з останньої позиції на вихід. При цьому позиція, яка звільняється, позначається як 0.

На рис. 1.5 зображено мережу Петрі для графіку А. Операції робота описують простий цикл ($p04, t01, p11, t12, p22, t23, p33, t34, p40, t40, p04$). Початкове маркування $p04$ позначає готовність почати роботу з новою деталлю. Операція $t01$ позначає перенесення деталі з конвеєра до машини M_1 , операція $t12$ - перенесення деталі з машини M_1 до машини M_2 і т.д.

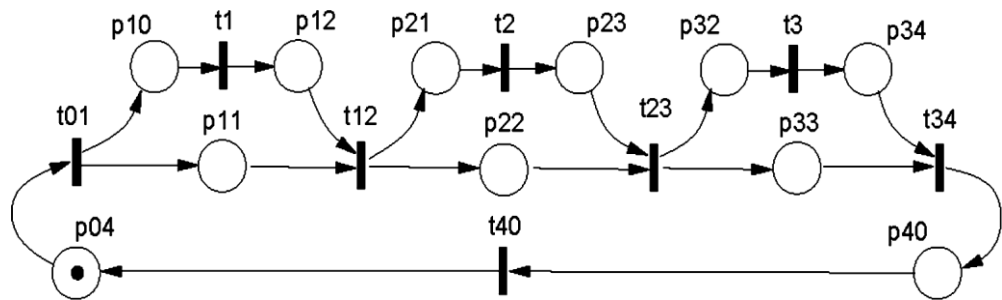


Рис. 1.5. Мережа Петрі для графіку А (Zuberek, 1996с).

На рис. 1.6 зображено мережу Петрі для графіку С. Операції робота описуються складнішим циклом ($p03, t01, p13, t13, p31, t34, p41, t41, p14, t12, p22, t32, p30, t30, p03$).

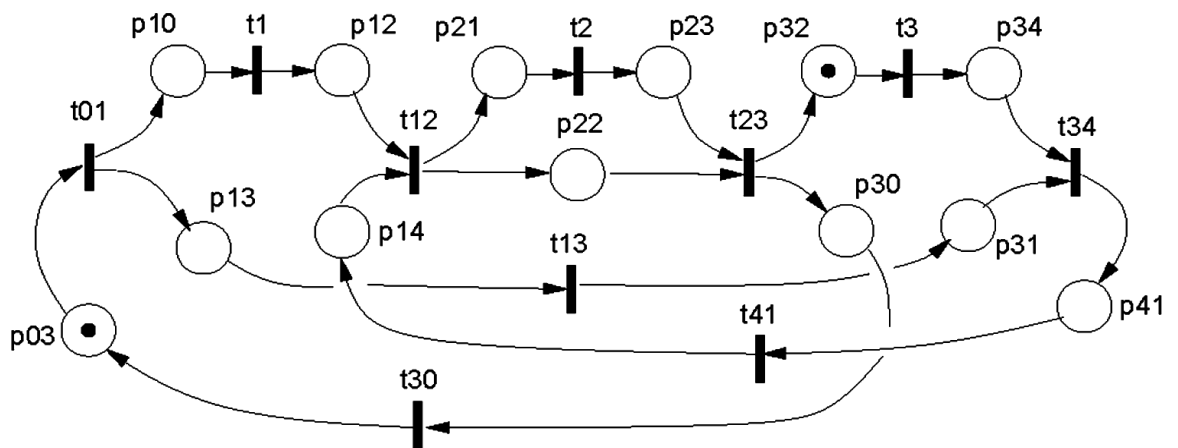


Рис. 1.6. Мережа Петрі для графіку С (Zuberek, 1996с).

В (De Backer, 2007) для бізнес-процесу «Споживач-Виробник-Два постачальники» (рис. 1.7) подано загальну схему (рис. 1.8) та зображення

мережею Петрі (рис. 1.9), яка створює належні умови для дослідження її структури та особливостей функціонування.

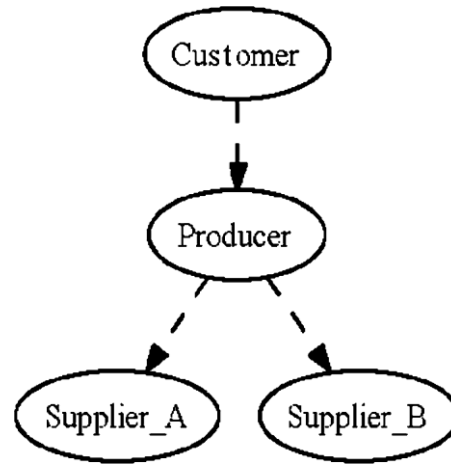


Рис. 1.7. Бізнес-процес (De Backer, 2007).

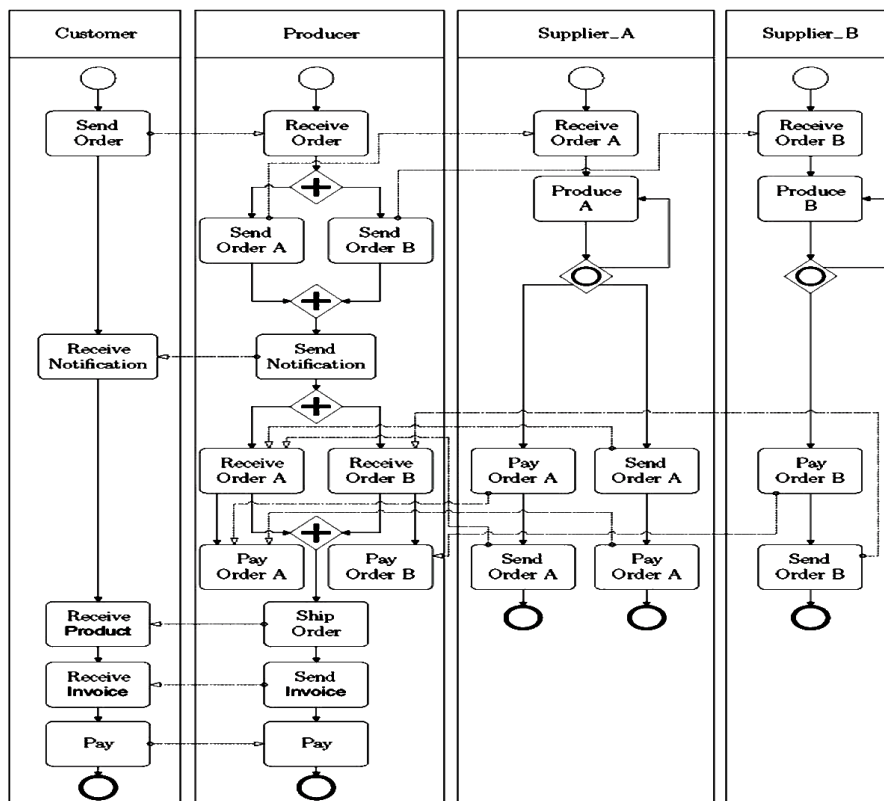


Рис. 1.8. Схема бізнес-процесу «Споживач-Виробник-Два постачальники» (De Backer, 2007).

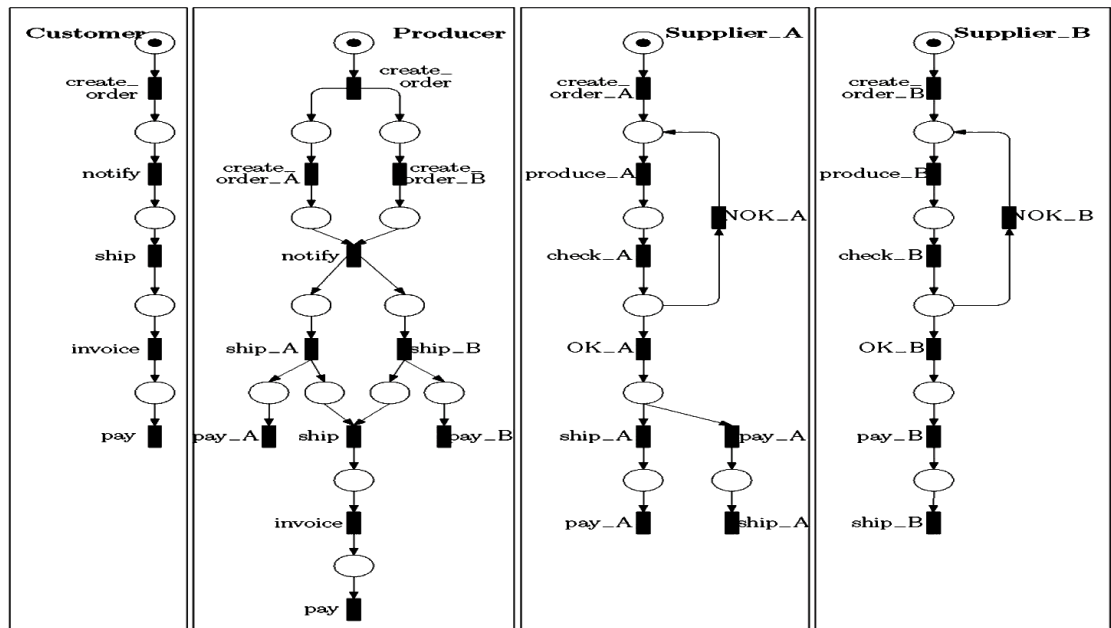


Рис. 1.9. Мережа Петрі для бізнес-процесу
«Споживач-Виробник-Два постачальники» (De Backer, 2007).

Висновки за розділом 1.

1. Ефективним засобом, який сприяє розв'язанню сучасних проблем в управлінні підприємством є процесний підхід. Відзначено, що існують певні труднощі в переході на новий рівень в процесному підході, викликані відсутністю достатньо розвинутого інструментарію опису бізнес-процесів.
2. Відзначено, що більшість нотацій в існуючих програмно-інформаційних системах, зокрема BPMS, BPEL, EPCs, YAWL, BPMN, мають недостатньо розвинуту семантику для моделювання бізнес-процесів, не мають достатньої глибини деталізації, яка б дозволила застосовувати сучасний математичний апарат оптимізаційних методів.
3. Проаналізовано засоби моделювання бізнес-процесів з використанням програмно-інформаційних систем Protos, ARIS, FLOWer, FileNet, ARENA та CPN. Відзначено добрі можливості для моделювання

бізнес-процесів мають системи Protos та CPN, що базуються на мережах Петрі.

4. Показано, що високий рівень детального опису бізнес-процесів, придатний для математичної формалізації та вдосконаленні їх структури мають моделі у вигляді асинхронних дискретних систем та мереж Петрі, що їх конкретизують.
5. Наведено приклади застосування простих та мереж Петрі вищого порядку для опису паралельних та циклічних процесів, з необхідністю синхронізації операцій та організацією черг. Відзначено їх переваги перед іншими нотаціями та обґрунтовано необхідність подальшого застосування мереж Петрі для опису та дослідження бізнес-процесів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ ЯК АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

2.1. Методичні положення з аналізування бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем

Описано властивості асинхронних дискретних систем та показано, що бізнес-процеси мають аналогічні властивості і повністю відповідають такій моделі.

Бізнес-процеси підприємств мають всі властивості асинхронних дискретних систем (Варшавський, 1986), а саме: дискретність, асинхронність, погодженість та паралельність. Розглянемо ці властивості детально.

Дискретність є властивістю роздільності, перервності. Кожне підприємство має скінченне число операцій, для реалізації яких використовується скінченне число елементів обладнання та обмежена кількість виконавців. Система може приймати скінчене число станів, переходити з одного в інший. Протягом однієї фази відбувається зміна стану процесу, тобто перехід з одного стану в інший. Кожну фазу розглядаємо як таку, що її не можна переривати. В протилежному випадку, наприклад, при аварійній ситуації, завдання не буде виконане, і для отримання належного продукту (інформації) її необхідно буде повторити. Тобто, це – нероздільна одинарна операція з точки зору функціональних завдань. В загальному випадку вона також може бути декомпонована на окремі частини, які, проте, не створюють певного завершеного продукту. Кожна фаза описується певним набором атрибутів (параметрів), що визначають властивості вихідного продукту, а також особливості реалізації. Це, наприклад, може бути час виконання, вартість, енергозатрати, характеристики обладнання; склад та кваліфікація персоналу, необхідного для її обслуговування; типи та

обсяги вхідних продуктів та їх параметри; характеристики вхідної інформації, що забезпечує керування виконанням операції, джерела її отримання (постачальники ресурсів, бази даних, Інтернет тощо). Завершенням кожної фази є видання певної продукції (інформації), яка також описується відповідними параметрами.

Протягом переходу відбувається перенесення виробів (проміжних продуктів) чи інформації, виготовлених однією операцією (фазою), до однієї чи кількох інших. Перехід можна також трактувати як певний підпроцес (фазу), що розглядається як нероздільна одинарна операція, яку недоцільно дробити на частини. Перехід описується набором атрибутів (параметрів). Сюди можна віднести тривалість перенесення продукції з одного підпроцесу до іншого, вартість, характеристики обладнання для перенесення (тип транспорту, конвеєр, лінія чи мережа передавання інформації тощо), кваліфікацію та чисельність персоналу.

Погодженість забезпечує виконання всіх умов, необхідних для завершення операції. Кожна фаза не може бути реалізована без наявності необхідних для неї вхідних продуктів чи інформації, що повинні бути виготовлені попередніми операціями чи бути вхідними для всього процесу, тобто отриманими з джерел постачання (ресурсами). Необхідним елементом виконання може бути також обов'язкове надходження певної інформації (сигналу) від відповідного джерела, яке керує роботою бізнес-операції чи підприємства.

Паралельність є властивістю окремих бізнес-процесів одночасного виготовлення продукції на підприємствах. Окремі операції на виробництві можуть виконуватись одночасно. Необхідною умовою такої можливості є їх повна взаємна незалежність один від одного, тобто одна операція не створює проміжних чи кінцевих продуктів, що можуть бути використані іншим операціями, які працюють з нею паралельно. Ця умова формалізується правилами Бернштейна (Bernstein, 1966), суть яких полягає в наступному. Нехай маємо два підпроцеси одного процесу P_i та P_j

виготовлення одного продукту. Ці підпроцеси можуть бути розпаралелені, якщо виконуються такі три обов'язкові умови:

1. Виходи, тобто продукти, що виготовляють обидва підпроцеси, є різним:

$$R(P_i) \cap R(P_j) = \emptyset. \quad (2.1)$$

2. Вхід (продукт), виготовлений процесом P_i не використовується для паралельного процесу P_j :

$$I(P_i) \cap R(P_j) = \emptyset. \quad (2.2)$$

3. Вхід (продукт) виготовлений процесом P_j не використовується для паралельного процесу P_i :

$$I(P_j) \cap R(P_i) = \emptyset. \quad (2.3)$$

Тут

$I(P_i)$ та $I(P_j)$ - вхідні продукти процесів P_i та P_j відповідно;

$R(P_i)$ та $R(P_j)$ - вихідні продукти процесів P_i та P_j відповідно.

Додамо, що вхідні продукти $I(P_i)$ та $I(P_j)$ можуть бути однаковими, проте вихідні продукти $R(P_i)$ та $R(P_j)$ повинні бути різними. Наявність однакових вхідних та однакових вихідних продуктів є можливою на підприємствах, коли потрібно збільшити обсяг вихідної продукції при недостатній продуктивності окремих виробничих засобів, тобто розпаралелити виробництво. Такі окремі випадки слід розглядати як два незалежні асинхронні дискретні процеси.

Ілюстративно ці вимоги продемонстровано на рис. 2.1. Їх доцільно використовувати для аналізу виробничої діяльності підприємства на основі його графової моделі як асинхронної дискретної моделі для виділення ділянок шляхів перетворення продукції, що можуть виконуватись одночасно.

Асинхронність обумовлена, у першу чергу, різною тривалістю окремих фаз (операцій). Більшість операцій мають різну складність, тривалість їх виконання не є однаковою. Виняток складають підприємства конвеєрного

типу, де весь процес розбивається на частини, що вимагають приблизно однакового часу виконання.

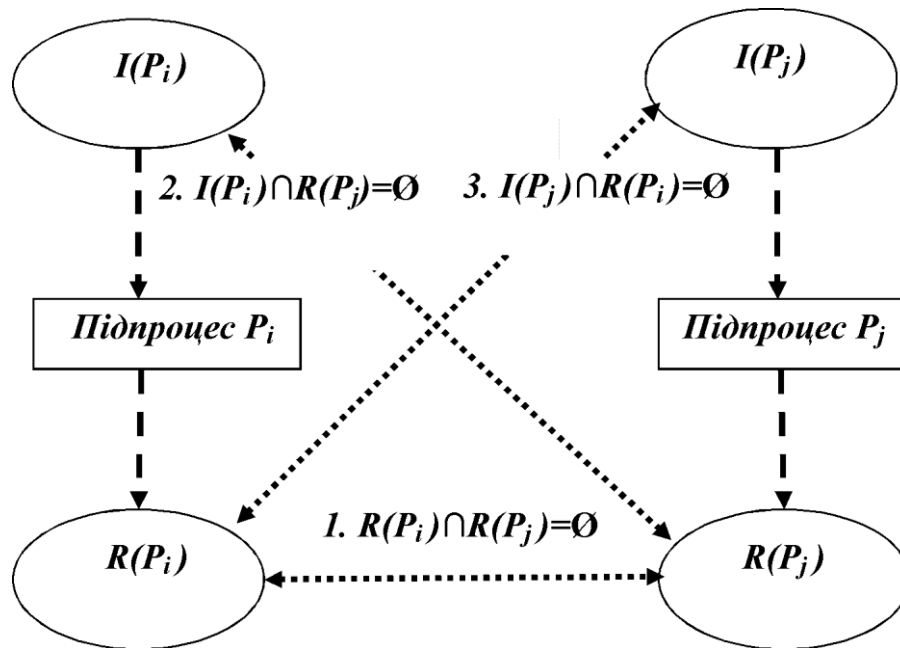


Рис. 2.1. Умови Бернштейна для паралельних процесів (Bernstein, 1966)

Не всі бізнес-процеси можна віднести до класу асинхронних. Характерною рисою конвеєрного виробництва є чітко визначений та однаковий час виконання кожної операції – його синхронність. Хоча такі виробництва і мають деякі переваги – можливість організації однієї послідовності операцій в процесі, проте їх недоліками є необхідність декомпозиції виробництва на дрібні та однакові за часом операції, що далеко не завжди є можливим, а у випадку реалізації відбувається штучне нав'язування кожній операції певного наперед визначеного часу виконання. Існують два типи синхронізації в конвеєрних виробничих системах. У першому випадку виробничий процес вдається декомпонувати на фази, тривалість яких є приблизно однаковою. Тривалість одного такту вибирається як верхня межа тривалості всіх елементарних операцій. Такий підхід має два недоліки. Для операцій, тривалість яких є меншою за такт, буде мати місце простій обладнання, що знижує продуктивність системи. Можуть траплятись випадки, коли одна з операцій з певних причин не

завершиться. Тоді або утвориться брак продукції, або необхідно зупиняти конвеєр, тобто матиме місце асинхронність.

Для другого типу конвеєрних систем наступний крок руху конвеєра настає тільки після надходження сигналу про завершення всіх операцій. Така система вимагає наявності додаткового обладнання для сигналізації та орієнтується на тривалість найдовшої операції або очікує моменту завершення всіх операцій, що знижує продуктивність. Типові приклади – конвеєр машинобудівного підприємства, рух поїзда метро. Конвеєр не рухається до моменту надходження інформації від кожного робота про завершення операції, поїзд не рухається до закриття всіх дверей. Тут маємо асинхронність процесу.

Ослабленням вказаних недоліків синхронних систем конвеєрного типу є використання асинхронних систем, які є широко розповсюдженими та відображають діяльність більшості малих та середніх підприємств. Тому важливою є побудова адекватних підходів, придатних не тільки для їх якісного аналізу, оцінки ефективності, виявлення закономірностей їх функціонування, але й для проектування нових підприємств та належної структуризації та реструктуризації існуючих.

Зовнішня синхронізація виробничого процесу є координацією подій в системі за станом «годинника», який не належить самій системі (Варшавский, 1986). Події у такій виробничій системі не мають причинно-наслідкових зв'язків між собою та з зовнішнім середовищем. Для побудови ефективних реальних систем важливим є врахування змін станів (фаз) в системі в реальному фізичному часі, які породжують причинно-наслідкові відношення між подіями в самій системі, а також з довкіллям. Значення параметрів цих відношень в кожний момент є реальним системним часом для конкретного виробничого процесу, важливим чинником керування його подіями. Для таких систем доцільно використати термін «самосинхронізація», що реалізує квантування часу подіями, які є внутрішніми для системи та зовнішніми для довкілля.

Дискретність, асинхронність, погодженість та паралельність є властивими для більшості підприємств та окремих їх бізнес-процесів. Прикладом може служити типове виробництво будь-якого продукту. Число фаз, тривалість кожної фази можуть бути різними, але є обмеженими, що відображає дискретність та асинхронність. Деякі операції є незалежними одна від одної та можуть виконуватися паралельно. Проте жодна операція не може розпочатися до завершення інших, продукцію яких вона споживає для виконання. Завершення попередніх операцій служить сигналом для початку нової. Вони повинні створити всі необхідні та достатні умови для реалізації наступної операції.

2.2. Методичні положення з аналізування бізнес-процесів підприємств мережами Петрі вищого порядку

Проаналізовано можливості простих та мереж Петрі вищого порядку, які є деталізацією дискретної моделі і дозволяють у графічній формі на найбільш глибокому рівні описувати та аналізувати бізнес-процеси з метою їх оптимізації.

Поширеним підходом для детального опису систем є мережі Петрі, як прості так і вищого порядку. За визначенням, яке запропонував Петрі, мережа характеризується чотирма множинами параметрів (Peterson, 1981; Кузьмук, Парнюк та Супруненко, 2011):

$$PN = (P, T, K, F), \quad (2.4)$$

де P - множина умов (місць),

T – множина переходів,

K – множина дуг,

F – множина правил, що описують структуру та функціональні зв'язки між множинами P та T .

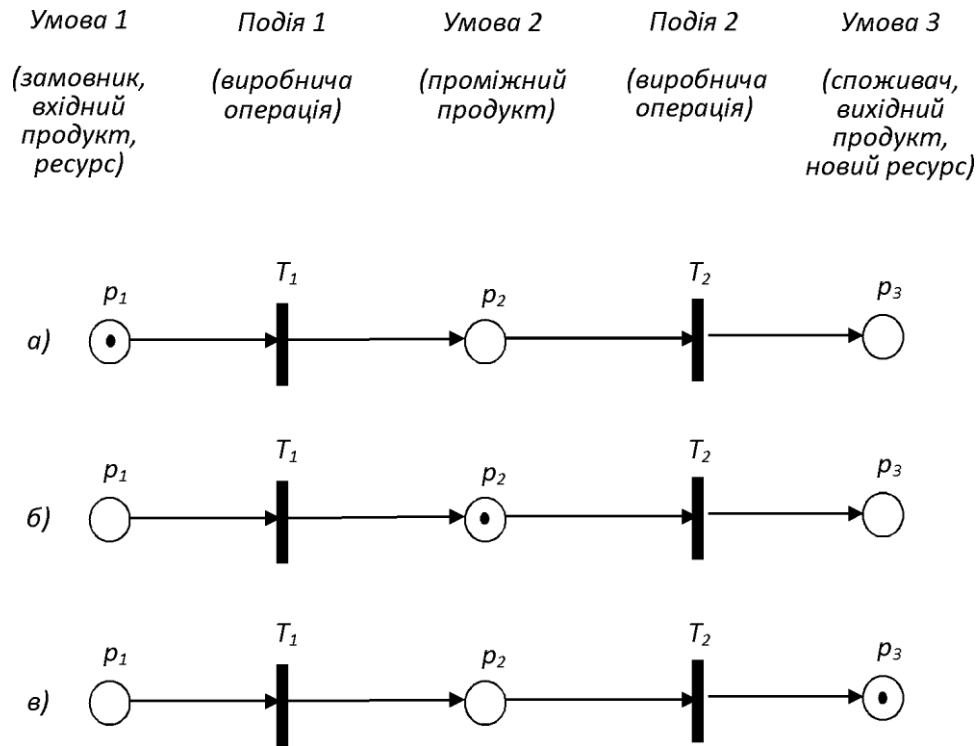
Умови та переходи утворюють дводольний граф. Перша множина елементів відповідає вимогам, які є необхідними (обов'язковими) для того,

щоб подія відбулася (наявність ресурсів, замовлень) та позначаються кружечками (овалами), а друга – подіям (операціям, бізнес-процесам), які позначаються прямокутниками (жирними короткими лініями).

Між елементами обох множин вводяться дуги (спрямовані ребра) двох типів. Перша множина – це дуги, які виходять від умов, необхідних для того, щоб подія відбулася (направлені від умов до подій), а друга – це дуги, які входять в умови, що утворилися в результаті виконання події. При описі бізнес-процесів множина умов може відображати ресурси (людські, матеріальні, інформаційні та інші), замовлення, необхідні для того, щоб виробнича операція відбулася. Множина подій відображає виробничі операції, процедури, які мають місце в бізнес-процесах. Кожна подія може відбутися тільки у тому випадку, коли всі умови, від яких іде дуга до цієї події, є виконаними, тобто в конкретному бізнес-процесі є наявними всі необхідні для її реалізації ресурси (замовлення тощо).

Виконання умов позначається міткою (крапкою, маркером, фішкою) у відповідному кружечку, яка відповідає об'єктам, що опрацьовуються у виробничому процесі (вхідним, вихідним чи проміжним продуктам; матеріальним, інформаційним чи людським ресурсам тощо). Якщо подія відбулася, тобто операція в бізнес-процесі є реалізованою, то необхідно змінити маркування в мережі, а саме виконати такі зміни: у відповідних умовах зменшити кількість міток на число, яке відповідає обсягам використаних ресурсів, потрібних для того, щоб операція була реалізована, та, по-друге, збільшити в усіх умовах, до яких спрямовані дуги від даної події, кількість міток на число, що відповідає обсягу утвореної даною операцією продукції.

На рис. 2.2 наведено приклад простої мережі Петрі, в якій операції відбуваються послідовно. Мережа має дві події T_1 та T_2 , що відповідають операціям виробничого процесу, та три умови p_1 , p_2 та p_3 , що описують вхідний ресурс (замовника), проміжний продукт та кінцевий продукт (споживача). Як видно з рисунку, процес відбувається крок за кроком.



Мережі Петрі мають ряд модифікацій, орієнтованих на конкретну прикладну ділянку. Існує декілька класифікацій мереж Петрі. Одна з них приведена на рис. 2.3 (Кузьмук, 2011). В даній класифікації всі мережі Петрі розділені на дві групи: базові та прикладні. До базових віднесено мережі безпекові та оціночні, до яких відносяться мережі управління, автоматні, апаратні, марковані, оціночні, ординарні. До прикладних - віднесено часові та кольорові, які утворюють мережі Петрі вищого порядку.

У безпекових мережах кожна умова може містити тільки одну мітку та всі дуги мають одиничну вагу. В обмежених (оціночних) мережах умови мають ціле число міток, а дуги також мають цілочислову вагу визначають кількісний розподіл міток в мережі після їх проходження через переходи. В числових та макрочислових мережах переходи належать до кількох типів, кожний з яких спрацьовує при наявності у вхідних умовах заданого числа міток, а макрочислові переходи мають можливість змінювати свою структуру.

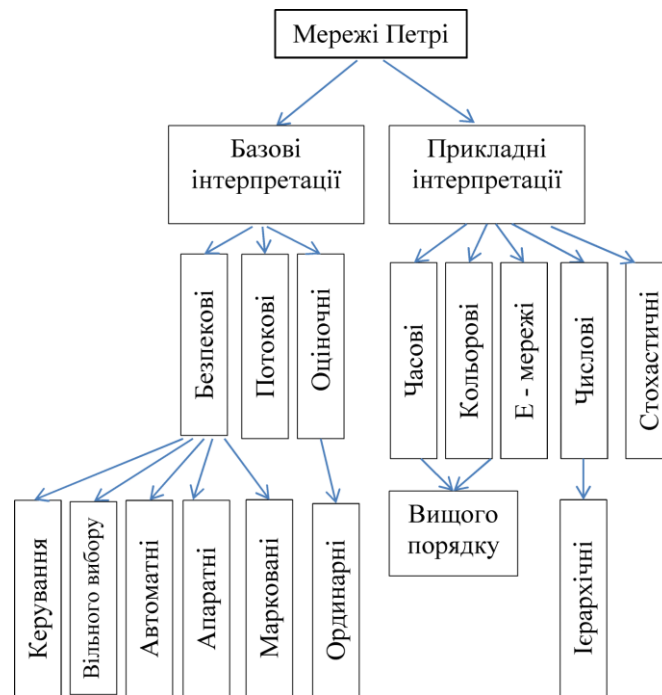


Рис. 2.3. Класифікація мереж Петрі (Кузьмук, 2011)

В кольорових мережах мітки несуть інформацію про певну властивість (параметр) об'єкту, який перетворюється в переходах. В часових мережах мітки та переходи мають додатковий параметр – час появи перших та час перетворення об'єкту при проходженні переходу (час виконання операції в бізнес-процесах). Якщо одночасно використовувати властивості часових та кольорових мереж Петрі, то такі мережі є найбільш придатними для дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів. Часові та кольорові параметри можуть призначатися до різних типів мереж Петрі, що важливо при дослідженні технологічних процесів, організаційних характеристик підрозділів підприємств тощо.

Е-мережі (evaluation net) мають розширений набір умов та переходів, який є необхідним для відображення додаткових різноманітних функцій бізнес-процесу. У цих мережах передбачено:

- 1) кілька типів умов: прості, черги, забороняючі;
- 2) мітки можуть мати набір ознак (атрибутів);

- 3) з кожним переходом може бути пов'язана певна затримка та функція перетворення атрибутів мітки;
- 4) вводяться додаткові типи переходів;
- 5) у будь-яку умову може входити одна дуга (або їх обмежена кількість).

Такі додаткові функції суттєво розширюють можливості використання мереж Петрі для дослідження структур та особливостей функціонування бізнес-процесів.

Слід також відзначити, що описана класифікація не є категоричною, оскільки в реальних системах можливим є одночасне поєднання властивостей декількох описаних типів мереж. В мережах вищого порядку одночасно поєднуються властивості оціночних та макрочислових мереж Петрі, оскільки мітка несе властивості всіх можливих атрибутів: час появи в кожній точці бізнес-процесу та всі необхідні для дослідження процесу атрибути (характеристики). Для окремих бізнес-процесів зі своєю вузькою предметною особливістю можуть створюватися вузькоспеціалізовані мережі Петрі чи розширення описаних мереж (Jensen, 1998). Великий набір вже існуючих типів мереж Петрі створює можливості для опису та дослідження як окремих бізнес-процесів, так і цілих підприємств різноманітного призначення. Слід також мати на увазі, що на основі базових понять, введених Петрі, є можливість створення різноманітних додаткових розширень для вже існуючих типів, а також створення нових.

При дослідженні виробничих систем необхідно мати можливості описувати складні логічні структури. Деякі з них подані на рис. 2.4. Так рис. 2.4a описує операцію логічного розділення – процес продовжується або по верхній гілці (рис.2.4a1- рис.2.4a2) або по нижній (рис.2.4a3- рис.2.4a4). Він не може відбутися одночасно по двох гілках, оскільки є нестача ресурсів – в початковій умові наявною є тільки одна мітка. Для вибору конкретного шляху – верхнього чи нижнього – необхідно розширити можливості простої мережі Петрі, що може бути реалізовано мережею Петрі вищого порядку.

На рис. 2.4б є достатньо ресурсів (дві мітки у вхідній умові), щоб відбулися одночасно два незалежні процеси. Рисунок 2.4г ілюструє процес злиття двох процесів в один. Часто необхідною є процедура синхронізації певних виробничих операцій для продовження виробничого процесу. Таку можливість ілюструє рисунок 2.4д. Процес не може продовжуватися до моменту появи двох міток перед останньою подією. Тільки після завершення двох попередніх процесів, які передують останній операції та створюють для її реалізації необхідні ресурси, вона може відбутися (Рис. 2.4д1 – рис.2.4д3).

На рис. 2.5 наведено приклад переходу в мережі Петрі. Якщо умови a , b , c виконані, що позначено на рисунку наявністю міток, то подія S (операція у виробничому процесі) може відбутися. Після цього створюється умова (мітка в умові d) для виконання наступних операцій, пов'язаних з необхідністю виконання операції S , а з умов a , b , c мітки знімаються, оскільки ресурси, які відповідають цим умовам, вже використались. Повторне виконання події S може відбутися тільки після нового поповнення умов (ресурсів) a , b , c , що буде позначено появою в них нових міток.

На рис. 2.6 наведено інші варіанти позначень в мережі Петрі. Якщо характер умов є однаковим, то числом міток в умовах можна відобразити обсяги продуктів (ресурсів), наявність яких є необхідною для виконання операції (переходу). Обсяг продуктів, які переносяться, також позначається числом на дузі; та обсяг продуктів, які утворились, теж позначається числом міток в умові (ресурсі), яка утворилася в результаті виконання операції.

На рис. 2.8 проілюстровано можливості опису базових логічних функцій, необхідних для опису бізнес-процесів за допомогою мереж Петрі. Рис. 2.8а ілюструє функцію «1-розділення», що має місце при розгалуженні одного бізнес-процесу « a » на декілька підпроцесів « b », « c » та « d ». Реалізацією операції є виконання умов (утворення міток) на виходах.

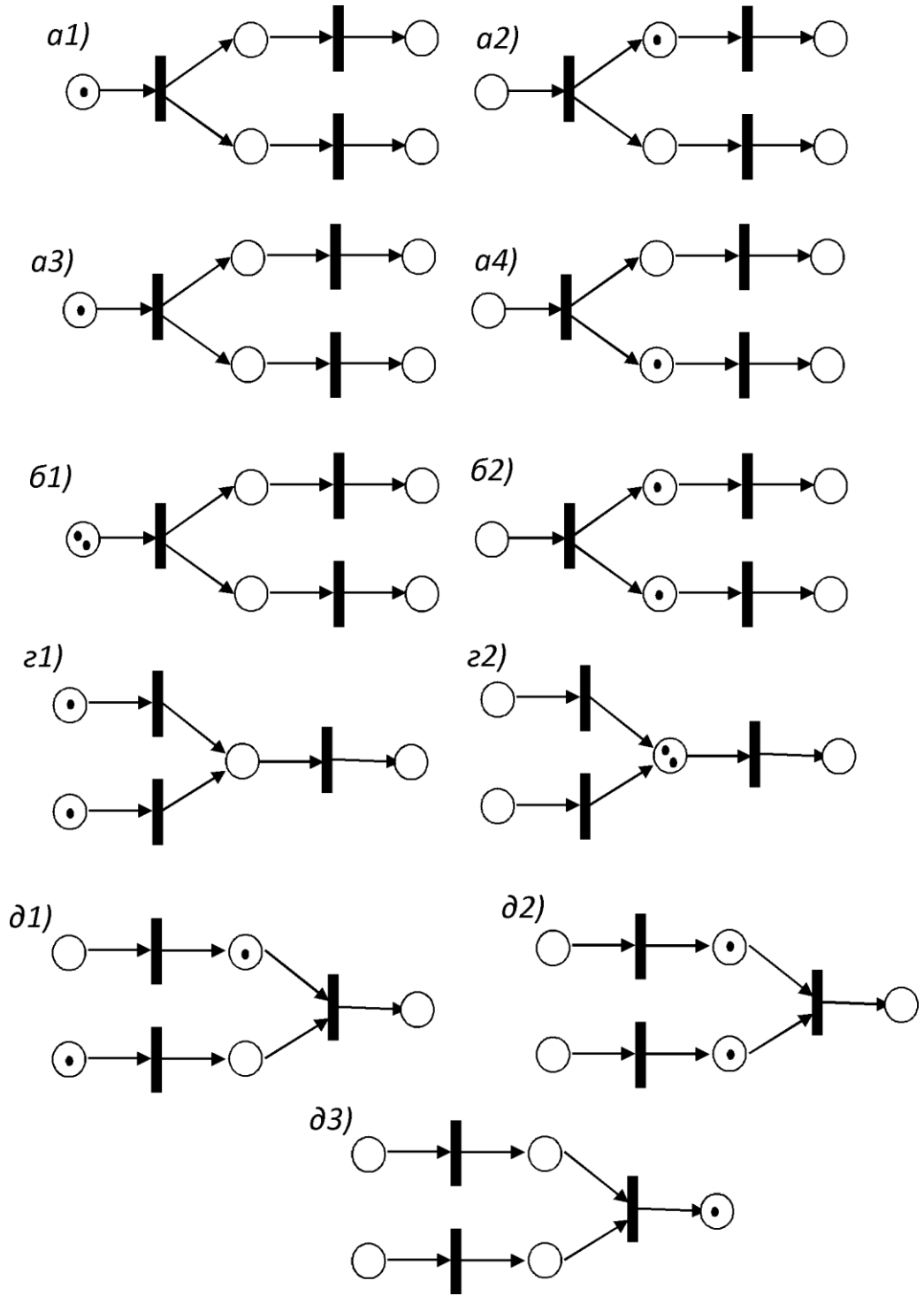


Рис. 2.4. Логічні операції в простій мережі Петрі

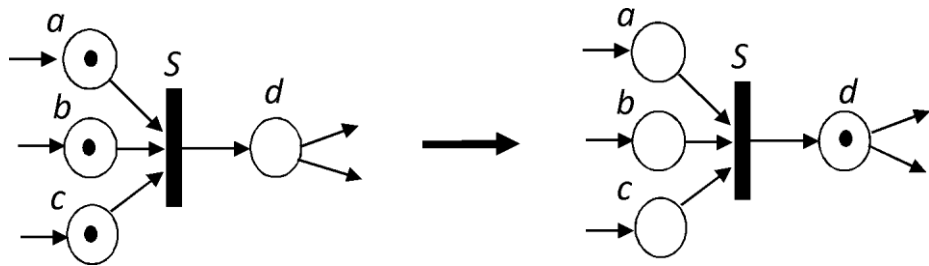


Рис. 2.5. Приклад зміни станів в мережі Петрі

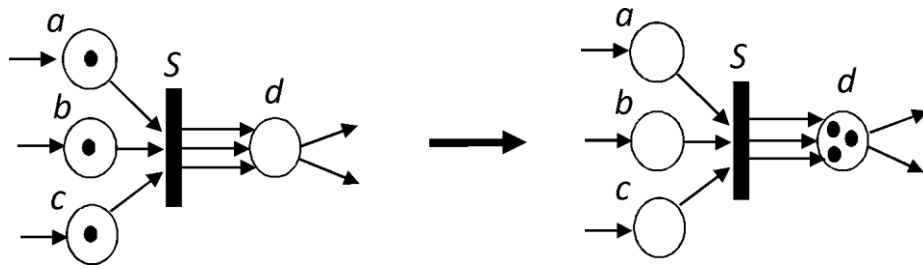


Рис. 2.6. Приклад зміни станів з представленням інформації про число міток

Обсяги продуктів (ресурсів) повинні приймати дискретні значення. В протилежному випадку їх необхідно дискретизувати. Якщо обсяги продуктів є великими, то замість великої кількості дуг рисують пучок, який відображається спеціальною дугою (іншою лінією), та позначають її кратність. Відповідну умову, в якій утворилось таке число міток, також відображають кратністю (рис. 2.7).

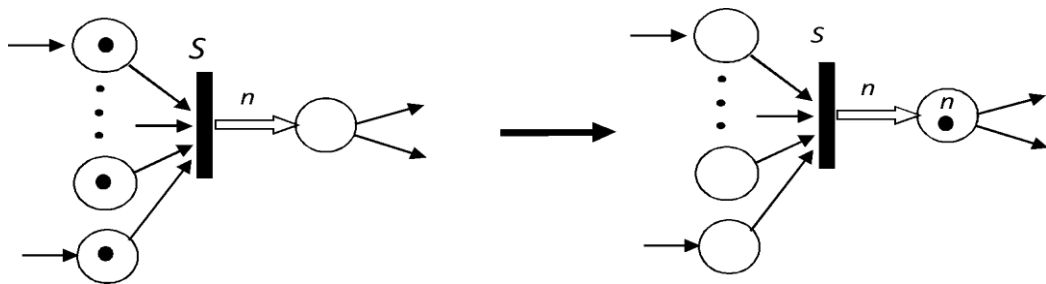


Рис. 2.7. Приклад зміни станів в мережі Петрі з модифікованим представлення інформацією про число міток

Функція «І»-з'єднання на рисунку 2.8б має місце коли на основі виконання декількох умов «а», «b» та «с» створюється умова «d» для виконання деякої наступної операції. Відзначимо, що наявність всіх вхідних умов (ресурсів) є обов'язковими для утворення нової умови (продукту). Невиконання цих умов не створить необхідних та достатніх вимог для продовження процесу. Це може бути, наприклад, наявність комплектуючих чи певних видів сировини на підприємстві, необхідних для функціонування бізнес-процесу.

Функція «АБО»-розділення (рис. 2.8в) ілюструє можливість продовження бізнес-процесу тільки в одному із декількох можливих шляхів.

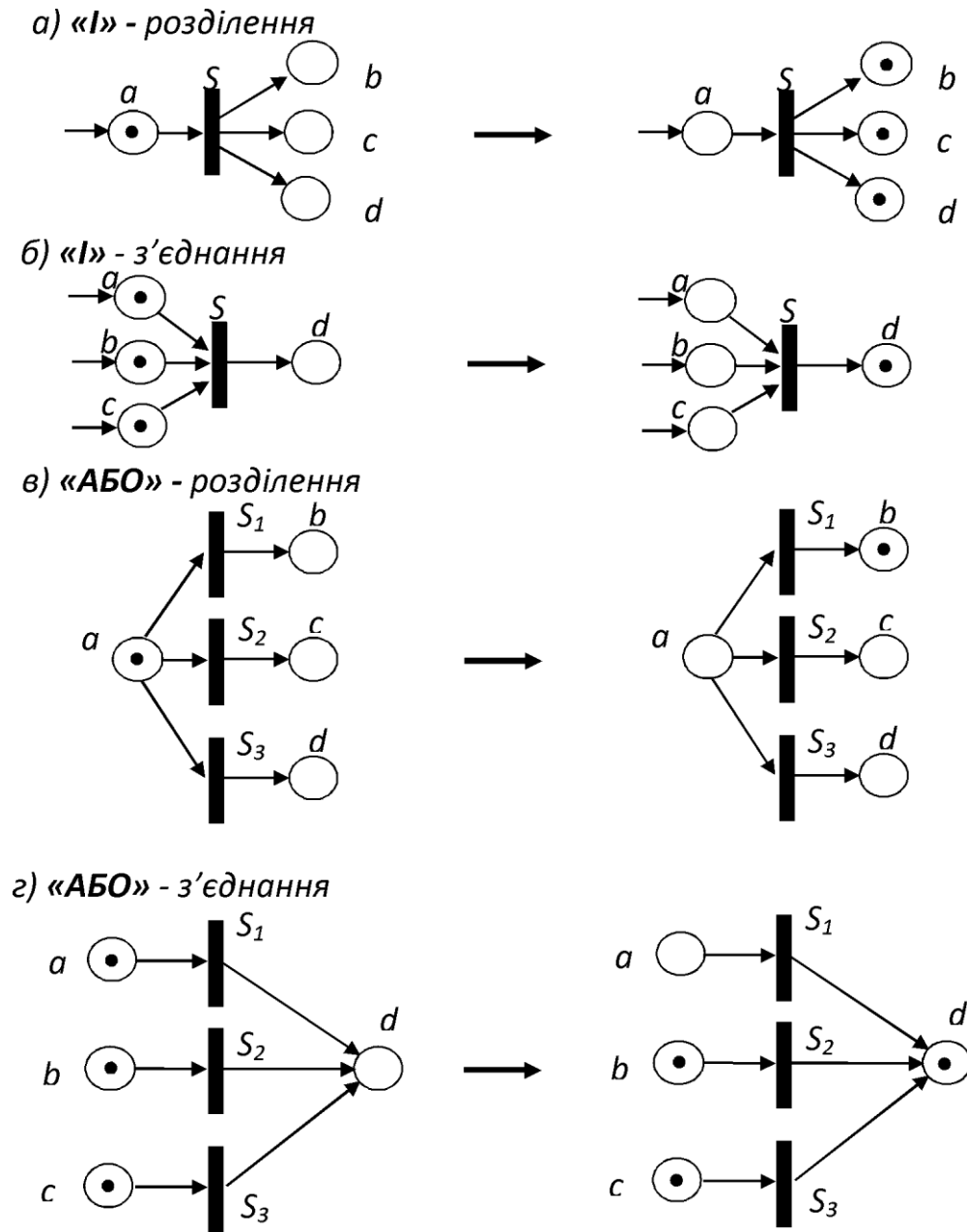


Рис. 2.8. Опис мережею Петрі базових логічних функцій

Умова «*a*» може бути використана тільки для продовження процесу або «*b*», або «*c*», або «*d*». Проте, така модель є недостатньою для повного опису процесу. Вона не вказує конкретного вибору – в якому саме із можливих кількох варіантів буде його продовження.

Функцію «АБО»-з'єднання (рис. 2.8г) необхідно використовувати, коли для продовження бізнес-процесу можливим є вибір одного із декількох варіантів. Наприклад, комплектуючі чи сировина можуть бути отримані з

декількох різних альтернативних джерел: або «*a*», або «*b*», або «*c*». Ця функція не несе інформації, який саме варіант буде обрано. Для цього в модель необхідно вводити додаткові параметри. Такі можливості мають мережі Петрі вищого порядку – часові та кольорові.

В бізнес-процесах можуть виникати конфліктні ситуації. Наприклад, для двох виробничих процесів необхідно використати один і той же верстат. Така ситуація показана на рис. 2.9. Верстат *b* є необхідним для процесів *S1* та *S2*. Його може використати або процес *S1* (рис. 2.9б) або процес *S2* (рис. 2.9в). В даному випадку проста мережа Петрі також не може вказати, який саме вибір буде здійснено.

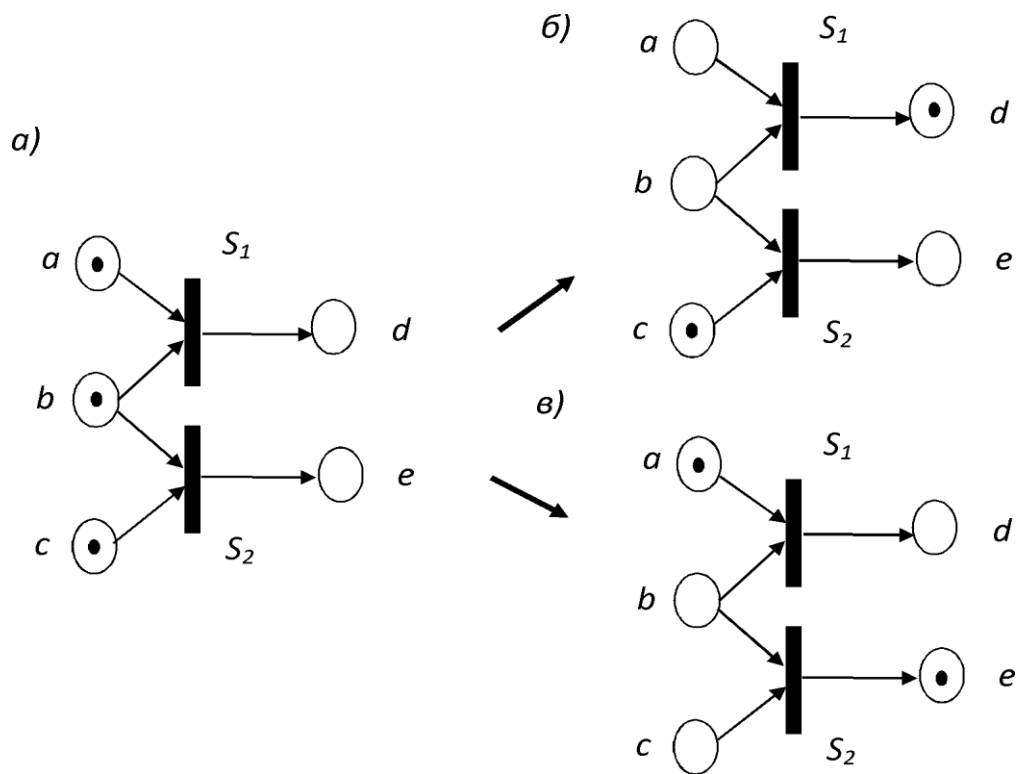


Рис. 2.9. Конфліктна ситуація в мережі Петрі

Недоліком простої мережі Петрі також є те, що вона не виявляє нуля, тобто відсутності виконання умови. Для усунення цього недоліку введено додатковий тип дуги – «заборони». Таку дугу також називають дугою «стримування». Умовно така дуга має закінченням кружок замість вістря, який означає логічне заперечення «не». Якщо вона веде від умови, в якій є мітка (умова виконана) до події, то така подія не може відбутися, вона

заборонена. Якщо у цій умові мітки немає, подія є дозволеною. Така схема дозволяє описувати логічну функцію «виключне АБО», тобто для логічної функції двох змінних на виході буде 1 тільки у тому випадку, коли з двох вхідних змінних тільки одна приймає значення 1 (рис. 2.10 б, в). Коли ж обидві дві вхідні змінні мають значення 1, на виході буде 0 (рис. 2.10а), як у тому ж випадку, коли обидві вхідні змінні мають значення 0 (рис. 2.10г).

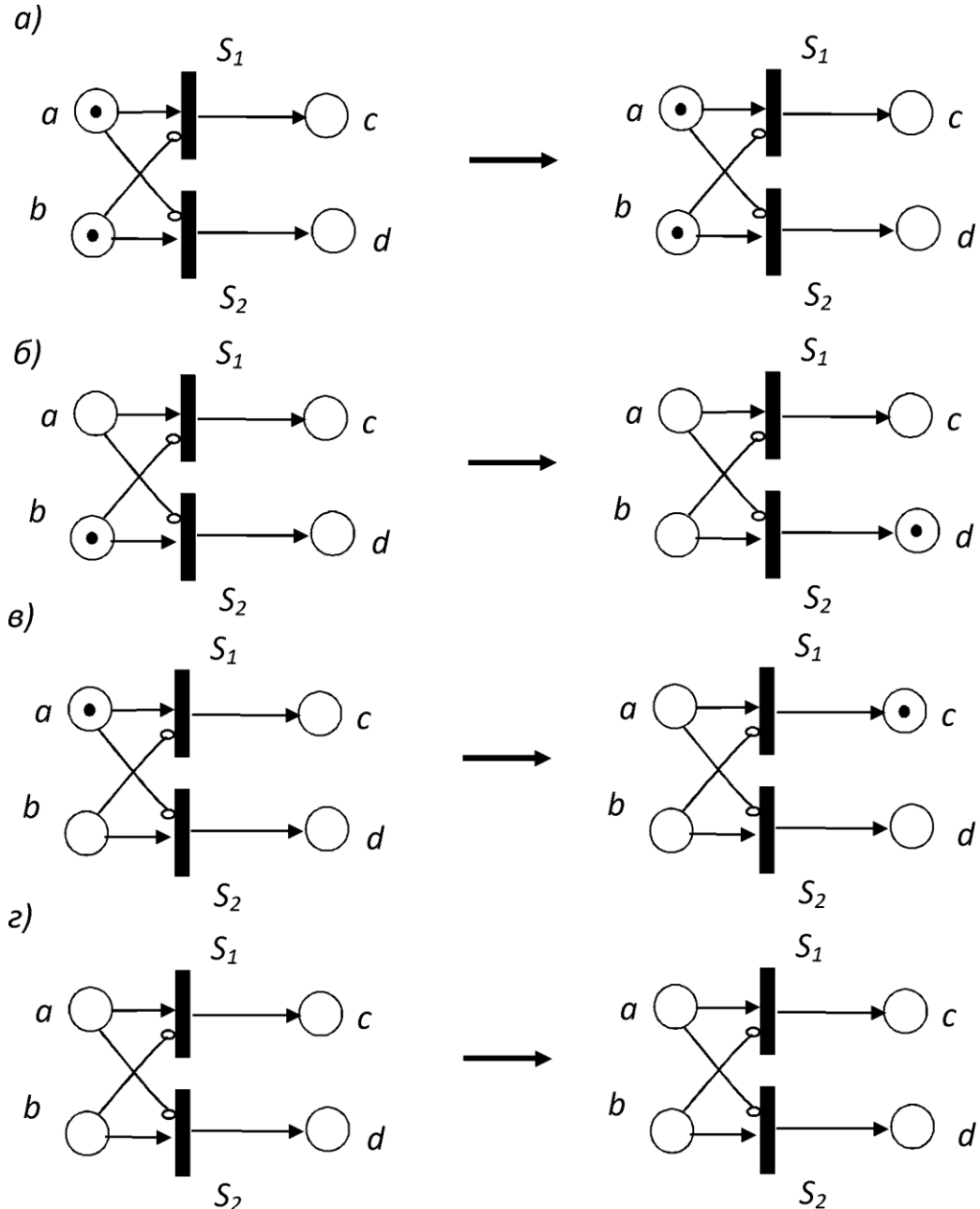


Рис.2.10. Опис мережею Петрі логічної функції «виключне АБО»

Дуга заборони є стримувальною. Перехід є дозволеним, коли є мітки на всіх його вхідних умовах та відсутні мітки на його дугах заборони. Перехід

запускається усуненням міток з усіх його вхідних умов. Перехід «виключне АБО» запускається тоді і тільки тоді, коли на одному з його входів є мітка, а всі інші умови міток не мають. Рис. 2.11 ілюструє цю ситуацію. Дуга заборони спрямована від умови a до події S_2 . Ця подія може відбутися тільки після виконання події S_1 , коли буде знята мітка в умові a . Це важлива функція, оскільки без наявності дуги заборони обидві події можуть відбутися одночасно. Для деяких бізнес-процесів це не є бажаним, необхідно задати черговість виконання операцій. Наявність дуги заборони в даному випадку виконує таку функцію – спочатку виконується операція S_1 і тільки за нею операція S_2 .

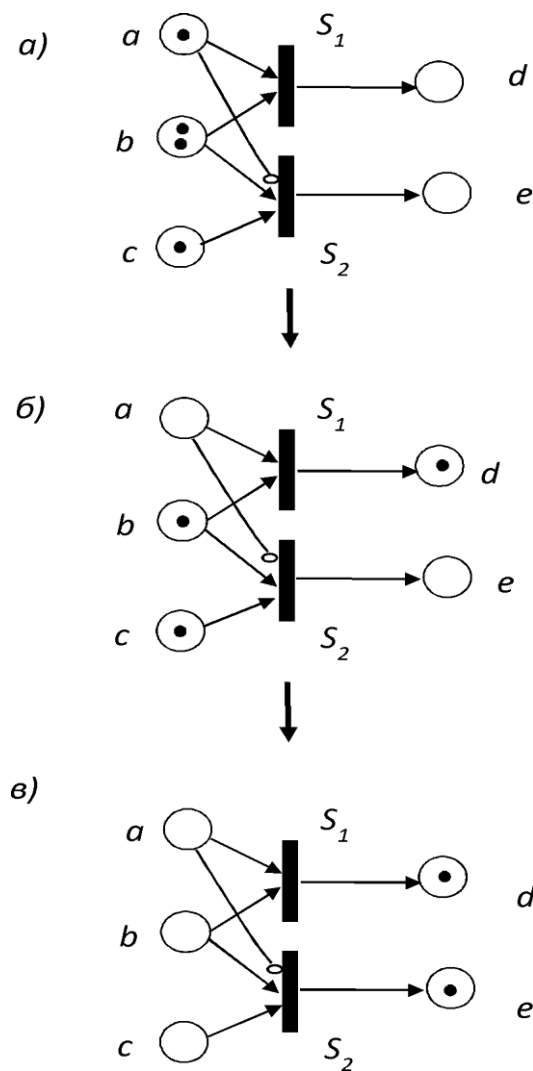


Рис. 2.11. Опис процесів з використанням дуги заборони

Умови можуть відповідати постачанням вхідної продукції, наприклад, сировини, інформації чи навіть сигналу менеджера як дозвіл на виконання операції. Якщо умови виконано, то у відповідний кружок ставиться мітка.

Кожний елемент, необхідний для забезпечення виконання певної бізнес-операції, позначається окремим кружком. Якщо всі умови для виконання операції є виконані, то операція може відбутися.

Результатом реалізації операції є поява деякого продукту (даних), необхідного для виконання наступних операцій, що позначається появою мітки в кружку, до якого веде дуга від даної операції. З кружків, з яких входять дуги в дану операцію, мітки знімаються, що інформує про використання відповідного продукту, і для повторення виконання операції необхідно буде наступне поповнення вхідних продуктів, що повинно бути позначено появою нових міток. Шляхи переміщення міток описують крок за кроком перетворення вхідних продуктів у вихідні, відображаючи при цьому появу всіх проміжних продуктів, що утворюються в процесі реалізації окремих бізнес-операцій. Тобто, вони відображають динаміку процесів, які відбуваються.

Можливою є модифікація системи, при якій в кожному кружку може бути більше ніж одна мітка. Тоді виконання операції знімає тільки одну мітку, і, при наявності більше однієї мітки в кружку та задоволенні всіх решти вхідних умов, можливим є продовження виконання операції.

Модель Петрі є зручним механізмом для виявлення закономірностей функціонування підприємств як асинхронних дискретних систем. Використання мережі Петрі для дослідження бізнес-операцій дає можливість вивчити особливості структури та функціонування підприємства, виявити скриті недоліки, що є важливим при проектуванні нових підприємств, їх структуризації та реструктуризації.

Мережа Петрі дає також можливість виявити такі властивості та елементи бізнес-процесів: безпечність, обмеженість, збереження, активність, тупики, пастки, досяжність, покривання. Система вважається безпечною, якщо число міток в кожному кружку є не більшим за 1. Для бізнес-процесів ця властивість вказуватиме на обов'язковість наявності в кожному вузлі не більше одиниці певного продукту, чи напівпродукту, тобто неможливість

опрацювання більшого обсягу продукції. Це можуть бути обмеження, наприклад, на обсяги наявності не більше одного елементу продукції, яка може зберігатись в певному місці бізнес-процесу, чи оброблятись деяким верстатом, чи присутності одного працівника чи відвідувача в сервісних фірмах або службових організаціях. У випадку, коли кількість таких елементів може бути більшою, але також обмеженою, застосовується властивість обмеженості. Безпечність – це частковий випадок обмеженості. Позиція вважається к-безпечною або к-обмеженою, якщо число міток в позиції не може перевищити к. Наприклад, в приміщенні може поміститись не більше к продуктів, або верстат може обробляти не більше к деталей одночасно.

Властивість «збереження» в мережі Петрі доцільно використовувати, наприклад, коли необхідно дослідити збереження ресурсів підприємства. Мережа Петрі може описувати запити, розподіл та вивільнення персоналу, верстатів, сервісної апаратури тощо. Їх загальна кількість повинна завжди залишатись незмінною незалежно від стану системи. Число міток в моделі, які відображають такі елементи, завжди є сталим. Мітки, що відображають ресурси, будучи створеним до початку функціонування системи, не зникають, їх число не змінюється.

Властивість «активність» відображає можливість функціонування мережі Петрі за певних початкових чи проміжних умов. Вважається, що мережа Петрі увійшла в «тупик», якщо будь-які наступні зміни її станів не є можливими. Термін «пастка» застосовується для опису ситуації, коли окремі стани неперервно повторюються та надалі система не може вийти з цієї ситуації. «Досяжність» описує можливість увійти в певний один або множину станів. «Покривання» описує всю множину станів, які можна досягнути з певного стану (початкового або проміжного). Використання цих властивостей є особливо важливим при проектуванні промислових та іншого типу робототехнічних систем, оскільки дає можливість дослідити закономірності їх функціонування.

Мережа Петрі описує бізнес-процес (workflow), якщо вона (Aalst, 1993 – 2011; Adam, 1998, Al-Fedaghi, Alloughani і Sanousi, 2012; Dehnert, 2003; Eder і Liebhart, 1995; Edmond, 2006; Jablonski і Bussler, 1996; Lohmann та Kleine, 2008; Ludwig та Horner, 1999; Mans та ін., 2008; Moldt і R  olke, 2003; Rozinat та ін, 2003; Russell та ін., 2005 - 2009; Verbeek, Basten і Aalst, 2001; Verbeek, 2000, 2001, 2007; Wynn та ін., 2006):

а) має чітко визначену множину джерел, що відповідають вхідним ресурсам (будь-якого типу) чи постачальникам;

б) множину стоків, що відповідають кінцевим продуктам (будь-якого типу) чи їх споживачам;

в) кожний шлях від будь-якого одного джерела веде до деякого одного чи кількох стоків, тобто це значить, що наявний на підприємстві вхідний продукт має певне використання у виготовленні деякого одного або кількох кінцевих продуктів.

Така мережа створює широкі можливості для дослідження властивостей та виявлення особливостей функціонування бізнес-процесів. Можна прослідкувати як використовується певна сировина на виробництві, через які виробничі операції вона проходить, як перетворюється в кінцевий продукт, у які кінцеві продукти вона входить.

Розвиток методів дослідження бізнес-процесів підприємств як дискретних асинхронних систем знаходимо у мережах Петрі вищого порядку - кольорових та часових, в яких додаються параметри, що характеризують типи умов, подій та часові залежності. Такі мережі створюють кращі можливості для дослідження бізнес-процесів різних типів, їх аналізування, проектування, дозволяє їх структурувати на глибокому рівні. Прості мережі Петрі створюють умови для відображення причинно-наслідкових зв'язків у бізнес-процесах сучасних складних підприємств. Проте, вони не мають належних засобів для аналізу їх динамічної поведінки в часовому просторі. В них не подані в явному вигляді такі атрибути об'єктів системи, як час та тип. Значення параметрів елементів системи можуть змінюватися в

процесі її функціонування. Використання мереж Петрі вищого порядку знімає ці обмеження. Надання певних атрибутів – «забарвлення» - умовам, дугам та подіям розширює можливості дослідження бізнес-процесів, створює кращі умови для багатофакторного аналізу діяльності підприємства за вибраними критеріями. Кожний з елементів системи можна ідентифікувати, в тому числі розрізнати різні типи умов та подій, надаючи їм певні ваги. Призначивши умові та події певні атрибути («кольори»), можна побудувати мережу Петрі, де події «відчувають», «реагують» тільки на «свої» умови, а інших «не бачать». Наданням мітці значень ваг створюються умови для врахування обсягів та якості продукції, яка зазнає різних перетворень в бізнес-процесах, оцінювати кошторисні та інші характеристики виробництва.

Кожне перетворення у бізнес-процесі відбувається з затратами часу. Надаючи часові параметри міткам, дугам та подіям, можна врахувати часові затримки та побудувати динамічні характеристики системи, аналізувати діяльність підприємств в часовому просторі.

Важливими перевагами мереж Петрі вищого порядку є такі:

1. Повніше, більшою кількістю характеристик та з ширшим набором параметрів оцінювати реальний бізнес-процес, вносити при необхідності зміни в його структуру та окремі параметри, тобто, верифікувати його - перевіряти на коректність.
2. Здійснювати широке імітаційне дослідження закономірностей функціонування. Для аналізу ефективності функціонування моделі отримувати статистичну інформацію про завантаженість ресурсів системи, кількість опрацьованих даних (об'єктів), час, витрачений на їх опрацювання або очікування в черзі, та й інші важливі параметри, які потім можуть бути представлені у вигляді графіків, гістограм або таблиць. Результати вивчення можуть бути використані для детального статистичного аналізу існуючими інформаційними пакетами.
3. Глибока деталізація опису структури підприємства та його окремих бізнес-операцій на всіх рівнях дозволяє використовувати формальні

математичні методи, для проектування та вдосконалення бізнес-процесів, включаючи реструктуризацію, будувати динамічні простори станів, досліджувати потреби економічної безпеки, живучості, досяжності станів та інші властивості.

Формальні методи аналізу мереж Петрі вищого порядку допомагають отримати важливу інформацію про структуру та динамічну поведінку бізнес-процесу за вибраними критеріями та можуть бути використані як на етапах як інженерії, так реінженерії. Можливостям використання мереж Петрі вищого порядку (часових та кольорових) для моделювання бізнес-процесів, присвячено багато робіт (Кузьмук, 1990, 2011; Рябухин, 2013; Aalst та ін., 1993 – 2011; Adam, N., Atluri, V., Huang, W., 1998; Albert, Jensen та Shapiro, 1989; Božek, 2010, 2011, 2012; Camurri, Franchi і Gandolfo, 1991; Dijkman, Dumas та Ouyang, 2008; Dicesare та ін., 1993; Dixon і Hill, 1990; Dufourd, Finkel та Schnoebelen, 1998; Eder і Liebhart, 1995; Elsaadany, Singhal та Lui, 1995; Elzinga та ін., 1995; Esparza та Nielsen, 1995; Fox і Gruninger, 1998; Gordijn, Akkermans і Vliet, 2000; Gottschalk та ін., 2006; Hack, 1972; Hammer і Champy, 1993; He і Murata, 2005; Zhang, Gu та Song, 2008; Hinz, Schmidt та Stahl, 2005; Zhang, H., Gu M. та Song, X., 2008; Jansen-Vullers і Netjes, 2006; Jensen і Rozenberg, 1991; Jensen та ін. 1997, 1998; 2007, 2009; Jorgensen, Lassen та Aalst, 2006; Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009; Mans та ін., 2008; Pesic і Aalst, 2007; Ribeiro і Fernandes, 2006; Russell, Hofstede та Aalst, 2007; Russell та ін., 2009; Tuncel і Bayhan G. M, 2007; Wynn та ін., 2005, 2006; Zuberek, 1991, 1996a, 1996b, 1996c, 1999, 2000, 2001, 2010).

В часових мережах Петрі мітка має додатковий параметр – реальний момент її появи в конкретній умові, а для події – час виконання операції. Якщо для реалізації події необхідним є виконання декількох умов, які, в свою чергу, мають різні моменти появи, то вона відбувається тільки після виконання умови, яка утворилась останньою. Вихідна умова несе мітку часу, який визначається сумою часу мітки такої вхідної умови та часу реалізації події. Така модель відображає реальний час виконання операцій бізнес-

процесу, включно з моментом початку виконання, часом виконання кожної окремої операції та моментом його завершення. Якщо реальний час не є важливим, а необхідно лише визначити повний час роботи, то достатньо ввести в моделі тільки параметри, що задають час кожної складової частини операції. Рис. 2.12 ілюструє можливості часової мережі Петрі. На вхід мережі поступив ресурс в момент $t=t_0$. Після «опрацювання» на першій операції з часом t_1 новий продукт має мітку часу $t=t_0+t_1$, а після проходження другої операції, час якої є t_2 , утворений продукт отримує мітку часу $t=t_0+t_1+t_2$, яка визначає час реалізації всього процесу.

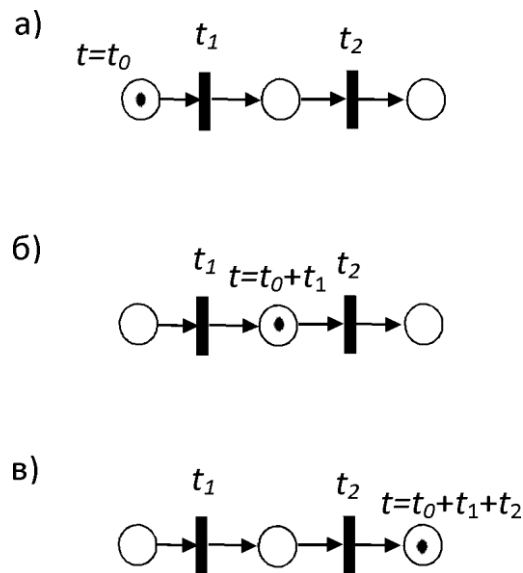


Рис.2.12. Часова мережа Петрі

В кольорових мережах Петрі вводиться ідентифікатор Ψ_i мітки умови, що задає множину додаткових параметрів, зокрема тип, обсяги продукту (ресурсу) та інші. Тип мітки на виході події визначається типом події та типом вхідної мітки. Важливою особливістю кольорових мереж Петрі є те, що «забарвлена» подія сприймає до уваги тільки мітки тих умов, які мають такий самий тип. Це дає змогу реагувати тільки на умови з мітками бажаних типів і не «відчувати» мітки інших типів. Така мережа забезпечує можливість розгалужувати події (логічні умовні переходи) за бажаними критеріями бізнес-процесу.

На рис. 2.13 наведено приклад виконання логічної функції «АБО» на кольоровій мережі Петрі. На вхід можуть надходити мітки (ресурси) трьох різних типів – α , β та μ . Вхідна умова з'єднана дугами з операціями (переходами) також трьох типів – $T_1(\mu)$, $T_2(\alpha)$ та $T_3(\beta)$. Кожна з цих операцій може використати для реалізації тільки її властивий ресурс. Так, на рис. 2.13а поступив ресурс типу α , тому його спожити може тільки операція $T_2(\alpha)$; на рис. 2.13б поступив ресурс типу μ , його використовує операція $T_1(\mu)$; і на рис. 2.13в – відповідно поступив ресурс типу β , на який реагує тільки операцією $T_3(\beta)$. На рис. 2.12г поступили ресурси типів α , β та μ . Вони використовуються одночасно всіма трьома операціями.

Існує декілька підходів до побудови часових кольорових мереж Петрі, в яких одночасно реалізуються можливості як кольорових, так і часових мереж. Одну з можливостей запропоновано в (Aalst, 1993). Кожна мітка задається чотирма атрибутами ($\#, p_i, XZ, t$). Перший атрибут $\#$ вказує на її номер. Номер мітки постійно змінюється при переході з однієї умови в іншу. Другий p_i визначає умову, в якій вона знаходиться. Умова також змінюється: мітка пересувається з однієї умови в іншу. Третій атрибут XZ задає певну її властивість, зокрема тип, вартість чи іншу характеристику. У бізнес-процесах цей атрибут визначається властивостями продуктів, які перетворюються в попередніх процесах (переходах) та функціональними властивостями цих бізнес-процесів – характером перетворення продукції. При переході через певний процес цей атрибут також змінюється та залежить від функції переходу (процесу) та атрибутів інших міток, що зумовили даний перехід.

Четвертий атрибут t визначає час появи мітки у відповідній умові та визначається сумою часу мітки, яка має найбільший час появи та зумовила її утворення, та часу перетворення в попередньому процесі (переході). Це реальний час мітки, тобто відповідає моменту утворення відповідного продукту у бізнес-процесі підприємства.

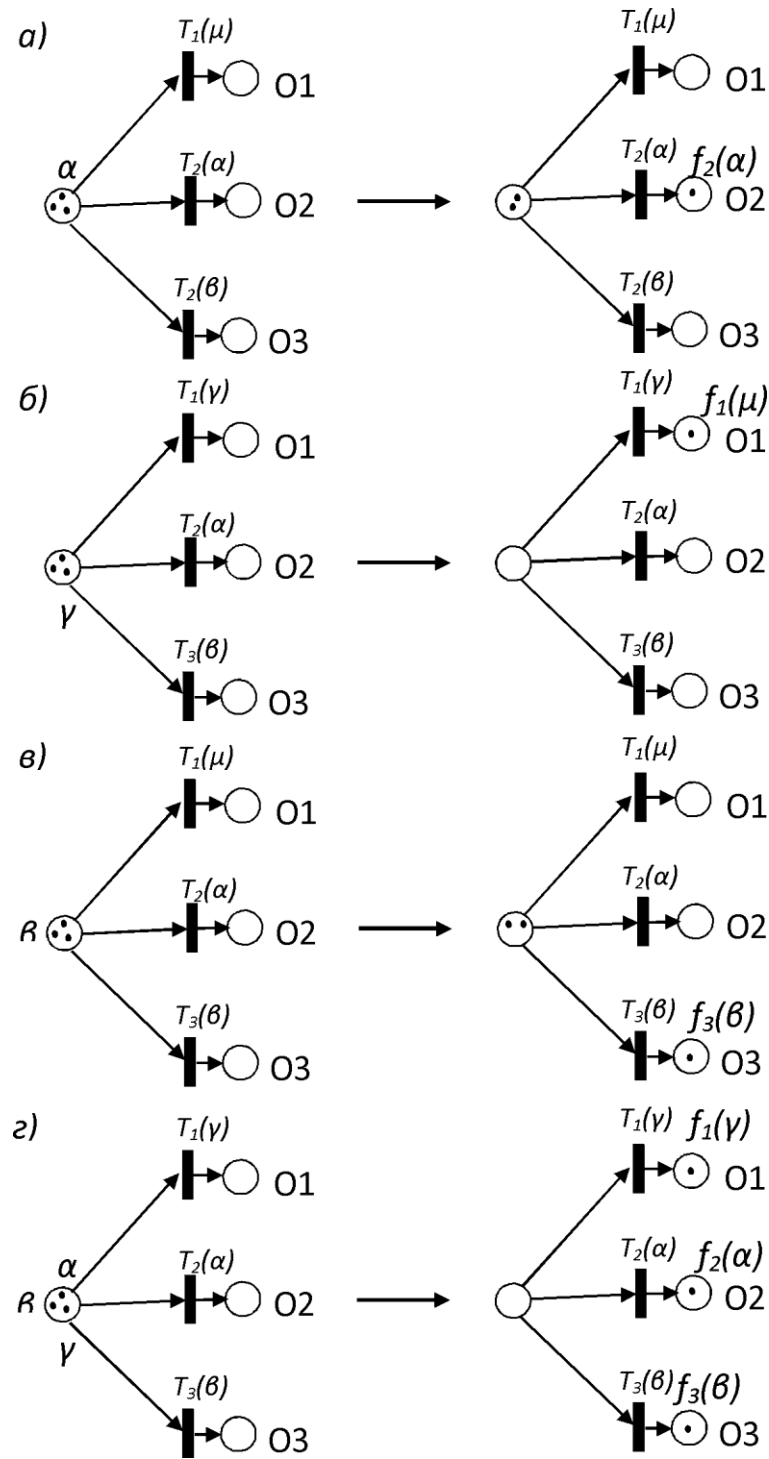


Рис.2.13. Логічна функція «АБО» на кольоровій мережі Петрі

Розглянемо функціонування такої мережі на прикладі, зображеному на рис. 2.14 (Aalst, 1993). Мережа має чотири умови p_1, \dots, p_4 та два переходи T_1 і T_2 . Спочатку може відбутися перехід T_1 , оскільки мітки p_1 та p_2 мають часи появи 3.0 та 2.0. Утворюється мітка 4 в умові p_4 . Її властивості – це певне перетворення властивостей міток p_1 та p_2 та позначено як $ABCD$, оскільки

мітка p_1 мала властивість AB , а мітка p_2 - CD відповідно. Час її появи є 4.25 як сума часу найпізнішої з цих міток, тобто 3.0 та деяке середнє з часу затримки $[0,2]$ на переході T_1 , яке тут взято як 1.25. В момент часу 5.0 може відбутися перехід T_2 , оскільки це найпізніший час появи двох міток 3 та 4. Утворюється в умові p_4 мітка 6, яка має характеристику $EFGH$ як деяке перетворення характеристик EF та GH міток 3 та 4. Час її утворення визначено як 6.5, тобто як суму часу 5.0 найпізнішої з цих міток та значення часу переходу 1.5 як деякого випадкового. Мітки 5 та 6 з утвореними атрибутами будуть визначати характеристики наступних за ними міток в мережі Петрі.

Таким чином, мережі Петрі вищого порядку створюють широкі можливості для дослідження закономірностей функціонування бізнес-процесів з врахуванням великого набору їх властивостей. Такі мережі завжди можуть бути розширені додатковими функціями та параметрами з урахуванням та конкретизацією особливостей кожного окремого бізнес-процесу та створювати умови для визначення особливостей та характеристик його функціонування, в тому числі динамічних. Часова мережа створює умови для оцінки часу виготовлення кінцевого продукту від моменту початку завантаження сировини на першій операції до моменту отримання кінцевого виробу для споживання - тобто вказує час проходження всіх операцій. Для цього необхідно просумувати значення всіх часових параметрів операцій, що входять у відповідний ланцюг виготовлення продукту від входу до виходу.

В кольорових мережах кожній мітці та події (операції) надається додаткова характеристика, яка вказує на її тип. Кожна подія (операція) реагує тільки на мітку відповідного типу. При описі бізнес-процесів така мітка на початку її появи на першій умові (джерелі) описує тип вхідної продукції, а вже на проміжних умовах мережі – характеристики проміжної продукції, утвореної в процесі перетворення вхідної продукції на відповідних операціях.

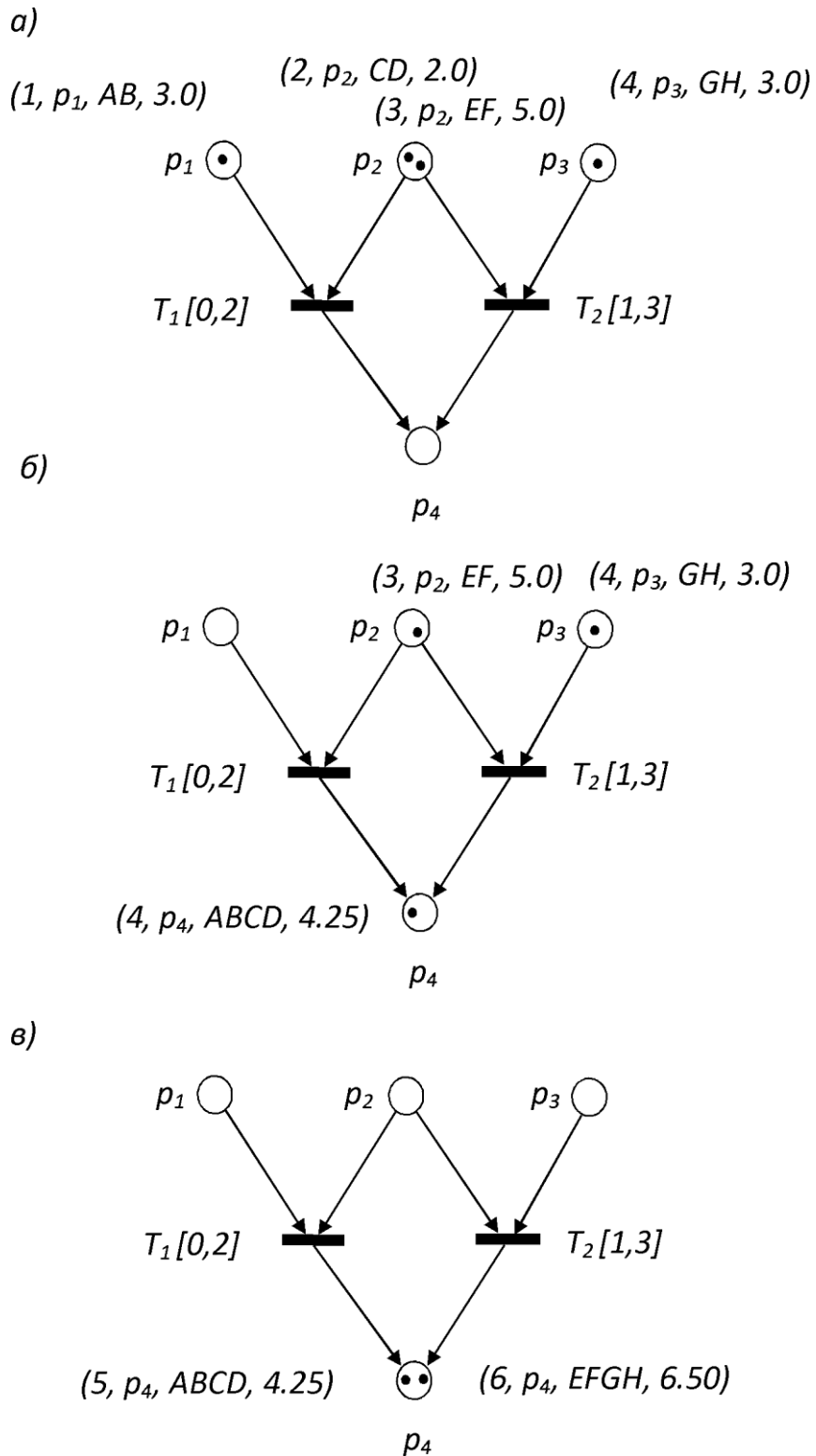


Рис. 2.14. Часова кольорова мережа Петрі (Aalst, 1993)

Після проходження певної події (операції) характер мітки може змінюватися, відповідаючи для конкретного виробничого процесу новоутвореному проміжному продукту. Така мітка, проходячи через

множину подій (операцій) на шляху мережі, несе інформацію про всі перетворення, яких зазнав конкретний вхідний продукт в процесі утворення конкретного кінцевого продукту.

Кольорова мережа Петрі дозволяє визначити ряд важливих характеристик бізнес-процесу, в тому числі виділити множину всіх операцій, які приймають участь у виготовленні даного продукту; оцінити обсяг вхідного продукту як для виготовлення одного кінцевого продукту або сумарний його обсяг для виготовлення всіх продуктів, на що на мережі вказує дерево всіх шляхів від відповідної однієї вершини до всіх кінцевих вершин (дерево досяжності), визначити множину та обсяги всіх вхідних продуктів, необхідних для виготовлення одного кінцевого продукту, на що вказує дерево, що виходить від відповідної кінцевої вершини до початкових (ресурсів); множину всіх операцій, необхідних для виготовлення одного кінцевого продукту та багато інших характеристик. Приклад мережі вищого порядку наведено на рис. 2.15.

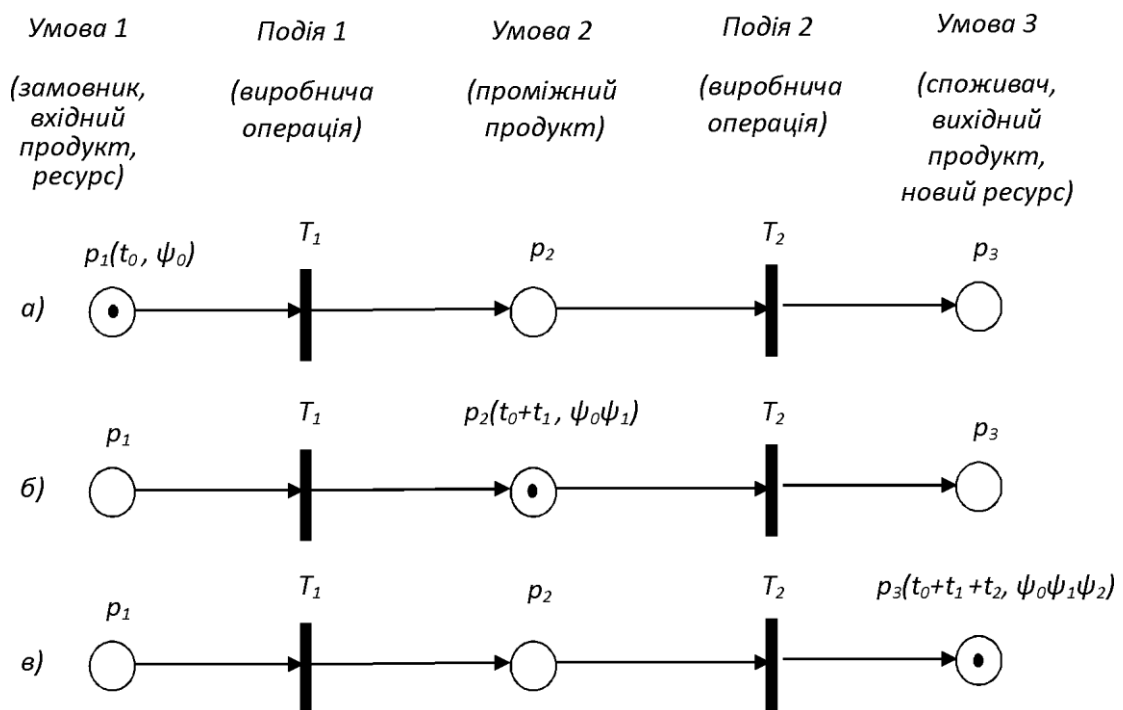


Рис. 2.15. Мережа Петрі вищого порядку

В умові (замовлення, вхідний продукт тощо) мітка має характеристики $p_1(t_0, \psi_0)$, тобто t_0 – це час появи умови, а ψ_0 – її властивості. Після проходження операції (події) T_1 мітка отримує характеристики $p_2(t_0+t_1, \psi_0\psi_1)$, тобто час її появи збільшується на t_1 та продукт отримує властивість $\psi_0\psi_1$. Операція T_2 змінює значення часу появи та властивості продукту на $t_0+t_1+t_2$ та $\psi_0\psi_1\psi_2$.

2.3. Аналізування можливостей нотацій існуючих програмно-інформаційних систем для дослідження та проектування бізнес-процесів підприємств

Дано оцінку ефективності існуючих програмно-інформаційних систем та існуючих мов опису бізнес-процесів. Показано, що мова мереж Петрі є найбільш придатною для опису, дослідження та проектування бізнес-процесів. Запропоновано модель оптимізації бізнес-процесів на основі мереж Петрі на підприємствах та вивчено потреби в оптимізації бізнес-процесів на семи підприємствах.

Для дослідження бізнес-процесів різноманітного призначення розроблено ряд програмно-інформаційних систем, веб-сервісів та мов (Бережной, 2004; Волков, 2005; Григор'єв, 2015; Доррер, 2006; Ехлаков та ін., 2007; Жовтанецький і Твердохліб, 2009; Зыбарева, 2016; Минухин, 2006; Рябухин, 2013; Слепцов і Юрасов, 1986; Чайковська, 2006; Aalst, Hauschildt, Verbeek, 1997; Albert, Jensen і Shapiro, 1989; Van Dongen та ін., 2005; Alves та ін., 2007; CPN Tools; Jansen-Vullers і Netjes, 2006; Zabiński і Maćzka, 2010).

Найбільш поширеними є системи моделювання бізнес-процесів BPM (Business Process Modeling), BPEL (Business Process Execution Language) (Lohmann та ін., 2006), система нотацій для моделювання бізнес-процесів BPMN (Business Process Modeling Notation, OMG, 2006; Dijkman, Dumas, та Chun Ouyang, 2008), керовані подіями ланцюги бізнес-процесів EPCs (Event-driven Process Chains, Aalst, Desel та Kindler, 2002; Kindler, 2006; Rittgen,

1999; Van Dongen та ін., 2007), мова виробничих потоків YAWL (Yet Another Workflow Language, Aalst, 2005; Rozinat та ін., 2008; Russell та ін., 2007); процесні алгебри (Baeten та Weijland, 1990), основані на мережах Петрі системи Protos та CPN (Jansen-Vullers і Netjes, 2006) та інші.

Для досліджень особливостей функціонування підприємств та окремих бізнес-процесів, вивчення їх властивостей доцільно використовувати мови типу процесних алгебр та мережі Петрі, оскільки вони можуть детально, однозначно та якісно їх описувати як асинхронні дискретні системи, маючи чітку формальну семантику. На практиці часто використовують системи BPM, BPEL, EPCs, BPMN, які не мають розвинутих елементів формальної семантики, проте вони простіші у використанні. Вони є менш придатними для глибокого дослідження бізнес-процесів, оскільки залишається багато неоднозначностей в їх описі. Винятком є запропонована науковцями система YAWL, яка має більше практичне застосування і підтримує найбільш поширені моделі управління. Частина шаблонів цієї мови може бути трансформована на мову мереж Петрі, в якій є більші можливості для опису бізнес-процесів.

Для поєднання можливостей обох підходів необхідно поєднати принципи описування властивостей бізнес-процесів з використанням формальної семантики та існуючі практичні моделі, в яких така семантика недостатньо розвинута.

Розглянемо детальніше описи бізнес-процесів в мовах BPMN, EPC, BPEL, YAWL та можливості їх перетворення в мережі Петрі. Для детального опису та дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів мережами Петрі, необхідно мати можливість реалізувати за їх допомогою базові логічні операції, які мають місце у бізнес-процесах. В (Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009) описано систему таких операцій, що наведена на рис. 2.16.

До них належать:

1. Послідовність операцій (Sequence).
2. Розпаралелене розділення операцій (Parallel split).

3. Винятковий (ексклюзивний) вибір однієї з двом можливих наступних операцій (Exclusive choice).
4. Багатоарний вибір операції (Multi-choice).
5. Об'єднання (злиття) операцій (Simple merge).
6. Синхронізація операцій (Synchronization).
7. Відміна операції (Cancel).
8. Повтор операції (Reset).

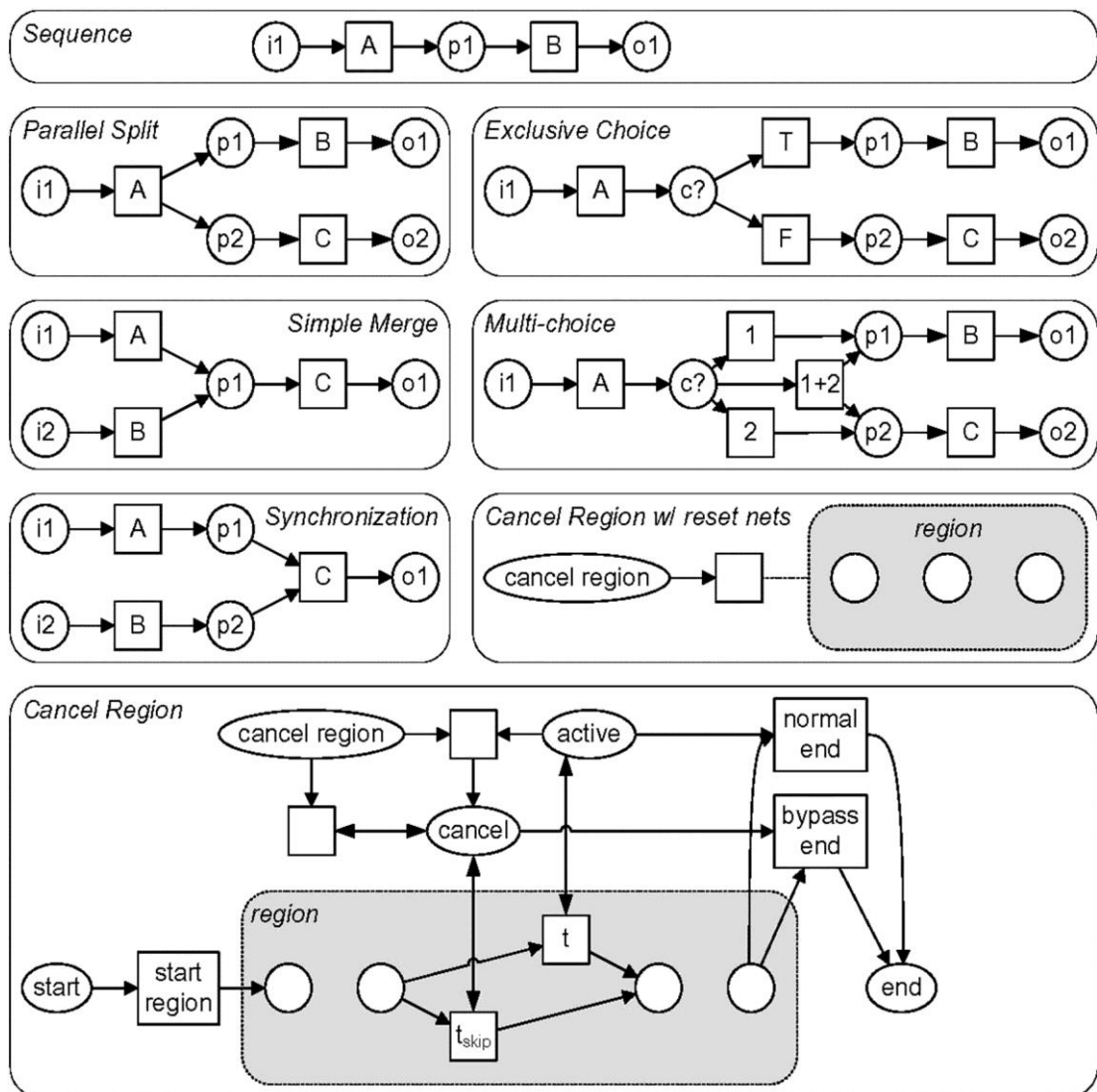


Рис. 2.16. Базові логічні операції бізнес-процесу
(Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009)

У нижній частині рисунку (Cancel region) показані можливі варіанти закінчення виконання операції. Тут наведені дві можливості – звичайне

закінчення (Normal end), що відповідає повному завершенню операції, та незавершене (обхідне – Bypass) закінчення, коли вичерпався час t_{skip} , виділений для виконання операції. В реальних складних виробничих системах таких варіантів може бути значно більше, проте всі вони можуть бути описані вказаними базовими логічними операціями. Зокрема, замість ексклюзивного вибору (Exclusive choice) може бути зовнішній вибір (Deferred choice), наприклад, менеджером, та багато інших виробничих операцій, проте наведений набір базових логічних операцій є достатнім для їх опису.

Система нотацій в BPMN (Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009) є розроблена як стандарт для опису бізнес-процесів. Ця мова описує різноманітні типи об'єктів бізнес-процесів, в тому числі дані, ресурси, виключення тощо. Мова головним чином призначена для опису бізнес-процесів на концептуальному рівні, який є достатнім для зацікавлених у кінцевому продукті осіб, брокерів тощо. Як наслідок, формальна строгість, необхідна для безпосереднього використання автоматизованих методів проектування, зокрема оптимізаційних та перетворення в мову Петрі, тут є відсутньою. Це не було головною метою при розробці специфікації BPMN (Business Process Modeling Notation).

Запропоновано три типи об'єктів в BPMN для опису потоків керування (ControlFlow), а саме: процеси (activities), події (events) та логічні оператори (gateways). На рис. 2.17 вказані основні оператори системи BPMN та приклад процесу для опису функціонування центру обслуговування клієнтів.

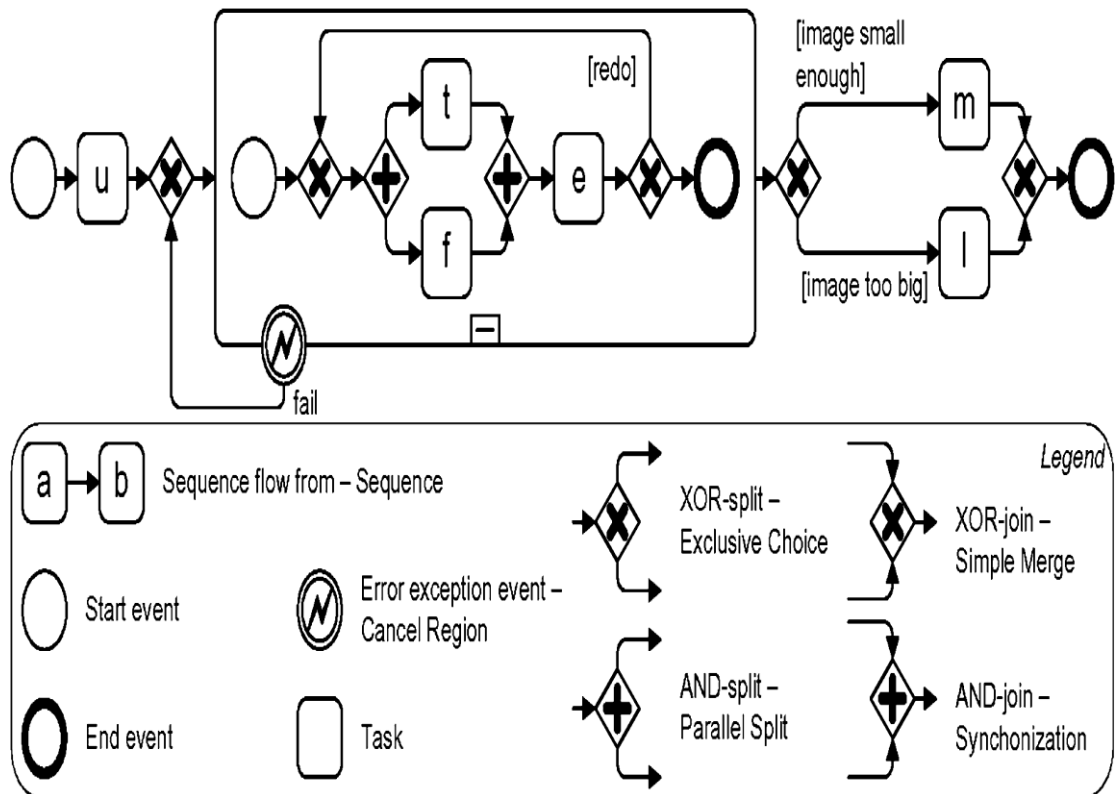


Рис. 2.17. Основні оператори та приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів у мові BPMN (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009)

Як бачимо, дані нотації є недостатніми для застосування формальних методів оптимізації з використанням математичного апарату.

Система EPC була розроблена для забезпечення можливості застосування інтуїтивної мови для опису бізнес-процесів (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009; Rittgen, 1999). Вона призначена для опису бізнес-процесів на концептуальному рівні, та не передбачає їх детального опису на формальному рівні. Основними елементами системи є: функції (functions), події (events) та конектори (connectors). Вони відповідають процесам (activities), подіям (events) та логічним операторам (gateways) мови BPMN.

На рис. 2.18 наведено основні оператори та приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів на мові EPC (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009).

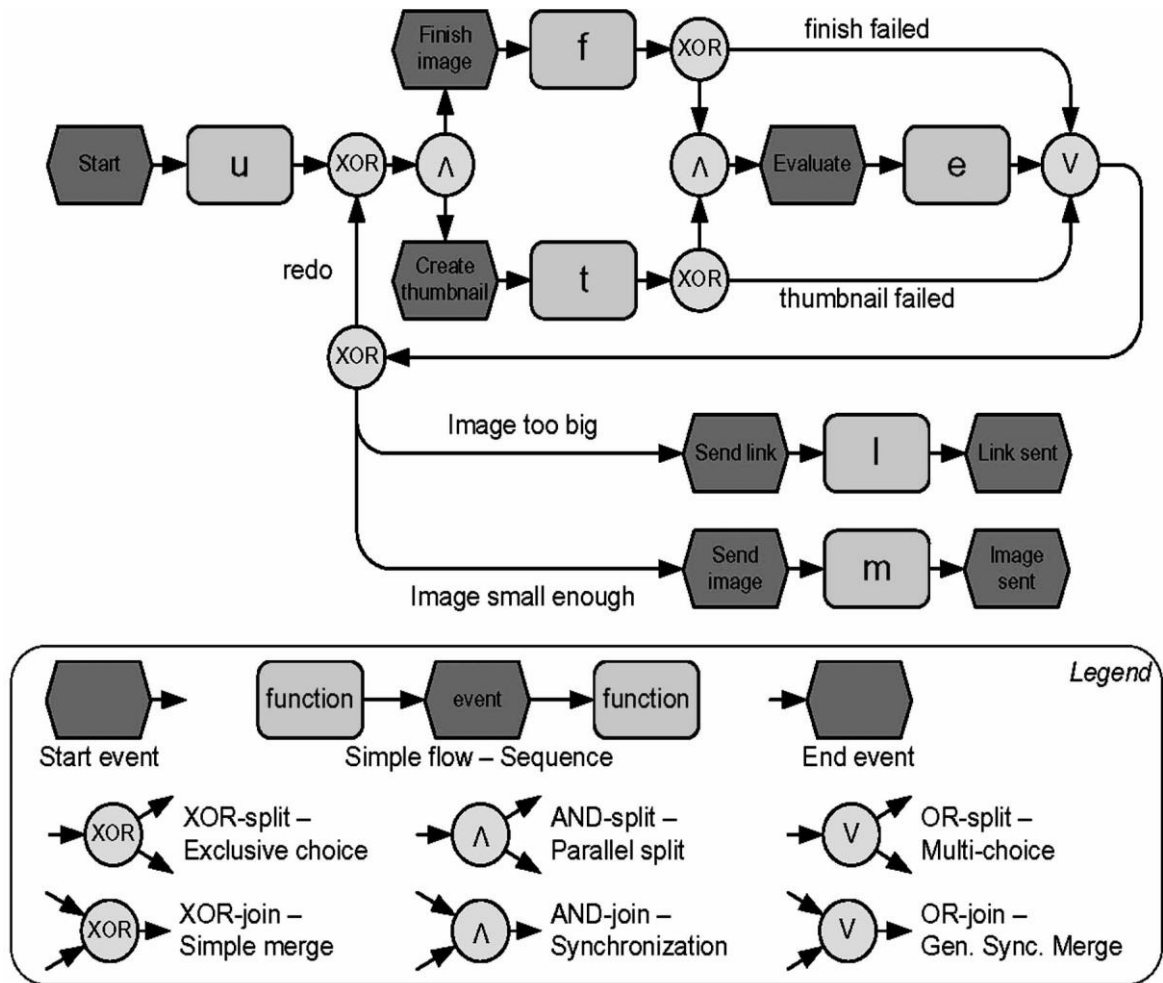


Рис. 2.18. Основні оператори та приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів у мові EPC

(Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009)

Мова EPC використовується рядом організацій, проте як і попередній підхід не може бути застосована безпосередньо для автоматизації процесів з використанням математичних методів, оскільки не має достатньо глибокої для цього формалізації, зокрема має недостатній набір логічних елементів.

Мова BPEL (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009) є мовою для опису поведінки бізнес-процесів на основі веб-сервісів, вона орієнтована на взаємодію з ними, проте як і мова EPC не має достатньої глибини деталізації для їх опису. Приклад опису процесу функціонування центру обслуговування клієнтів в цій мові наведений на рис. 2.19. Мова BPEL є зручною мовою для використання великих операторів, що застосовуються в таких мовах

програмування як C та Java. В такі поняття цих мов як екземпляр, опрацювання винятків і операції введені додаткові ознаки, які необхідні для відображення бізнес-процесів.

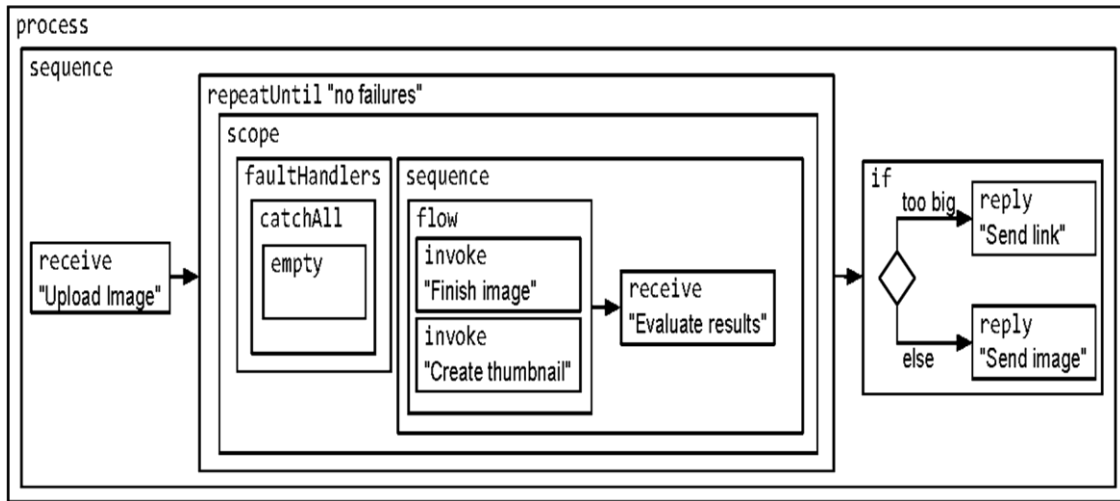


Рис. 2.19. Приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів на мові BPEL (Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009)

Мова YAWL (Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009) була спочатку задумана для опису виробничих процесів. Вона базується на формальній семантиці розширеної мови розмітки і підтримує 19 з 20-ти найбільш часто використовуваних в існуючих мовах шаблонів потоків операцій. В цій мові використовуються два об'єкти для опису елементів управління: задачі (tasks) та умови (conditions). Задачі відповідають діям (activities) у BPMN і функціям (functions) в EPC, та умови – подіям (events) як в BPMN так і EPC.

Мова YAWL підтримує логічні оператори OR, AND та XOR. Модель у мові YAWL може бути перетворена у мережу Петрі, але не навпаки (Lohmann, Verbeek і Dijkman, 2009), оскільки мова мережі Петрі має більші можливості для опису бізнес-процесів ніж мова YAWL. Основні оператори та приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів у мові YAWL зображені на рис. 2.20.

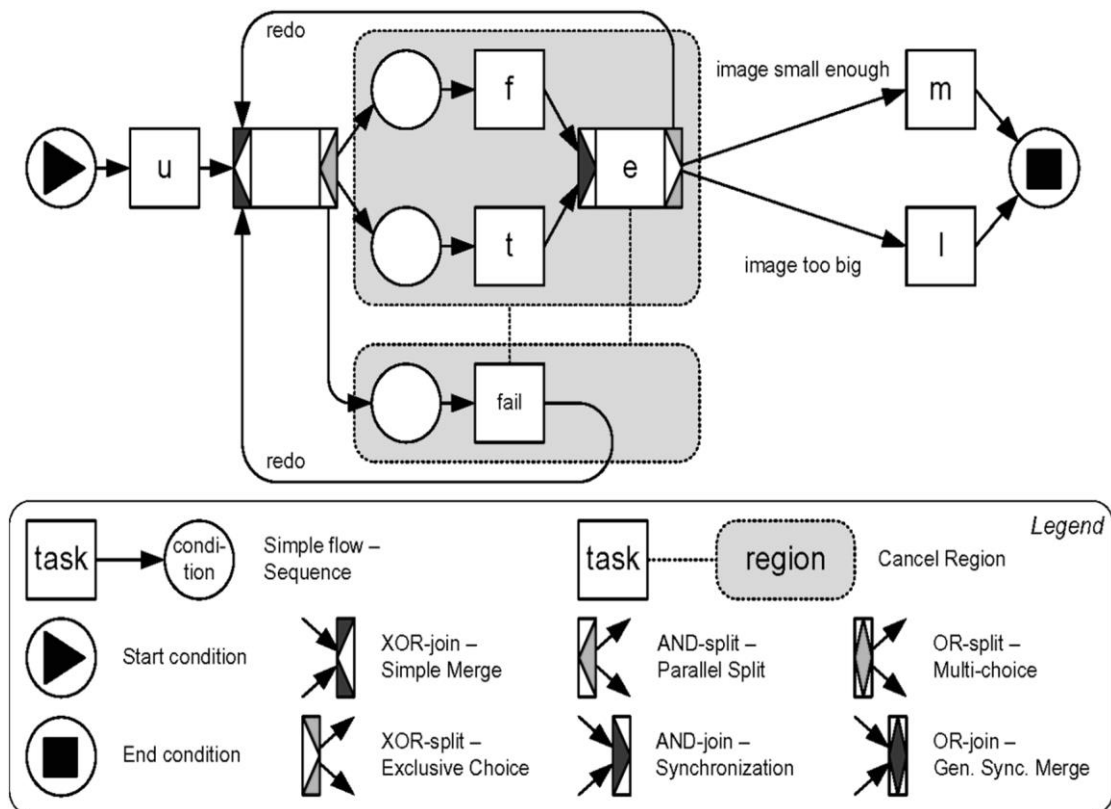


Рис. 2.20. Основні оператори та приклад опису бізнес-процесу функціонування центру обслуговування клієнтів у мові YAWL (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009)

Існує багато трансформацій різних мов опису бізнес-процесів до мови мережі Петрі. Як вже відзначалося, мережа Петрі має можливості для безпосереднього застосування в системах автоматизованого проектування бізнес-процесів, їх оптимізації з використанням математичних методів на вимоги змін зовнішнього та внутрішнього середовищ. Такі можливості тільки частково присутні в інших мовах. Тому мережі Петрі, зокрема вищого порядку – часові та кольорові, слід вважати одними з найбільш ефективних для детального опису та глибокого дослідження бізнес-процесів, та для їх структуризації та реструктуризації.

На рис. 2.21 як приклад наведено просту мережу Петрі для бізнес-процесу обслуговування клієнтів в сервісному центрі (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009) для випадку однопрофільних замовлень, яка розглядалася на рис. 2.17 – 2.20 для інших мов.

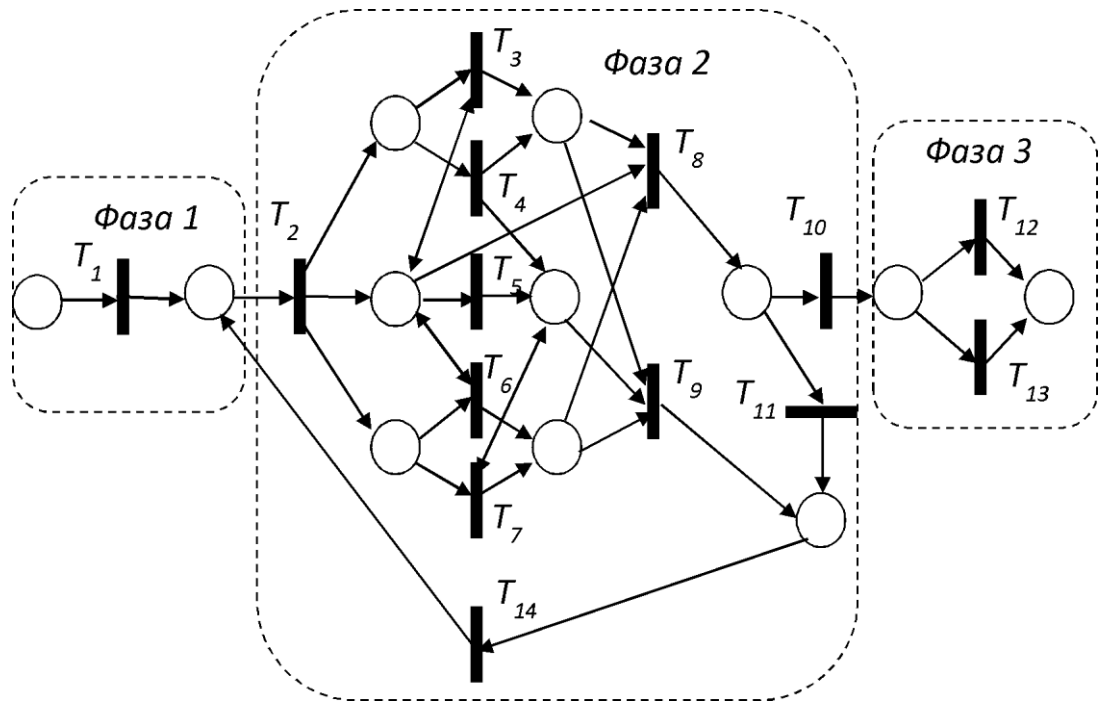


Рис. 2.21. Приклад використання простої мережі Петрі для опису функціонування центру обслуговування клієнтів у випадку однопрофільних замовлень (Lohmann, Verbeek i Dijkman, 2009)

На першій фазі сервісний центр приймає замовлення від клієнта (T_1). На другій фазі відбувається безпосередньо виконання замовлення (T_2). Далі відбуваються такі події: створюється документація (T_3) або не створюється (T_4), виконання зазнало невдачі (T_5), виконання завершено (T_6) або не завершено (T_7), оцінювання якості результатів виконання замовлення (T_8), виконання замовлення припиняється (T_9). Якщо виконане замовлення відповідає вимогам клієнта, воно тимчасово зберігається і результат готується до видавання клієнту (T_{10}). Якщо ж сталася помилка, або якщо оцінка якості є негативною, процедура повторюється (ланцюг T_{11} , T_{14}). На завершення – результат виконання замовлення отримує сам клієнт (T_{12}), або воно транспортується клієнту (T_{13}).

Як бачимо, опис особливостей функціонування цієї системи мережею Петрі є значно більш детальним ніж в інших попередньо розглянутих мовах. Вона дозволяє детальніше ніж модель YAWL описати особливості її функціонування з врахуванням окремих параметрів. Проте, слід зазначити,

що мережа Петрі вищого порядку – *часова кольорова* - більш глибоко деталізує процес, враховуючи часові характеристики та властивості бізнес-операцій у бізнес-процесі. Такі мережі будуть побудовані у розділі 3.

2.4. Аналізування стану формалізації бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах

З метою визначення стану формального опису бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах здійснено опитування менеджменту підприємств. Таке опитування проводилось за допомогою анкетування на визначених підприємствах. Серед них є великі підприємства з іноземними інвестиціями і іноземними власниками, а також вітчизняні підприємства з українськими власниками, в тому числі з державною часткою власності.

Для отримання інформації про бізнес-процеси на підприємствах було визначено шість запитань. Опитування проводилось тільки щодо одного з підрозділів підприємства, тому отримані результати не стосуються усього підприємства. Наявний формальний опис існуючих бізнес-процесів вибирався в анкетуванні з таких способів: стандарт – це текстовий опис процесу з послідовністю виконання кожної дії, блок-схема – опис процесу і його дій за допомогою блок-схем та напрямків і послідовності виконання дій, правила – текстовий опис дій з узагальненими твердженнями, маршрутна карта – послідовний опис операцій з терміном виконання кожної операції. Маршрутні карти найчастіше використовуються в виробничих відділах машинобудівних підприємств. Середня кількість етапів в бізнес-процесах покаже складність цих процесів. Відповідь на питання щодо наявності черг допоможе зрозуміти експертам чи ефективно організовано бізнес-процес чи ні, враховуючи що неефективним процесом є такий, який створює черги.

Останнє запитання в анкеті стосувалось змін, які хочуть запровадити у даних підрозділах підприємства. Були запропоновані наступні зміни, які при описі бізнес-процесу за допомогою мереж Петрі, можуть бути впроваджені:

- скорочення часу виконання конкретного бізнес-процесу, як спосіб прискорення виконання;
- зменшення кількості етапів в бізнес-процесі, як засіб для спрощення процесу;
- зменшення черги, що в результаті повинно привести до покращення обслуговування як внутрішніх замовників так і зовнішніх для певного відділу підприємства.

Проведене анкетування семи підприємств дало змогу вивчити існуючий стан опису бізнес-процесів на підприємствах: 1) ТОВ «Нестле Україна», 2) ТзОВ «Завод ЕЛЕКТРОПОБУТПРИЛАД» концерну «ЕЛЕКТРОН», 3) Завод «ПОЛІМЕР-ЕЛЕКТРОН», 4) ВАТ «Іскра», 5) ЗАТ НВО «Термоприлад», 6) ТзОВ «Леоні Веарінг систем УА ГМБХ», 7) ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод». Результати дослідження відображено в табл.2.1.

Отримана інформація дає можливість проаналізувати наявний стан формального опису існуючих бізнес-процесів на підприємствах і надати рекомендації щодо кроків для їх покращення в заданому напрямку.

Присутність черг очікування на виконання вказує на неефективну організацію наявних бізнес-процесів.

Сучасні підприємства з метою постійного покращення своєї операційної роботи повинні вдосконалювати та оптимізувати усі бізнес-процеси. Для успішної конкурентної боротьби, збільшення прибутку, завоювання та утримання споживачів, такі вдосконалення мають мати постійний характер і бути інтегрованими в щоденну операційну діяльність. Постійні вдосконалення також мають проходити на усіх рівнях управління і в усіх бізнес-процесах на підприємстві.

Таблиця 2.1

Інформація про бізнес-процеси на підприємствах

Показники	Підприємства						
	1	2	3	4	5	6	7
Середня кількість бізнес-процесів	15	26	38	19	47	29	21
Кількість формально описаних	14	21	27	9	15	27	7
Спосіб формального описування бізнес-процесів	Стандарт	Маршрут на карті	Маршрут на карті	Блок-схема	Правила	Стандарт	Блок-схема
Середня кількість етапів в бізнес-процесах	11	59	43	4	19	23	9
Наявність черг очікування на здійснення операції в існуючих бізнес-процесах	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так
Необхідні зміни в бізнес-процесах	Скорочення часу виконання	Зменшення к-сті етапів	Зменшення черги	Скорочення часу виконання	Скорочення часу виконання	Зменшення к-сті етапів	Скорочення часу виконання

Примітка: сформовано автором на основі анкетування

Пропонуємо наступний порядок оптимізації бізнес-процесів на підприємствах, схему якого подано на рис.2.22. На першому етапі управлінський персонал підприємства приймає рішення в яких відділах чи підрозділах розпочати проведення оптимізації бізнес-процесів. В першу чергу найкраще вибирати відділи, які мають найбільший вплив на діяльність підприємства, оскільки ефект від оптимізації бізнес-процесів в таких відділах буде суттєвим для діяльності усього підприємства. На другому етапі необхідно отримати інформацію про стан формального опису та реального виконання існуючих бізнес-процесів. Дуже важливо відразу виявити відмінності від формального опису бізнес-процесів за допомогою блок-схем, стандартів чи маршрутних карт і реальним виконанням цього процесу. Щоб в'яснити як під час операційної діяльності виконується той чи інших процес необхідно, перш за все, опитувати його виконавців без залучення

управлінського персоналу, таке опитування повинно бути відкритим, об'єктивним і не мати негативних наслідків для учасників. Тоді команда, яка проводить анкетування отримає достовірні і правдиві дані. Тому на другому етапі важливо розділити анкетування керівного складу відділу і виконавців робіт.

Після отримання даних анкетування важливою є оцінка обсягу цих даних та їх інформативності. На цьому етапі необхідно оцінити усі отримані результати опитування та враховуючи їх обсяг прийняти рішення про терміни їх аналізування. Можливі різні варіанти таких рішень, серед яких: залучення ресурсів і персоналу підприємства, залучення зовнішнього консультанта для аналізування, визначення строків виконання такого аналізування. Після отримання результатів аналізування створюємо загальну базу даних про наявні на підприємстві бізнес-процеси, їх опис і визначення таких бізнес-процесів, які потребують оптимізації. Порівнюючи поточний стан реалізації певного бізнес-процесу та результату який планується досягнути після оптимізації цього бізнес-процесу, можна виявити ті зміни, які необхідно запровадити. Після визначення змін, які необхідно запровадити в кожному окремому бізнес-процесі, створюється група спеціалістів, які будуть аналізувати бізнес-процеси за допомогою мереж Петрі. На цьому етапі важливим є визначення спеціалістів з необхідною кваліфікацією для такого аналізування. Це можуть бути працівники підприємства або залучені зовнішні консультанти. При створенні цієї групи проводиться оцінювання їх знань і навиків в описі бізнес-процесів за допомогою мереж Петрі. При виявленні недостатності знань – можна провести навчання. Для цього необхідно виділити фінансові ресурси і надати час на таке навчання. Оптимальним варіантом буде робота змішаної групи з працівників підприємства і зовнішніх консультантів. Результатом роботи цієї групи буде аналіз визначених бізнес-процесів, їх опис за допомогою мереж Петрі. Візуалізація цього опису за допомогою графічних інструментів покаже результати аналізування для експертної групи, яка буде вже приймати

рішення про план оптимізації проаналізованих бізнес-процесів. Така експертна група в основному повинна складатись з керівництва підприємства, і бути відповідальною за впровадження змін процесів на підприємстві. Важливим навиком таких експертів має бути досвід в так званому менеджменті змін (change management). План оптимізації проаналізованих бізнес-процесів має включати дії, які необхідно виконати, строки виконання з датою початку і фінальною датою завершення виконання, відповідальними особами за виконання, і при необхідності, визначення команди яка буде виконувати завдання, також визначення необхідних фінансових ресурсів для виконання плану дій.



Рис.2.22. Етапи проведення оптимізації бізнес-процесів на підприємстві з використанням мереж Петрі (розроблено автором)

Важливою є пріоретизація кроків виконання та визначення їх послідовності. Такий план виконання після завершення повинен бути запроваджений у визначених відділах і отримати підтримку керівництва підприємства. Після чого він має бути прокомунікований усім працівникам відділу. Аналізування за допомогою часових мереж Петрі дозволяє визначити витрати часу на кожну операцію та сумарно для всього бізнес-процесу.

На останньому етапі відбувається реалізація виробленого експертами плану дій. На цьому етапі важливим є така функція менеджменту як контроль. Контроль за виконанням працівниками визначених дій, контроль за строками і фінансовими витратами, контроль за послідовністю виконання визначених дій і пріоритетів.

Кольорові мережі Петрі дадуть можливість врахувати властивості окремих бізнес-операцій процесу та ефективно організувати черги очікування на виконання, а також визначати показники ефективності: продуктивність, довжини черг, час очікування, умови відсутності черг, найгірші ситуації, кількість необхідних елементів в черзі для уникнення накопичення замовлень в їх джерелах. Це допоможе оптимізувати бізнес-процеси відповідно до поставлених завдань.

Висновки за розділом 2

1. На основі аналізування наукових джерел встановлено, що існує широкий набір інструментальних засобів для опису, імітації та дослідження закономірностей функціонування підприємств та окремих бізнес-процесів. Сюди слід віднести такі нотації в програмно-інформаційних системах як BPM, BPEL, BPMN, EPCs, YAWL. Показано, що одним з основних їх недоліків є недостатньо глибока деталізація описів бізнес-процесів, що створює труднощі для

аналізування, дослідження закономірностей функціонування при проектуванні нових та реструктуризації існуючих підприємств.

2. Встановлено, що для опису та дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів підприємств доцільно використовувати апарат, який створений для дослідження асинхронних дискретних систем, оскільки вони мають всі їх характерні властивості, зокрема дискретність, асинхронність, наявність у процесів та їх складових явно виражених фаз, видавання інформації про завершення кожної фази процесу, наявність переходів, погодженість та паралельність.
3. Показано, що мережі Петрі мають добре розроблену семантику, що дозволяє однозначно та детально описувати бізнес-процеси як асинхронні дискретні системи, якісно досліджувати їх властивості, вивчати закономірності функціонування. Мережі Петрі, зокрема вищого порядку - часові та кольорові, слід вважати одними з найефективніших інструментів для моделювання на найбільш глибокому рівні бізнес-процесів підприємств, дослідження закономірностей їх функціонування та вдосконалення, в тому числі їх структуризації та реструктуризації. Вони дозволяють описувати всі логічні функції, наявні у бізнес-процесах. Мережі Петрі є необхідними для створення програмно-інформаційних систем автоматизованого проектування бізнес-процесів та робототехнічних систем, їх оптимізації, оскільки дозволяють використовувати потужний апарат сучасних математичних методів. Такі можливості тільки частково присутні в інших системах.
4. На основі проведених досліджень встановлено, що існує потреба поглибленого дослідження можливостей застосування апарату асинхронних дискретних систем та мереж Петрі, як простих так і вищого порядку для вивчення закономірностей функціонування бізнес-процесів підприємств.

5. Розроблено порядок оптимізації бізнес-процесів на підприємствах з використанням мереж Петрі. Узагальнено отриману в результаті анкетування інформацію про способи формалізації бізнес-процесів на семи підприємствах для надання рекомендацій щодо кроків для їх оптимізації. Встановлено, що способи формальних описів бізнес-процесів на підприємствах не дають можливостей глибокого аналізу бізнес-процесів з метою їх оптимізації. При використанні запропонованого порядку оптимізації бізнес-процесів з використанням мереж Петрі підприємство зможе досягнути поставлених завдань щодо змін бізнес-процесів: зменшення черг, скорочення часу виконання операцій, зменшення кількості етапів та інших завдань.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ

3.1. Моделювання бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем

Можливості моделювання бізнес-процесів підприємств як асинхронних дискретних систем розглянуто в працях (Кузьмін та Базилевич, 2012а, 2012b). Для структурного аналізу бізнес-систему опишемо у вигляді орієнтованого графу (орграфу) $G(X, V)$, де X – множина вершин, що відображає операції бізнес-процесу, та V – множина дуг (орієнтовані ребра), що відображає безпосередній спрямований зв'язок між операціями, тобто передачу певного продукту, матеріального чи інформаційного, від однієї операції до іншої.

Множину вершин X графу G утворюють чотири підмножини:

$$X = \{O, I, R, D\}, \quad (3.1)$$

де $O = \{o_1, \dots, o_k\}$ – множина операцій бізнес-процесу, в яких відбувається певне перетворення продукції чи інформації;

$I = \{i_1, \dots, i_l\}$ – множина ініціаторів, що відповідають вхідним продуктам, необхідним для реалізації бізнес-процесу (джерела постачання);

$R = \{r_1, \dots, r_m\}$ – множина результатів, що відповідають кінцевим виробам, утвореним бізнес-процесом (готова продукція);

$D = \{d_1, \dots, d_n\}$ – множина інформаційних джерел, необхідних для керування ходом виконання операцій. Це можуть бути бази даних, Інтернет чи інші ресурси для внесення даних в автоматичному режимі, або менеджери, що надають інформацію вручну.

Кожна вершина множини X описується певною множиною параметрів $\Psi(x)$. Наприклад, для ініціаторів це тип вхідної продукції, її обсяги, вартість, показники якості, постачальник; для результатів – це споживач продукції, що

має теж подібні параметри; для операцій – тип операції, продуктивність, час виконання, вартість; для інформаційних джерел - тип інформації, обсяги та інше. Множину D при потребі можна розбити на дві окремі підмножини: інформаційну та керування.

Множину дуг V графу утворюють чотири підмножини:

$$V = \{V^O, V^I, V^R, V^D\}, \quad (3.2)$$

де V^O – множина операційних дуг, що зв'язують операції множини O між собою, тобто відповідають передаванню напівфабрикатів;

V^I – множина дуг постачання, що зв'язують ініціатори з операціями, тобто шляхи постачання вхідних продуктів;

V^R – множина дуг збуту, що зв'язують операції з результатами, тобто шляхи постачання виготовлених продуктів;

V^D – множина інформаційних дуг, що зв'язують інформаційні джерела з операціями для вводу даних, необхідних для їх виконання.

Кожна дуга множини V описується певною множиною $\Psi(v)$ параметрів. Наприклад, це може бути тип перенесення (ручне, конвеєрне, каналом передавання інформації тощо), обсяги, вартість, затрати часу та інше.

Бізнес-система S в загальному випадку утворюється множиною незалежних бізнес-процесів P_i , кожний з яких має чітко визначені функції виготовлення певного типу продукції (даних):

$$S = \{P_1, \dots, P_s\}; \quad P_i \in S, i = 1, \dots, s. \quad (3.3)$$

Кожний окремий бізнес-процес P_i описується графом (орграфом) $G_i(X_i, V_i)$, де X_i – множина вершин, утворена підмножинами (3.1):

$$X_i = \{O_i, I_i, R_i, D_i\}, \quad (3.4)$$

де O_i – множина операцій бізнес-процесу; I_i – множина його ініціаторів, R_i – множина результат, D_i – множина інформаційних джерел.

Граф бізнес-системи формується об'єднанням графів окремих її бізнес-процесів:

$$G(X, V) = \bigcup_{i=1}^s G_i(X_i, V_i). \quad (3.5)$$

Значення параметрів вершин і дуг графу визначаються об'єднанням відповідних параметрів окремих бізнес-процесів:

$$\Psi(X) = \bigoplus \Psi(X_i); i = 1, \dots, s; \quad (3.6)$$

$$\Psi(V) = \bigoplus \Psi(V_i); i = 1, \dots, s. \quad (3.7)$$

Властивості операції об'єднання \bigoplus визначаються типом параметрів. Якщо це обсяг продукції або час – то має місце просте сумування. Тип операцій є однаковим для всіх відповідних вершин окремих процесів і системи в цілому.

На рис. 3.1 та 3.2 наведено умовну виробничу систему, яка включає три процеси: $S = \{P_1, P_2, P_3\}$. Вхідних продуктів (ініціатори) є 7. Операцій є 18. Кінцевих виробів (результанти) -8. Аналіз графу такої системи дає можливість виділити її структурні особливості:

1. Всі шляхи перетворення довільного вхідного продукту I_i в кінцевий виріб R_j . На рис.3.2а вказано шляхи перетворення продукту I_1 в процесі створення виробу R_1 . Використовуються операції 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 14 та 15.
2. Всі шляхи перетворення довільного вхідного продукту I_i в усі можливі кінцеві вироби R системи S . На рис.3.2б вказано такі шляхи перетворення продукту I_1 . За участю цього продукту створюються кінцеві вироби R_1 та R_2 . Використовуються операції 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 14 та 15 для виробу R_1 . Та операції 1,2,3,9,15 для виробу R_2 .
3. Всі шляхи створення довільного кінцевого виробу R_j в системі S . Вважаємо, що кожний конкретний один виріб може бути створеним тільки одним бізнес-процесом системи. На рис.3.2в показані шляхи створення виробу R_1 . Для цього необхідно використати вхідні продукти I_1, I_2 та I_4 , а також операції 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 14 та 15.
4. Всі шляхи використання довільного вхідного продукту I_i з вказанням операцій та кінцевих виробів, створених за його участю в системі S . На

рис.3.2г вказано шляхи використання продукту I_4 . Використано операції 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15 та 17. За його участю створено кінцеві вироби R_1, R_2, R_4, R_5 та R_6 .

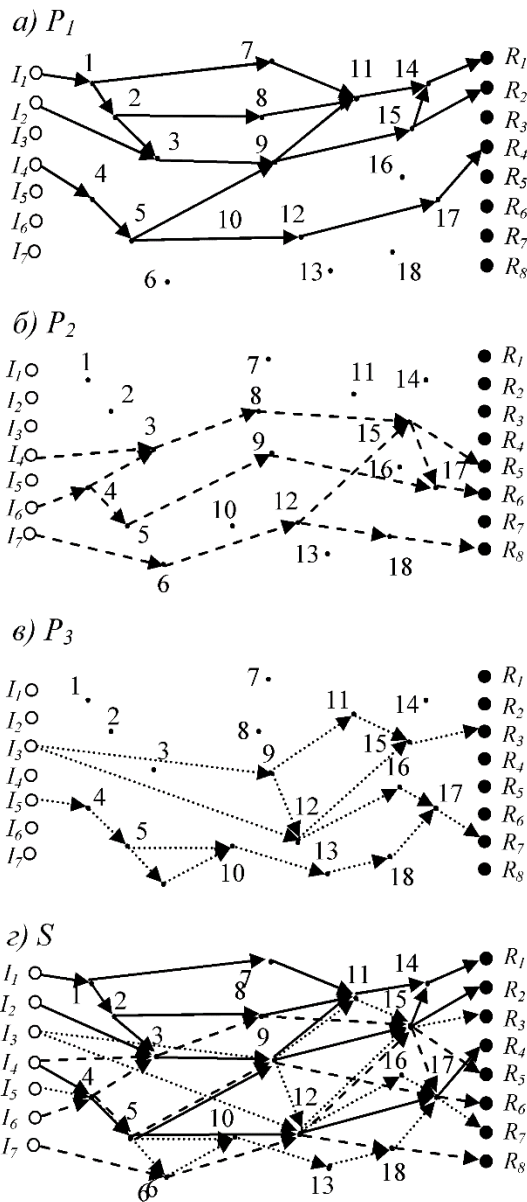


Рис.3.1. Графи (розроблено автором)
 а) бізнес-процесу P_1 ,
 б) бізнес-процесу P_2 ,
 в) бізнес-процесу P_3 ,
 г) бізнес-системи S .

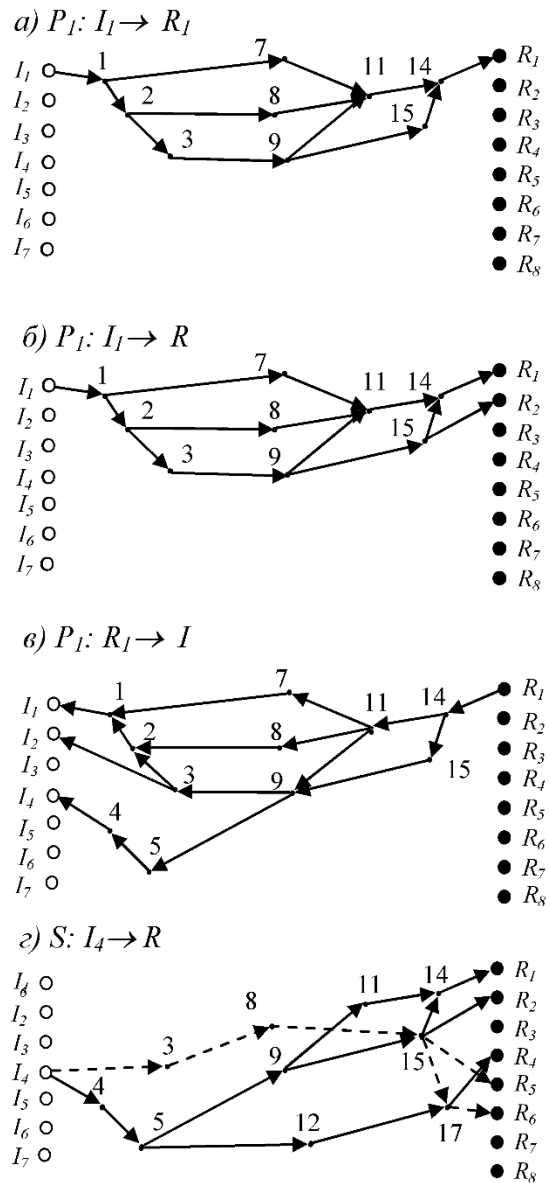


Рис.3.2. Підграфи (розроблено автором)
 а) операцій участі вхідного продукту I_1 у створенні вихідного виробу R_1 ;
 б) операцій участі вхідного продукту I_1 у створенні вихідних виробів системи S ;
 в) операцій створення вихідного виробу R_1 ;
 г) операцій участі вхідного продукту I_4 у створенні вихідних виробів системи S .

На рис. 3.3 наведено умовну виробничу систему, яка утворена трьома бізнес-процесами P_1 , P_2 та P_3 , що включають цикли. Окремо виділено цикли, а також протоколи та репозиції асинхронного виробничого процесу (Варшавский, 1986). Протоколи та репозиції – це дводольні графи, в яких усунуто всі внутрішні вершини та залишено тільки ініціатори та результанти. З графу протоколів безпосередньо видно, які вхідні продукти використовуються для виготовлення певних кінцевих виробів. Так, продукти I_1 та I_2 використовуються для виготовлення виробів R_1 та R_2 , продукт I_3 - для виробів R_5 та R_6 , продукт I_7 - виключно для виробу R_8 . З графу репозицій видно, які вироби утворюються з яких вхідних продуктів. Так, виріб R_3 використовує для свого виготовлення виключно продукт I_3 , а виріб R_7 - продукти I_3 та I_5 .

Описана структура дозволяє виділити окремі цикли виробничого процесу, які зображено на рис. 3.3. Бізнес-процес P_1 має три цикли, причому менший цикл входить у більший цикл; бізнес-процес P_2 має чотири цикли, найменший його цикл входить у всі більші цикли; бізнес-процес P_3 має два незалежні цикли.

Аналіз графу виробничого процесу як асинхронної дискретної системи дає можливість дослідити багато його особливостей, зокрема:

- визначити шляхи проходження кожного вхідного продукту до кожного кінцевого;
- визначити критичні шляхи, що вимагають найбільшого часу для виконання;
- визначити сумарні значення параметрів для кожної операції та шляху, з врахуванням значень параметрів окремих процесів, тобто їх завантаженість;
- визначити сумарні значення показників споживання кожного вхідного продукту;

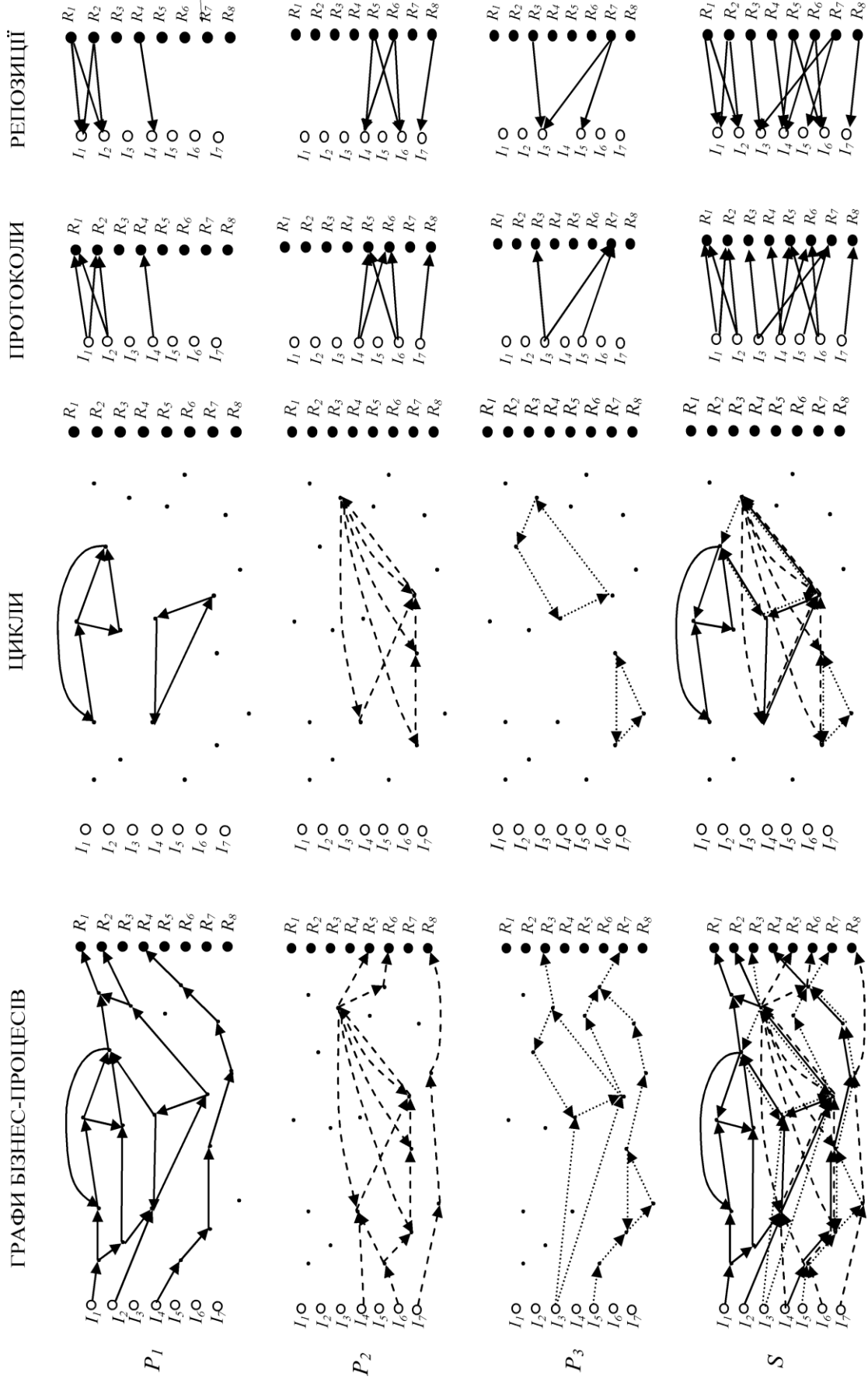


Рис. 3.3. Умовна виробнича система (розроблено автором)

- виділити значення показників кожного кінцевого виробу. Кожний виріб може бути створений тільки в одному процесі (за виключенням повного дублювання процесу);
- визначити операції та шляхи, що мають перевантаженість або недовантаженість;
- визначити ланцюжки, що можуть бути розпаралелені;
- виділити операції, які відповідають за створення кожного окремого вихідного виробу;
- визначити операції, в яких відбувається перетворення кожного вхідного продукту;
- визначити протоколи системи (Рис. 3.3), що безпосередньо вказують для яких вихідних виробів використовується кожний вхідний продукт (перетворення вхід-вихід: $I \Rightarrow R$);
- визначити репозиції системи (Рис. 3.3), що вказують, з яких вхідних продуктів створений кожний кінцевий виріб (перетворення вихід-вихід: $R \Rightarrow I$);
- виділити цикли окремих процесів, в яких відбувається повторне виконання певних операцій, в тому числі ієрархічне входження циклів;
- визначити завантаженість кожного циклу з врахуванням значень параметрів кожної операції та вимог до циклічності (число повторень або умова повернення на попередні операції).

Моделювання бізнес-системи як асинхронного дискретного процесу створює умови для її структурного аналізу, що може бути використано на етапах проектування нових та реінженерії існуючих систем для підвищення їх ефективності. Елементами такого аналізу є виділення ініціаторів, результат та операцій. Така модель дозволяє оцінювати завантаженості операцій та шляхів передачі продуктів; визначати шляхи перетворення

вхідних продуктів, шляхи утворення кінцевих виробів, критичні шляхи та інші елементи бізнес-процесу.

Оптимальна структура підприємства є одним з найбільш важливих чинників, що забезпечують його ефективне функціонування. Для малих підприємств це не викликає суттєвих труднощів, оскільки кількість бізнес-процесів є невеликою, належна їх структура може бути вибрана простим аналізом можливих варіантів. Для середніх та особливо великих організацій вибрати належну структуру не є простим завданням. Для багаторівневої структури, яка має свої відділення, філіали, підрозділи, така задача є доволі складною.

В (Базилевич, 2003а, 2003b, 2011) запропоновано методологію структуризації та реструктуризації підприємства з використанням інформації, утвореної на основі ієрархічної кластеризації бізнес-операцій виробничої системи. Підхід може бути використано для декомпонування підприємства на підрозділи з мінімізацією кількості зв'язків між ними, побудови її багаторівневої структури та інших задач з врахуванням різних обмежень.

При цьому треба виділити такі можливі окремі завдання: скільки рівнів структури необхідно обрати; яку територію має обслуговувати кожен підрозділ; скільки клієнтів має обслуговувати кожен підрозділ на кожному рівні; де розмістити кожен підрозділ та ряд інших, що обумовлені специфікою функцій кожного конкретного підприємства.

Для якісного групування елементів бізнес-процесів пропонуємо застосувати кластерний аналіз як попередню фазу для виявлення оптимальної структури підприємства. Існує ряд методів кластеризації, в тому числі ієрархічної, що виявляє багаторівневу структуру системи, кожен елемент якої відповідає певній групі елементів з більш тісними внутрішніми зв'язками ніж зовнішніми (Hastie, Tibshirani та Friedman, 2009; Jain, 1999; Мандель, 1988). Доцільно виділити три групи методів кластеризації: прямі, висхідні (агломеративні), низхідні (декомпозиційні). Найбільш поширеним серед прямих є метод k -середніх, що мінімізує квадратичну похибку. Його

недолік – кількість кластерів необхідно задавати *a priori*, що може бути ефективним тільки у випадку, коли це значення є відомим. У випадку великої кількості змінних метод дає розв’язок, що відповідає певному локальному екстремуму, вихід з якого є проблематичним, вимагає застосування спеціальних методів, та не гарантує входження в глобальний екстремум. В низхідних методах, в яких на початку розв’язування задачі система розглядається як єдине ціле (один кластер), також необхідно на кожному рівні ділення задавати кількість кластерів. У випадку значної кількості рівнів ієрархічної структури такий підхід тільки посилює недоліки методу *k*-середніх. Тому найбільш доцільним для якісного аналізу реальних виробничих та організаційних структур, виявлення їх оптимальної ієрархії вважаємо висхідні методи. Деякі елементи пропонованого підходу описані в (Базилевич, 2003а, 2003б, 2011).

Важливим чинником для формування оптимальної структури підприємства є аналіз його бізнес-процесів. Необхідно забезпечити групування виконавців за однаковими чи суміжними операціями. Таке групування має багаторівневу структуру. Сприяти формуванню відповідної структури може ієрархічний кластерний аналіз. Розглянемо детальніше принципи пропонованого підходу. Кожне підприємство має певний набір незалежних бізнес-процесів, який опишемо множиною

$$P = \{p_1, \dots, p_n\}; \quad (3.8)$$

де n – кількість всіх бізнес-процесів.

Кожен i -ий бізнес-процес $p_i \in P$ опишемо множиною операцій, необхідних для його реалізації:

$$p_i = \{o_{i1}, \dots, o_{i m_i}\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad (3.9)$$

де m_i – число всіх базових (незалежних, неподільних) операцій, необхідних для реалізації i -ого бізнес-процесу.

Кожен бізнес-процес $p_i \in P$ має щонайменше одну операцію. Звичайно він складається з більшої кількості. Тобто, бізнес-процес опишемо системою одно-, дво-, чи n -арних зв'язків, утворених елементами, що відповідають окремим базовим операціям. Ряд бізнес-процесів з множини P мають однакові операції. Наприклад, машинобудівне підприємство, що виробляє велику номенклатуру виробів, має однакові операції, що виконуються на одному обладнанні. На основі базових операцій кожного окремого бізнес-процесу формуємо множину всіх можливих базових операцій:

$$O = \cup o_{ij}; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m_i. \quad (3.10)$$

Проте багато операцій, що належать різним бізнес-процесам, є однаковими, тобто для багатьох $o_{ij} = o_{rs}$, тобто операція o_{ij} для i -го процесу є такого самого типу, як операція o_{rs} для r -го процесу. В множині O такі операції не повинні повторюватися. Ця множина є набором різних базових операцій для всіх бізнес-процесів P :

$$O = \{o_1, \dots, o_m\}. \quad (3.11)$$

Кожна операція цієї множини має певну вагу

$$\forall o_i \in O [o_i \rightarrow \rho_i]. \quad (3.12)$$

Вагу ρ_i може бути час виконання операції, її вартість, або набір інших параметрів.

Одна й та сама базова операція $o_i \in O$ за своїм типом може входити до багатьох різних бізнес-процесів. Поставимо їй у відповідність набір усіх бізнес-процесів, в яких вона приймає участь:

$$\forall o_i \in O [P(o_i) = \{p_{i1}, \dots, p_{i s_i}\}]. \quad (3.13)$$

Тут s_i - кількість бізнес-процесів, що виконуються з застосуванням операції o_i

Початкові дані опишемо двома списками:

1) списком незалежних бізнес-процесів:

$$LP = \langle p_1, \dots, p_n \rangle; \quad (3.14)$$

2) списком незалежних базових операцій:

$$LO = \langle o_1, \dots, o_m \rangle. \quad (3.15)$$

Кожен процес також описується списком впорядкованих базових операцій:

$$Lp_i = \langle o_{i1}, \dots, o_{i m_i} \rangle. \quad (3.16)$$

Кожна базова операція є необхідною для виконання певного набору бізнес-процесів, що описано списком:

$$Lo_i = \langle p_{i1}, \dots, p_{i s_i} \rangle. \quad (3.17)$$

При структуризації чи реструктуризації виникають такі завдання:

1. Декомпонувати організацію на підрозділи таким чином, щоб мінімізувати їх кількість k :

$$k \rightarrow \min \quad (3.18)$$

з забезпеченням виконання обмежень, кожне з яких не може перевищувати чи бути меншим від заданого значення:

$$\theta_{i \min} \leq \theta_i \leq \theta_{i \max}, \quad i = 1, \dots, t. \quad (3.19)$$

Обмежень θ_i може бути декілька. Наприклад, кількість працівників в кожному підрозділі, набір технічних засобів, площа приміщення та інше.

В процесі розбиття множини бізнес-процесів P на підрозділи за окремими операціями, створюється ситуація, коли частина з них будуть розпочаті та завершені в одному підрозділі, а інші – в кількох різних. Це може бути небажаним. Важливим критерієм оптимізації повинна бути не тільки мінімізація кількості підрозділів, але і мінімізація кількості таких бізнес-процесів. Тому потрібним є другий критерій оптимізації – мінімізація кількості незавершених в кожному окремому підрозділі бізнес-процесів:

$$|P_{нзв}| \rightarrow \min \quad (3.20)$$

Звичайно,

$$n = |P| = |P_{зв}| + |P_{нзв}| = \text{const}, \quad (3.21)$$

де $|P_{зв}|$ – кількість бізнес-процесів, що повністю виконуються в одному підрозділі. Мінімізація незавершених бізнес-процесів викликає максимізацію завершених в окремих підрозділах бізнес-процесів:

$$|P_{зв}| \rightarrow \max \quad (3.22)$$

Критерії оптимізації (3.18) та (3.20) можуть бути конфліктними. Бажано при оптимізації вибирати розв'язок в зоні, де їх прирости не збігаються за знаком, тобто мінімізація одного критерію викликає максимізацію іншого. Іншим підходом може стати лексикографічна оптимізація, при якій на першому етапі оптимізується найбільш важливий критерій, а на наступних кроках – інші зі спадаючою за важливістю послідовністю з наданням певних поступок першим. При такій оптимізації мінімізується кількість бізнес-процесів, що виконуються в різних підрозділах, та максимізується кількість, що розпочинаються та завершуються в кожному окремому підрозділі. Це мінімізує час виконання бізнес-процесів та затрати.

2. Декомпонувати множину бізнес-процесів P таким чином, щоб розмістити їх в заданій кількості підрозділів k . На відміну від попереднього випадку, тут структура організації є заданою. Необхідно для виконання всієї роботи розбити її на k підрозділів таким чином, щоб мінімізувати кількість незавершених бізнес-процесів $|P_{нзв}|$, що виконуються в різних підрозділах.

3. Декомпонувати множину бізнес-процесів P таким чином, щоб розмістити їх в заданій кількості підрозділів k , коли заданою є сумарна вага всіх підрозділів, яка не є меншою від сумарної ваги всіх бізнес-процесів, які повинні бути розбиті по k підрозділах з частковим чи повним входженням. В окремих випадках ваги підрозділів можуть бути однаковими або приблизно

однаковими, тобто кількість базових операцій в кожному i -му підрозділі повинна бути приблизно mi/k . В цьому випадку задається відхилення від рекомендованої ваги підрозділу (наприклад, 1%, 2%, ..., 10%).

4. Побудувати багаторівневу структуру підприємства. Критеріями оптимізації можуть бути мінімізація кількості рівнів, мінімізація кількості зв'язків між підрозділами на кожному рівні та інше.

5. Розподілити бізнес-процеси та окремі їх операції в підрозділах відомої багаторівневої структури з заданими значеннями кількості рівнів, кількості підрозділів на кожному рівні, вагою кожного підрозділу, наприклад, кількістю працівників, площею, технічним забезпеченням тощо. Це задача пакування системи в задану, тобто відому структуру з оптимізацією певних показників, наприклад, мінімізації кількості операцій, що виконуються в різних підрозділах.

При розв'язуванні таких оптимізаційних задач структуризації чи реструктуризації у більшості випадків існують обмеження, обумовлені специфікою конкретного підприємства:

- на ваги кожного підрозділу, які не повинні перевищувати певне значення (приміщення не може бути переповнене виконавцями чи обладнанням), або не повинні бути меншими від певного значення (приміщення не може не використовуватися чи використовуватись частково);
- на кількість підрозділів, що не може бути ні меншою ні більшою від певного значення;
- на кількість зв'язків між підрозділами, тобто бізнес-процесів, що виконуються в різних підрозділах. Наприклад, якщо підрозділи знаходяться на різних територіях, в тому числі в різних країнах, то це може бути обмеження на допустиму пропускну спроможність існуючих засобів комунікації;
- вимоги на приналежність двох чи більшої групи операцій до одного підрозділу, або до заданої групи підрозділів. Наприклад, сильно зв'язані

операції, що з певних міркувань повинні виконуватися однією групою працівників;

– вимоги на розміщення двох чи певної групи операцій у різних підрозділах. Наприклад, вимоги на розділення деяких технологічно несумісних або шкідливих операцій.

При реструктуризації виникають ще й інші завдання. У більшості випадків утворюється нова множина бізнес-процесів P' , яка разом з початковою множиною P має певну множину спільних бізнес-процесів P^c :

$$P^c = P' \cap P. \quad (3.23)$$

Виникає також множина нових бізнес-процесів:

$$P^H = P' \setminus P^c, \quad (3.24)$$

а також множина бізнес-процесів, які вже не будуть виконуватися. Їх необхідно усунути:

$$P^V = P \setminus P^c. \quad (3.25)$$

Умовно ці залежності зображено на рис. 3.4.

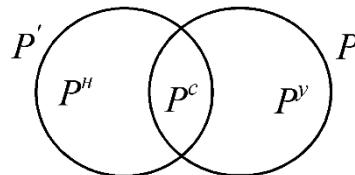


Рис. 3.4. Множини процесів при реструктуризації (розроблено автором)

При реструктуризації виникають такі завдання:

1. Додаються тільки нові бізнес-процеси P^H без усунення попередніх:

$$P' = P \cup P^H, P^V = \emptyset. \quad (3.26)$$

У цьому випадку діяльність організації розширюється.

2. Усувається частина попередніх бізнес-процесів без додавання нових:

$$P' = P \setminus P^V, P^H = \emptyset. \quad (3.27)$$

У цьому випадку діяльність організації звужується.

3. Структура підрозділів залишається без зміни. Необхідно наповнити підрозділи новими бізнес-процесами P^u , залишивши спільні P^c для обох випадків та усунувши P^v , що вже не будуть виконуватися.

4. Структуру підрозділів не вдається залишити без змін, обмежуючись тільки перенаповненням підрозділів. Тоді виникає потреба зміни кількості рівнів структури, їх наповнення шляхом додавання нових підрозділів чи ліквідації деяких існуючих.

Основою для розв'язування всіх перелічених вище завдань є аналіз множини бізнес-процесів P шляхом побудови ієрархічної кластерної структури базових операцій, що описуються множиною O .

Для цього на *першому етапі* пропонується здійснити ієрархічну кластеризацію. Вона може бути двох типів:

1. Ієрархічна кластеризація всіх операцій множини O . Основним початковим елементом є базова операція, яка розглядається як єдине ціле.
2. Ієрархічна кластеризація всіх бізнес-процесів множини P . Основним початковим елементом є бізнес-процес, який розглядається як єдине ціле.

Не надаючи переваг жодному із вказаних типів кластеризації, оскільки це залежить від особливостей бізнес-процесів, розглянемо без зниження загальності перший тип. Ієрархічна кластеризація може бути трьох типів: вільна; частково вимушена; вимушена (“жорстка”).

При вільній кластеризації формується дерево згортання (ДЗ) базових операцій. В загальному випадку воно є n -арним (рис.3.5), тобто кожна вершина може об'єднувати більше ніж одну операцію. На (рис.3.6) побудовано бінарне дерево.

Кожна вершина ДЗ – це кластер, оскільки вона відповідає групі операцій, що є спільним для певної множини бізнес-процесів. Кластер можна вважати кращим (щільнішим, густішим), чим більшою є кількість внутрішніх для нього бізнес-операцій, тобто таких, що розпочинаються та завершуються

в ньому, переважає над кількістю зовнішніх, тобто незавершених бізнес-операцій, які тільки частково виконуються в ньому.

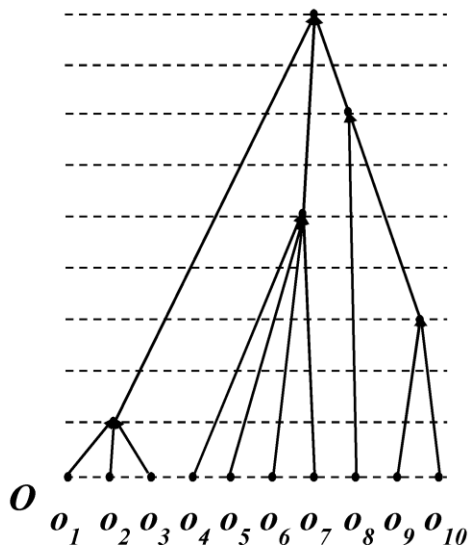


Рис. 3.5. n -арна згортка
(розроблено автором)

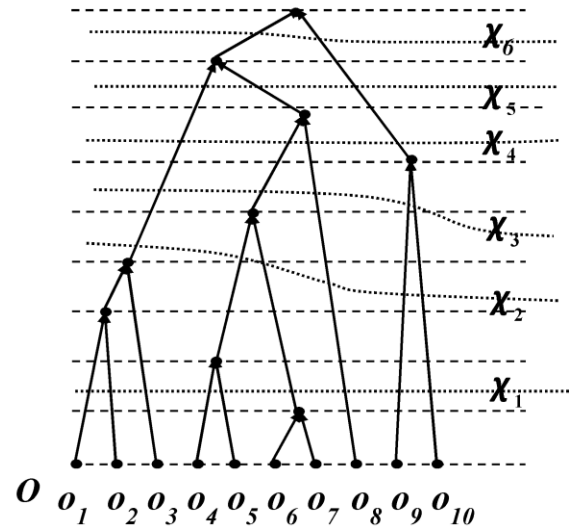


Рис. 3.6. Бінарна згортка
(розроблено автором)

Вершини найнижчого рівня ДЗ відповідають базовим операціям, тобто елементам множини O . Вершини інших рівнів – це кластери, що відповідають групам базових операцій, спільних для кількох бізнес-процесів. Їх можна розглядати як макрооперації, тобто такі, які включають більше ніж одну базову операцію.

Кожний кластер (макрооперація) C_i дерева згортання ДЗ описується такими параметрами:

- кількістю базових операцій (вершин нижнього рівня), які він об'єднує – m_i ;
- сумарною вагою об'єднаних базових операцій $\rho(c_i) = \sum \rho_j$, де ρ_j – вага окремої операції, що формує кластер;
- кількістю операцій, які він об'єднує – η_i ;
- кількістю η_i^+ операцій, які повністю є внутрішніми, тобто завершеними для нього;

- кількістю η_i^- операцій, які частково виконуються і є незавершеними в ньому, і які необхідно завершувати в інших кластерах.

При цьому виконується умова:

$$\eta_i = \eta_i^+ + \eta_i^- \quad (3.28)$$

В залежності від вимог до структуризації чи реструктуризації підприємства можуть виникати різні критерії виділення кластерів. Досягнення бажаної мети забезпечується вибором одного або кількох критеріїв оптимізації. На кожному кроці об'єднуються кластери (на першому кроці – це базові операції множини O), що мають тільки найкраще значення критерію згортання. Критеріями згортання (об'єднання обох кластерів нижнього рівня в один кластер верхнього рівня) можуть бути:

- $q_1 = \eta_i$ - сумарна кількість всіх (завершених та незавершених) в об'єднаному кластері бізнес-операцій. Цей критерій максимізується;
- $q_2 = \eta_i^+$ - кількість завершених в об'єднаному кластері бізнес-операцій. Цей критерій максимізується;
- $q_3 = \eta_i^-$ - кількість незавершених в об'єднаному кластері бізнес-операцій. Цей критерій мінімізується;
- $q_4 = \eta_i^+ - \eta_i^-$ - різниця між кількістю завершених та незавершених в об'єднаному кластері бізнес-операцій. Цей критерій максимізується;
- $q_5 = \lambda_1 \eta_i^+ - \lambda_2 \eta_i^-$ - різниця кількостей завершених та незавершених в об'єднаному кластері бізнес-операцій з врахуванням вагових коефіцієнтів λ_1 та λ_2 кожного типу бізнес-операцій. Цей критерій максимізується.

Крім виділених абсолютних критеріїв можна сформувати відносні, наприклад:

$$q_6 = \eta_i^+ / w ; q_7 = \eta_i^- / w ; q_8 = \eta_i^+ - \eta_i^- / w , q_9 = \lambda_1 \eta_i^+ - \lambda_2 \eta_i^- / w ;$$

де w – кількість базових операцій, що входять в новоутворений кластер. Ці критерії при побудові дерева згортання “вирівнюють” ваги кластерів. При побудові дерева згортання бажано виділити “сильні” (щільні) кластери, в

яких максимізується кількість завершених та мінімізується кількість незавершених бізнес-операцій.

Належним чином побудоване дерево згортання відображає ієрархічну кластерну структуру базових операцій чи бізнес-процесів підприємства. Така структура, проте, не забезпечує виконання всіх заданих вимог (обмежень). Тоді вона розглядається як початковий розв'язок, а побудоване дерево згортання потрібно модифікувати. Базовими елементами для модифікації можуть стати утворені кластери.

На другому етапі необхідно здійснити аналіз утвореного дерева згортання. Для цього доцільно використати такі процедури:

1. Виділення перетинів ДЗ (ПДЗ). Довільний перетин ДЗ виділяє кластери, тобто макрооперації, що відповідають декомпозиції всього бізнес-процесу підприємства на частини. Кожний перетин утворює певну кількість частин. В залежності від бажаної кількості підрозділів організації можна вибирати необхідний перетин. Так, перетин χ_1 утворює два кластери, перетин χ_2 - 3, перетин χ_3 - 4, перетин χ_4 - 5, перетин χ_5 - 6, перетин χ_6 - 9 (рис.3.6).

2. Виділення кластерів ДЗ (КДЗ) з бажаними параметрами. Наприклад, якщо виникає потреба розділити весь бізнес-процес організації на k підпроцесів з однаковою сумарною вагою базових операцій, то в дереві необхідно виділити кластери, ваги кожного з яких наближаються до m/k . Дерево згортання може не мати кластерів з точними значеннями цієї величини. Тоді вибираються кластери, які найкраще наближаються до цього значення.

Результатом аналізу утвореної деревом згортання ієрархічної кластерної структури є:

- кількість її рівнів;
- кількість кластерів на кожному рівні;

- склад кожного кластера та його характеристики: множина базових операцій, які він охоплює; їх кількість; сумарна їх вага; множина бізнес-процесів, які він охоплює з виділенням внутрішніх (повністю завершених) та зовнішніх (незавершених) бізнес-процесів; кількість кластерів нижчого рівня; сумарна кількість включених базових операцій та інше;

На третьом етапі модифікуємо дерево згортання з забезпеченням бажаних вимог до структури підприємства.

Для цього пропонуємо використати такі базові процедури:

1. Вилучення елементів (операцій) ВО - вилучення з виділеного на ДЗ кластера для відповідного його перетину необхідної кількості базових операцій з мінімізацією кількості незавершених операцій для забезпечення бажаних обмежень

2. Додавання елементів (операцій) ДО – додавання до виділеного на ДЗ кластера бажаної кількості базових операцій з мінімізацією кількості незавершених операцій (зовнішніх зв'язків) для забезпечення бажаних обмежень.

Використання виділених базових процедур забезпечує можливість модифікувати дерево згортання з декомпонуванням підприємства за вибраними критеріями та заданими обмеженнями.

На четвертому етапі розв'язок оптимізуємо. Тут можливе додаткове перенесення деяких елементів з одного кластера в інший з мінімізацією кількості зв'язків, тобто незавершених в кластері операцій. Для цього необхідно розробити спеціальні процедури.

Ієрархічна кластеризація, здійснена запропонованим вище підходом, дозволяє суттєво спростити задачу формальної структуризації підприємства завдяки переходу на оперування кластерами замість базових елементів, що значно зменшує її складність.

3.2. Дослідження структури та закономірностей функціонування бізнес-процесів підприємств із застосуванням мереж Петрі

Як вже було показано в розділі 2, інтерпретацією асинхронної дискретної моделі бізнес-процесів є мережі Петрі. Вони дозволяють описувати та вивчати особливості бізнес-процесів різноманітної структури на найбільш детальному рівні. Розглянемо закономірності функціонування низки бізнес-процесів за допомогою апарату мереж Петрі як простих, так і вищого порядку (часових та кольорових).

Бізнес-процес з використання ресурсів підприємства. Прості мережі Петрі застосовують для опису та дослідження особливостей використання ресурсів в бізнес-процесах (Кузьмін та Базилевич, 2012с). На рис. 3.7 побудовано мережу Петрі для бізнес-процесу зі збереження ресурсів. Процес має шість операцій $t1 \dots t6$ та сім умов $p0 \dots p6$, що утворюють три незалежні групи операцій: $t1-t4$, $t2-t5$ та $t3-t6$. Умови можуть відповідати ресурсам, необхідним для виконання операцій. Кожна з умов $p1$, $p2$ та $p3$ відповідає своїй групі операцій, проте її виконання (наявність мітки) ще не створює достатні можливості для виконання операцій в групі. Достатньою умовою для реалізації операцій однієї з цих груп є додаткове обов'язкове виконання умови $p0$, що може відповідати потребі додаткового спеціаліста певного фаху, або іншого виробничого ресурсу. Проте, такий спеціаліст (ресурс) є тільки один. Тому на першому кроці може відбутися тільки одна з операцій $t1$, $t2$ або $t3$. В початковому стані (рис. 3.7a1) виконаними є умови $p0$, $p1$, $p2$ та $p3$. За таких умов відбувається тільки одна з операцій: або $t1$ або $t2$ або $t3$. Нехай відбувається операція $t1$. Результат її виконання показаний на рис. 3.7a2 (наявність міток в умові $p4$). На наступному кроці може бути виконана тільки операція $t4$, оскільки для її реалізації достатнім є виконання умови $p4$. Після її виконання процес повертається в початковий стан (рис. 3.7b1). В такому стані може повторитися або виконання операцій в групі $t1-t4$ або виконання операцій в одній із груп $t2-t5$ або $t3-t6$, що

зображено на рис. 3.7б1-б2 та рис. 3.7в1-в2. Кількість міток при всіх можливих перетвореннях в бізнес-процесі зберігається сталою і дорівнює 4.

Як бачимо, мережа добре ілюструє властивість збереження ресурсів. На підприємствах це можуть бути людські ресурси, обладнання, виробничі площі тощо.

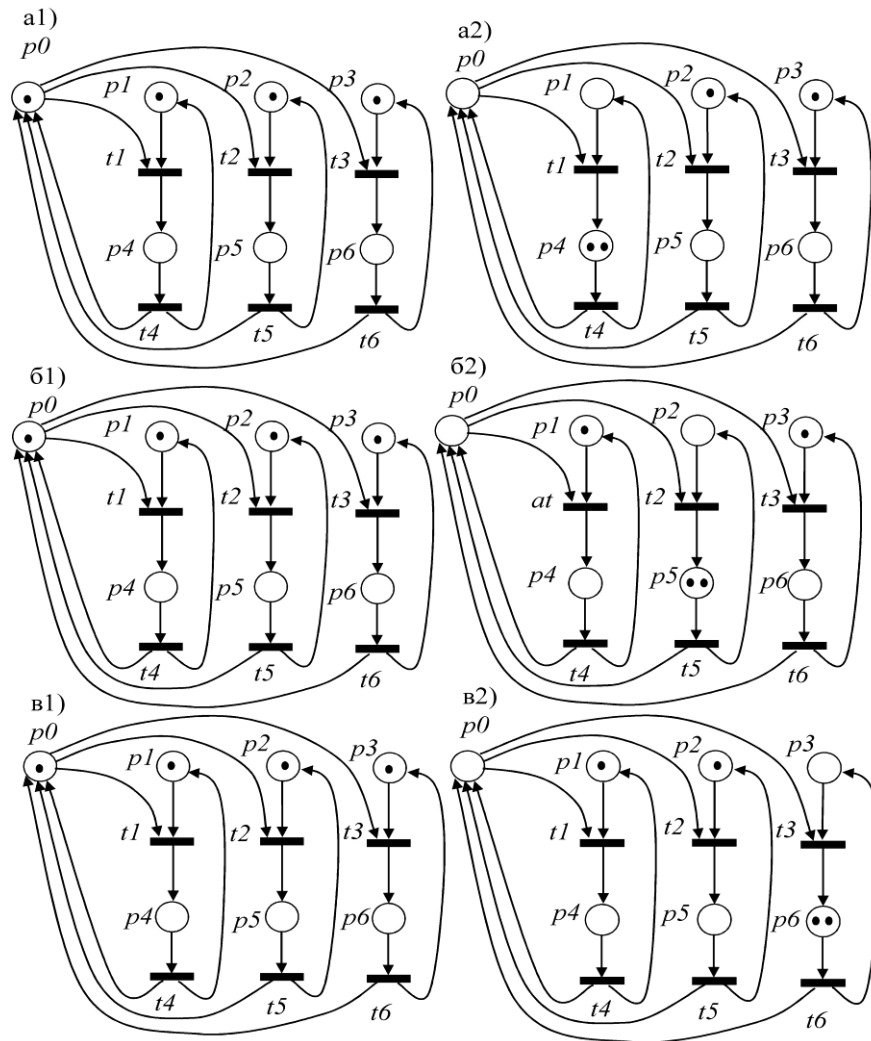


Рис. 3.7. Мережа Петрі для бізнес-процесу зі збереження ресурсів
(розроблено автором)

Бізнес-процес з послідовним та паралельним використанням ресурсів і утворенням тупика. Дослідження властивості *активність* дає можливість виявити, чи може відбутися певна операція або їх група. В бізнес-процесі можуть утворитися умови, коли продовження процесу є неможливим. Дослідження такої властивості є особливо важливим для вивчення

особливостей функціонування підприємства, де вирішальним є наявність в достатній кількості належних ресурсів в довільний момент часу, в тому числі для робототехнічних, конвеєрних чи інших систем. У бізнес-процесах можлива поява ситуацій, коли деяких ресурсів не вистачає та виробництво зупиняється. В мережі Петрі такі ситуації називаються тупиками, змінити цей стан можна введенням додаткових міток. Аналіз мережі Петрі дає можливість виявити такі ситуації і при проектуванні бізнес-процесів підприємств їх передбачити. На рис. 3.8 наведено приклад утворення подібної ситуації.

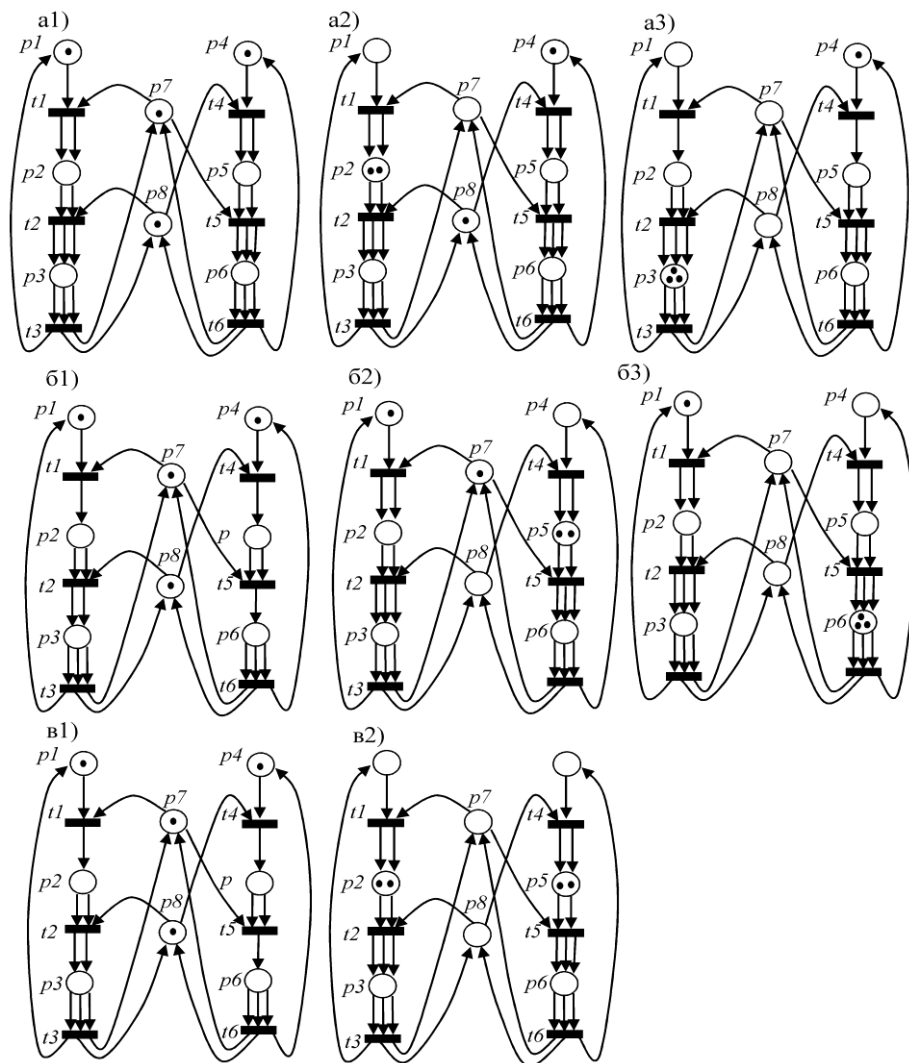


Рис. 3.8. Мережа Петрі для бізнес-процесу з послідовним (а,б) та паралельним (в) використанням ресурсів і утворенням тупика (розроблено автором)

Нехай маємо два незалежні відносно операцій бізнес-процеси. Перший використовує операції $t1$, $t2$ та $t3$; другий – $t4$, $t5$, $t6$. Для реалізації обидва процеси потребують використання ресурсів $p7$ та $p8$. Якщо перший процес ці ресурси буде використовувати послідовно – спочатку $p7$ а потім $p8$, а другий процес буде очікувати закінчення роботи першого процесу, то перший процес успішно закінчить свою роботу (рис. 3.8а1, а2, а3). Після чого може розпочати роботу другий процес, який також успішно його завершить, якщо перший процес не буде робити спроби повторити свою роботу (рис. 3.8б1, б2, б3). Якщо ж обидва процеси почнуть роботу одночасно (паралельно), то перший на першому кроці використає ресурс $p7$, а другий – ресурс $p8$ (рис. 3.8в1, в2). На наступному кроці першому процесу для продовження роботи потрібним буде ресурс $p8$, а другому – $p7$. Проте обидва ресурси будуть продовжувати використовуватись іншим процесом. Утворюється *тупикова ситуація*, процеси є заблокованими відсутністю належної кількості ресурсів для продовження їх роботи.

Аналогічна тупикова ситуація також утворюється при послідовному почерговому використанні ресурсів (рис. 3.9). На рис.3.9 а зображено початковий стан. На першому кроці відбулася операція $t1$ (рис. 3.9б), і на другому - операція $t4$ (рис. 3.9в).

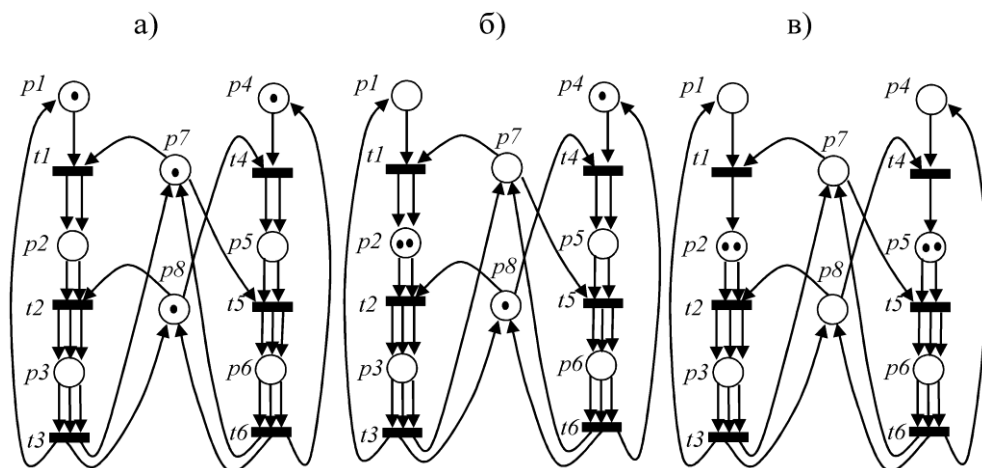


Рис. 3.9. Мережа Петрі для бізнес-процесу з почерговим використанням ресурсів і з утворенням тупика (в) (розроблено автором)

Модель Петрі можна використати не тільки для виявлення тупиків, але й усунення можливостей їх утворення. Причиною появи тупика в прикладі рис. 3.8в та рис. 3.9в стала нестача ресурсів $p7$ та $p8$. Збільшенням їх числа до двох (дві мітки в кружечках, тобто збільшення ресурсів) створює умови для успішного завершення всіх операцій при паралельній реалізації (рис. 3.10).

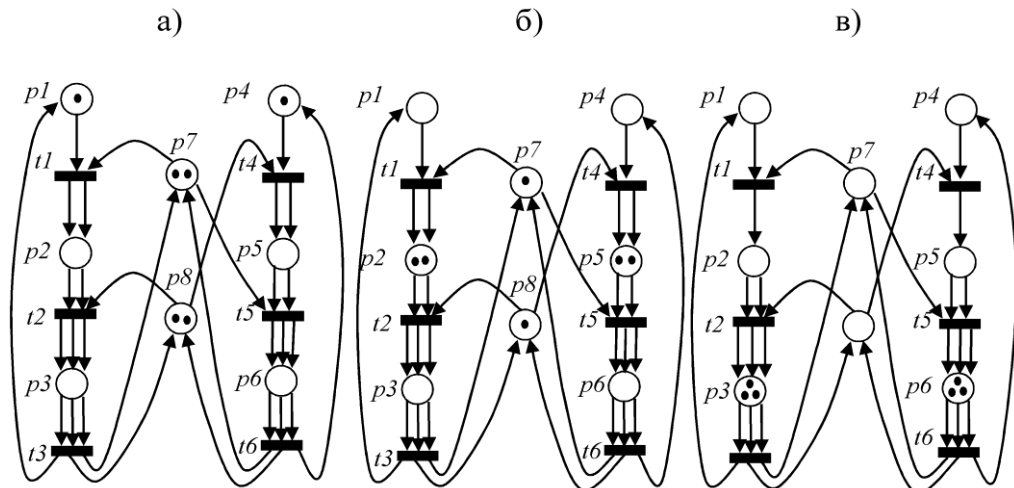


Рис. 3.10. Мережа Петрі для бізнес-процесу з паралельним використанням ресурсів без утворенням тупика (розроблено автором)

Простір станів. Одним з елементів аналізу підприємств є побудова простору станів, що відображає всі можливі ситуації, в які можуть увійти операції в бізнес-процесах, включно з послідовністю їх утворення (Peterson, 1981). Простір станів відображається *деревом досяжності*, яке вказує на послідовність виникнення кожної ситуації, тобто що є її попередником, та якими можуть бути наслідки і за яких умов. Для аналізу особливостей функціонування бізнес-процесу важливо дослідити всі його стани, послідовності їх утворення. Дерево досяжності описується деревистою графовою структурою. Перша вершина дерева відповідає початковому стану. З цієї вершини виходять дуги у всі стани, які можуть утворитися з початкового стану. Аналогічно з кожної наступної вершини дерева виходять дуги в стани, що можуть виникнути як черговий крок перетворень в системі.

Дерево досяжності має декілька типів вершин: термінальні, дублювальні та внутрішні. Термінальна вершина відповідає стану, який

змінити неможливо, тобто на мережі Петрі вже немає маркування, яке б дозволило будь-який новий перехід, тобто зміну стану бізнес-процесу. Це може відповідати або повному завершенню виконання бізнес-процесом поставленого завдання, або появою тупика, наприклад, відсутністю належних ресурсів для продовження роботи. Така ситуація виникла в системі на рис. 3.8в2, коли продовження процесу вже є неможливим, в даному випадку через відсутність ресурсів – кружечки (ресурси) $p7$ та $p8$ не мають міток, необхідних для будь-якого наступного переходу.

Дублювальні вершини дерева вказують на повторення ситуації, яка вже була в системі раніше. Тому продовжувати нарощення дерева немає сенсу. Внутрішні вершини відповідають станам системи, які повторюються тільки з іншими значеннями міток, іншою їх кількістю. Продовжувати нарощувати такі вершини дерева немає потреби, достатньо описати принципи змін кількості міток. На рис. 3.11 подано дерево досяжності для бізнес-процесу з рис. 3.7.

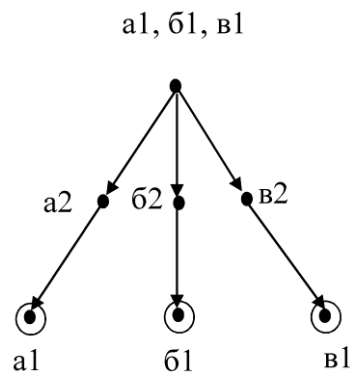


Рис. 3.11. Дерево досяжності для моделі Петрі бізнес-процесу з рис. 3.7
(розроблено автором)

Як бачимо, з початкової вершини виходять три дуги, які вказують на три можливі перетворення станів – ситуації a , b та v . Після першого переходу для кожної ситуації можливим стає тільки одне продовження процесу. Далі настає повернення до початкової ситуації, тобто це дублювальні вершини, тому продовжувати подальшу побудову дерева немає сенсу. На рис. 3.12 наведено дерево досяжності для бізнес-процесу з рис. 3.8.

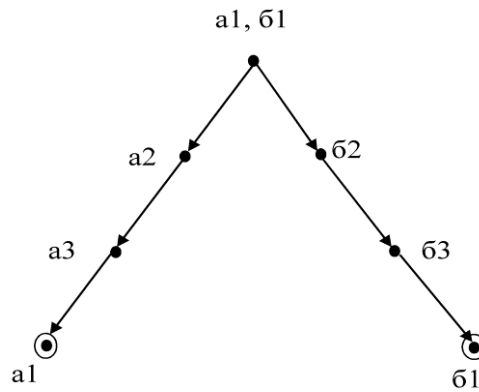


Рис. 3.12. Дерево досяжності для моделі Петрі бізнес-процесу з рис.3.8
(розроблено автором)

Розглядаються послідовні перетворення станів (рис. 3.8а та рис. 3.8б). Тут можливими продовженнями є тільки дві ситуації. Кожна з них має лише по два наступні стани, після чого ситуації повторюються, що відображено двома дублювальними вершинами $a1$ та $б1$. На рис. 3.13 показано дерево досяжності для бізнес-процесу, зображеному на рис. 3.9. Тут утворюється тупикова ситуація, представлена термінальною вершиною. Такий процес продовжуватися не може, він стає неактивним.

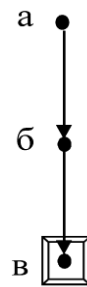


Рис. 3.13. Дерево досяжності для моделі Петрі бізнес-процесу з рис. 3.9
(розроблено автором)

Покривання також є важливою властивістю мережі Петрі, яку доцільно використовувати при дослідженні закономірностей функціонування бізнес-процесів. Вважається, що вершина дерева досяжності покриває іншу, якщо від неї існує шлях до такої вершини. Так, вершина $a2$ на рис.3.12 покриває вершину $a3$. Вершина $б3$ не може бути покритою вершиною $a2$. Вершина $a1$ покриває вершину $a3$ через проміжну вершину $a2$. Тобто, властивість

покривання вказує на транзитивне (не обов'язково безпосереднє) слідування операцій в бізнес-процесі. Вершина b на рис. 3.13 безпосередньо покриває вершину v , тобто ці дві операції ідуть одна за одною. Для процесів ця властивість вказує на можливість переходу з одного стану в інший.

Бізнес-процеси з використанням складів. На рис. 3.14 побудовано мережу Петрі для бізнес-процесу «Один виробник – декілька споживачів».

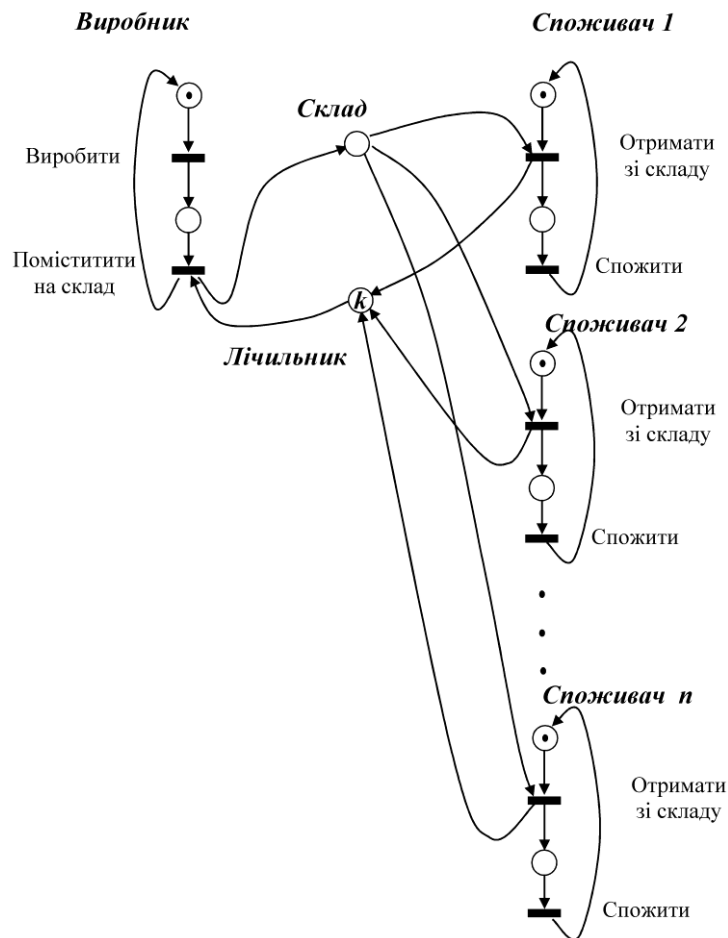


Рис. 3.14. Мережа Петрі для бізнес-процесу «Один виробник – декілька споживачів» (розроблено автором)

Проміжним елементом між споживачами та виробником є склад з обмеженими можливостями. Для обліку стану складу є лічильник. На складі може поміститись не більше k виробів. На початку роботи на лічильнику є k міток; на складі виробів немає - число міток у відповідній умові є 0 ; виробник є готовим до виробництва продуктів, а споживачі до їх використання, що представлено наявністю відповідних міток у відповідних умовах на рисунку.

Виробник та споживачі не зв'язані між собою в часових параметрах, тобто працюють незалежно. Виробник може неперервно виробляти продукцію до моменту появи в лічильнику цифри 0, а споживачі використовувати її, поки на складі є наявними вироби. Після появи в лічильнику цифри 0 операція «Помістити на склад» вже не може бути виконана, внаслідок чого умова для операції «Виробити» також не буде виконуватися, тобто виробництво продукції припиниться. Як тільки довільний із споживачів виконає операцію «Отримати зі складу» значення лічильника збільшується на одиницю, що створить умови для поновлення виробництва.

На рис.3.15 побудовано мережу Петрі для бізнес-процесу «Декілька виробників – декілька споживачів зі спільним складом постачання».

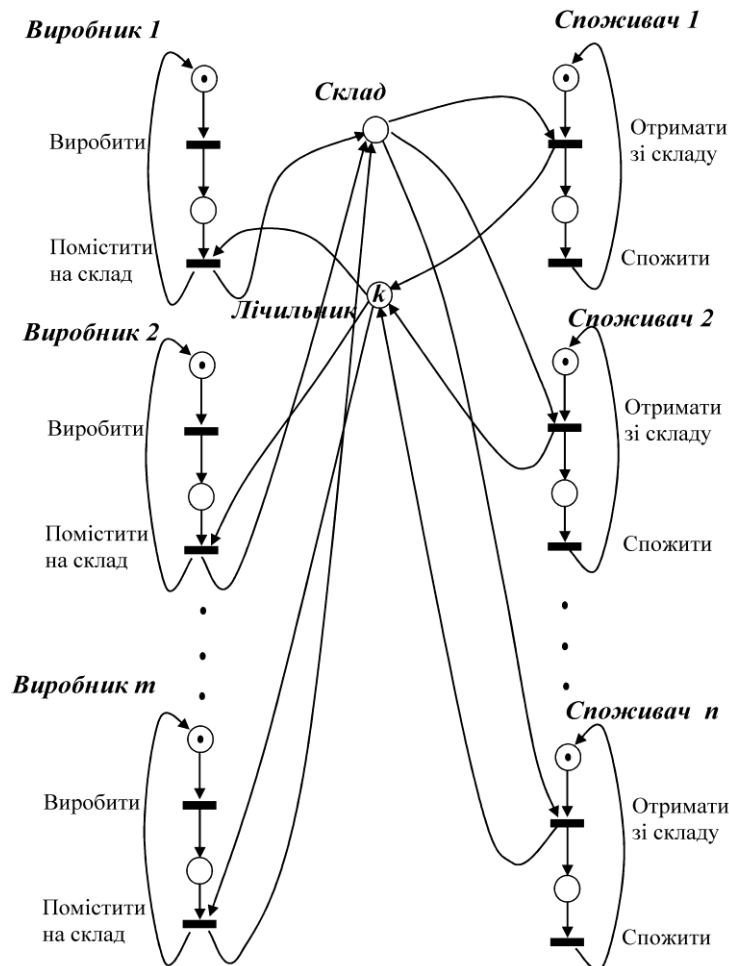


Рис.3.15. Мережа Петрі для бізнес-процесу «Декілька виробників – декілька споживачів зі спільним складом постачання»

(розроблено автором)

Проміжним елементом між споживачами та виробниками є один спільний склад постачання з обмеженими можливостями. Виробники та споживачі працюють незалежно. Виробники можуть неперервно виробляти продукцію, поки склад не є наповненим, а споживачі – неперервно її споживати, поки на складі є вироби.

На рис. 3.16 побудовано мережу Петрі для бізнес-процесу типу «Комплектування виробу». Утворені виробниками $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1,k-1}, t_{1k}$ вироби $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1,k-1}, p_{1k}$ є готовими для споживання. Одночасно завершено збирання попереднього виробу p_2 , про що свідчить наявність мітки в умові p_4 . Створені всі необхідні умови для збирання цих виробів в один продукт, тобто початку реалізації операції t_2 зі створенням умови p_2 (рис. 3.16б).

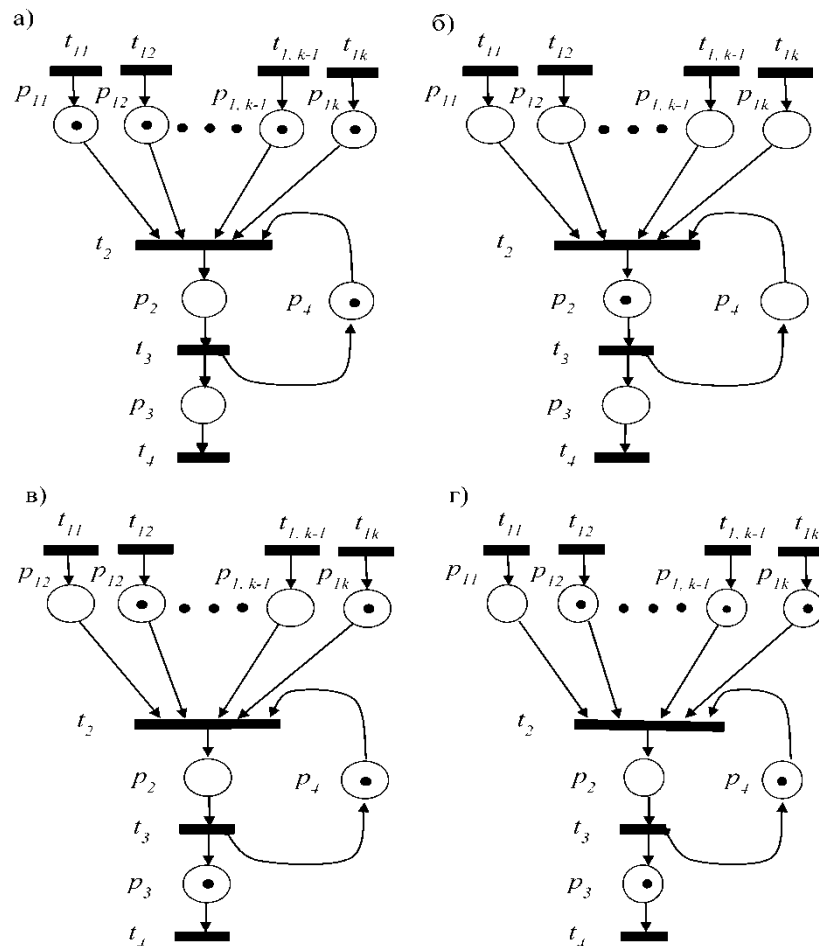


Рис. 3.16. Мережа Петрі для бізнес-процесу комплектування виробу
(розроблено автором)

Завершенню операції t_2 відповідає перехід до операції t_3 з утворенням умови p_3 для виконання операції t_4 (рис. 3.16в), а також умови p_4 , що забезпечує появу однієї з необхідних умов для наступного виконання основної операції збирання t_2 . Переходи t_2-t_3 фіксують початок та закінчення процесу збирання та можуть бути описані додатковими параметрами, які визначають час їх реалізації. Наступна операція не може виконуватися до утворення всіх продуктів операціями $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1,k-1}, t_{1,k}$, про що повинні свідчити появи відповідних міток на їх виходах. На рис. 3.16г бракує мітки p_{11} , тобто операція складання t_2 повинна чекати до завершення операції t_{11} , яка виготовляє певний виріб, необхідний для утворення основного продукту.

Бізнес-процеси з циклічними чергами. У виробничих системах можуть утворюватися черги, які задають певну послідовність виконання окремих бізнес-процесів. Черги можуть бути різних типів: прості з декількома джерелами запитів, де послідовність виконання завдань здійснюється в порядку їх надходження (FCFS: First Come – First Serve); циклічні, які повинні здійснювати опитування та виконувати завдання в заданому циклі; пріоритетні, де запити реалізуються за їх перевагою; складні, утворені кількома типами; а також динамічні, структура яких змінюється в процесі функціонування підприємства. Дані структури та закономірності їх функціонування можуть мати різні особливості.

Мережі Петрі придатні для розроблення простих та складних розкладів широкого класу виробничих систем. Запропонований підхід дозволяє визначати періоди циклів, пропускну здатність та інші показники, що доцільно використовувати для аналізу та оптимізації продуктивності виробничих систем, зокрема роботів.

Використовуючи мережі Петрі, побудуємо моделі структур циклічних черг для бізнес-процесів таких типів (Кузьмін та Базилевич, 2014б):

1. Циклічне одноразове виконання замовлень.
2. Циклічне повне виконання замовлень.
3. Пріоритетне виконання замовлень.

Схему організації черги для бізнес-процесу з циклічним одноразовим виконанням робіт наведено на рис. 3.17.

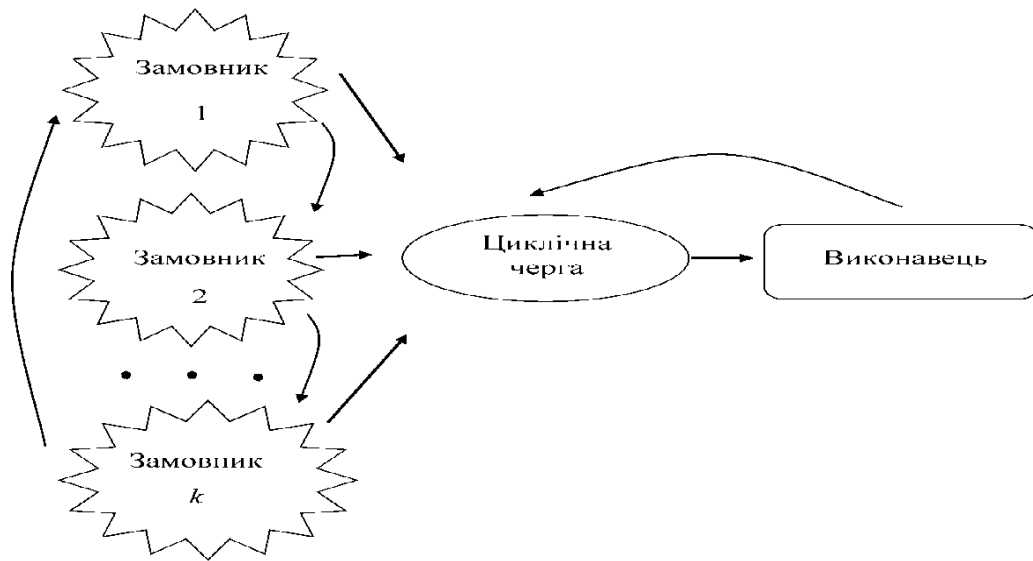


Рис. 3.17. Схематична структура бізнес-процесу з циклічним одноразовим виконанням робіт (розроблено автором)

Структура має k джерел замовлень, одну чергу та одного виконавця. Її мережа Петрі та процес функціонування зображено на рис.3.18. Кожне джерело описано вхідною умовою p_{i1} , вихідною умовою p_{i2} та переходом T_i . Про появу замовлення в кожному джерелі свідчить наявність мітки в його вхідній умові. Для даного прикладу вважаємо, що після виконання одного замовлення в кожному джерелі появляється наступне. Це може бути, наприклад, інформація з певних джерел, в яких завжди є дані, що постійно змінюються, і які треба постійно моніторити. Виконавець описаний умовою p_{01} (надходження запиту на виконання), операцією безпосереднього виконання роботи T_0 та умовою p_{02} (запит виконано).

Кроки a – e на рис. 3.18 ілюструють зміни станів структури. На першому кроці (рис. 3.18а) приймається до виконання робота від першого замовника, оскільки для цього є всі необхідні умови: наявність міток у всіх умовах, що ведуть до події T_1 , а саме в умовах p_{11} (є замовлення 1), p_{02} (виконавець виконав попередню роботу та готовий до виконання наступної) та p_{k2} (завершено виконання роботи останнього k -го замовлення). Після

опитування першого замовника (рис. 3.18б) знімаються мітки в умовах p_{11} , p_{02} та p_{k2} і появляються мітки в умовах p_{12} (робота другого замовника може бути виконана) та p_{01} (виконавець прийняв замовлення першого джерела до виконання). На наступному кроці (рис. 3.18в) робота першого замовника виконана, про що свідчить поява мітки в умові p_{02} (рис. 3.18в). Створені необхідні та достатні умови для виконання роботи другого замовника. Після її виконання утворюється ситуація, показана на рис. 3.18г, а система виконує чергове замовлення (рис. 3.18д). Далі продовжується опитування кожного наступного замовника та виконання відповідних робіт.

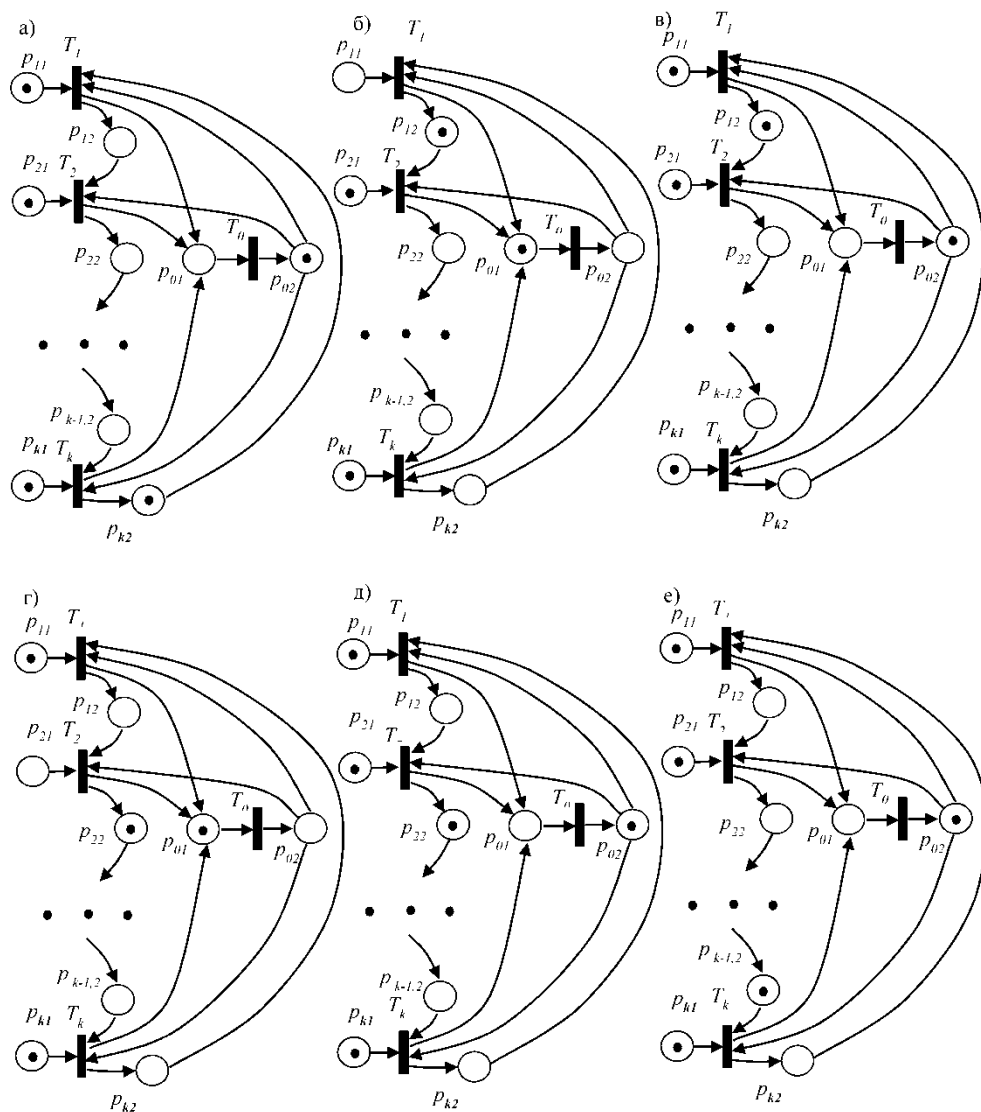


Рис. 3.18. Кроки функціонування бізнес-процесу циклічного одноразового опитування джерел запитів на моделі мережі Петрі (розроблено автором)

Відзначимо, що у ланцюгу умов $p_{12}-p_{22}-\dots-p_{k2}$ завжди є присутньою тільки одна мітка, тобто мітка переноситься послідовно від однієї з них до наступної в циклі, чим забезпечується циклічне опитування всіх джерел. Рис. 3.18e ілюструє ситуацію, коли система є готовою до зняття даних з останнього k -го джерела замовлень.

На рис. 3.19 подано схему системи циклічного опитування джерел запитів з відсутністю окремих запитів та з багатьма запитами від одного замовника. На рис. 3.20 та рис. 3.21 зображено мережі Петрі для системи циклічного опитування джерел, в яких можлива як відсутність (рис. 3.20), так і наявність (рис. 3.21) багатьох запитів в одному джерелі, що повинні виконуватися в неперервному режимі.

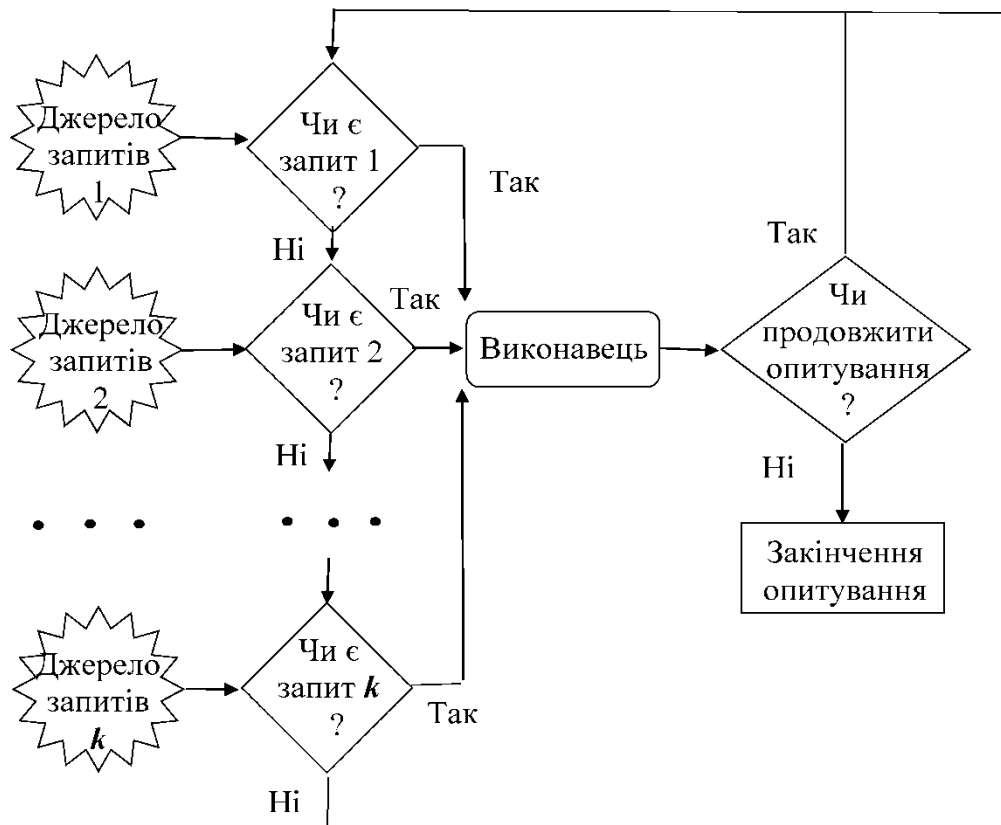


Рис. 3.19. Схематична структура бізнес-процесу циклічного опитування джерел запитів (розроблено автором)

Якщо запит до певного джерела не надійшов, відбудеться опитування наступного джерела і т.д. Для попередньої мережі необхідною є наявність даних у всіх джерелах, в протилежному випадку опитування припиняється,

бізнес-процес входить в тупик. Мережа Петрі на рис. 3.20 побудована для випадку, коли не можна виконувати послідовно всі замовлення з одного джерела, якщо вони є присутніми. Після виконання першого замовлення система опитує наступне джерело.

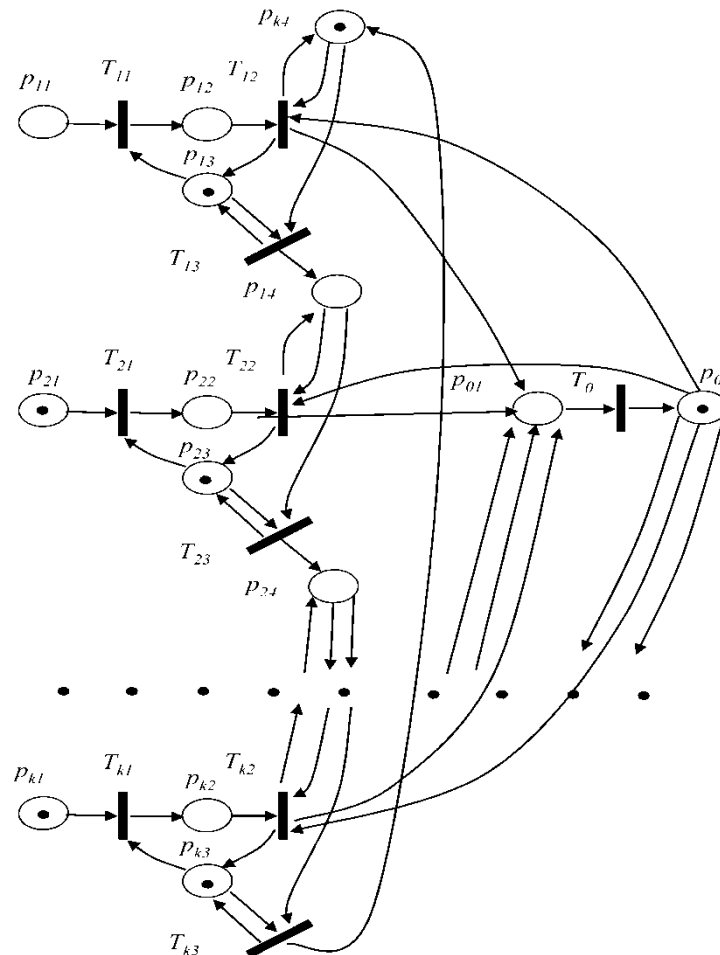


Рис. 3.20. Мережа Петрі для бізнес-процесу з циклічним опитуванням джерел і відсутністю окремих запитів (розроблено автором)

Для певних бізнес-процесів необхідно виконати всі замовлення з одного джерела, і тільки після цього приступити до виконання запитів з наступного джерела. Таку мережу побудовано на рис. 3.21. Тут використані можливості *розширеної мережі Петрі*, в якій введена додаткова *дуга заборони*, що стримує виконання операції. Дуга має умовне закінчення у вигляді кружка. Вона введена з вхідних умов всіх джерел p_{i1} ($i = 1, 2, \dots, k$) до переходів T_{i3} , які забезпечують перехід на опитування наступних джерел.

Запит наступного джерела не буде виконуватися до завершення виконання всіх запитів з попереднього джерела.

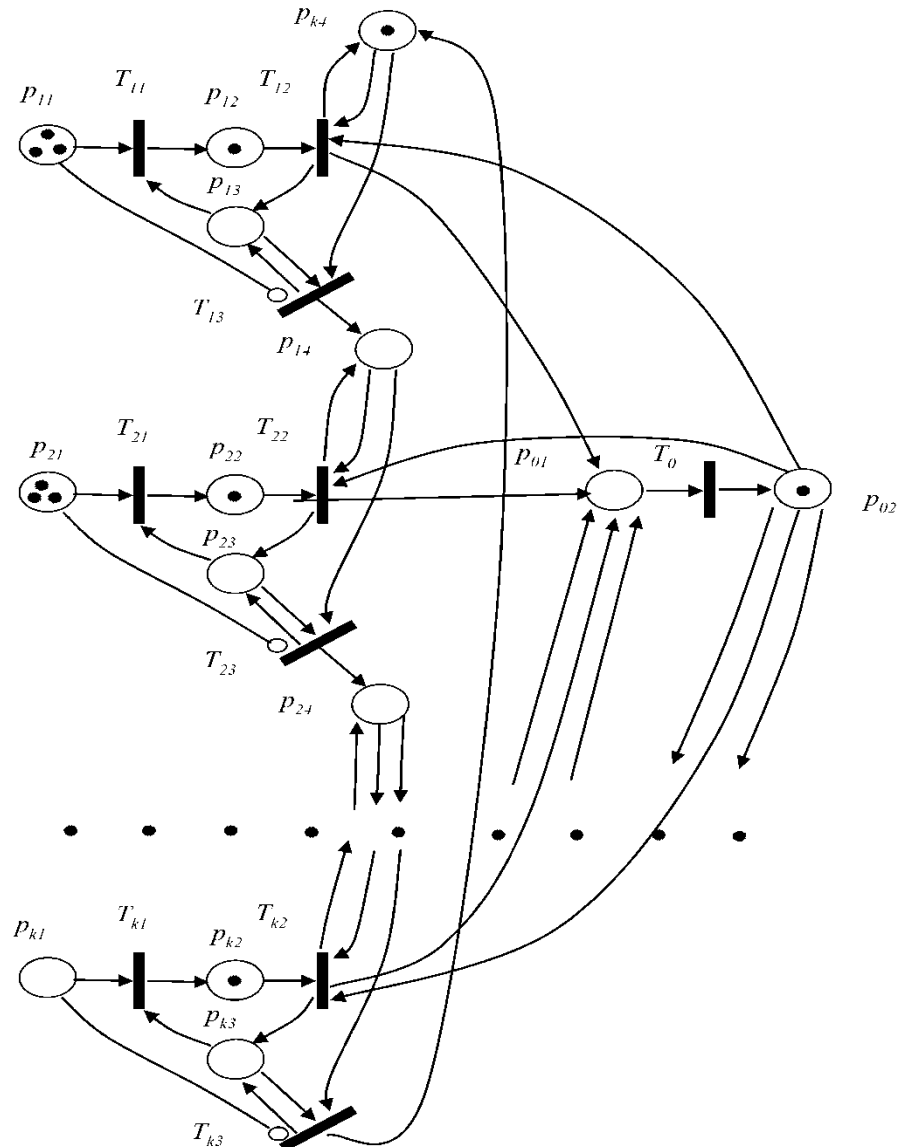


Рис. 3.21. Мережа Петрі для бізнес-процесу циклічного опитування джерел з багатьма запитами (розроблено автором)

Часто трапляються потреби організації черг з пріоритетним виконанням бізнес-процесів. У таких чергах запити можуть виконуватись в заздалегідь заданій послідовності, проте як тільки появляється запит з джерела з вищим пріоритетом, виконання наступного за чергою бізнес-процесу буде призупинено і система переходить до виконання бізнес-процесу з вищим пріоритетом. Таку мережу Петрі побудовано на рис. 3.22.

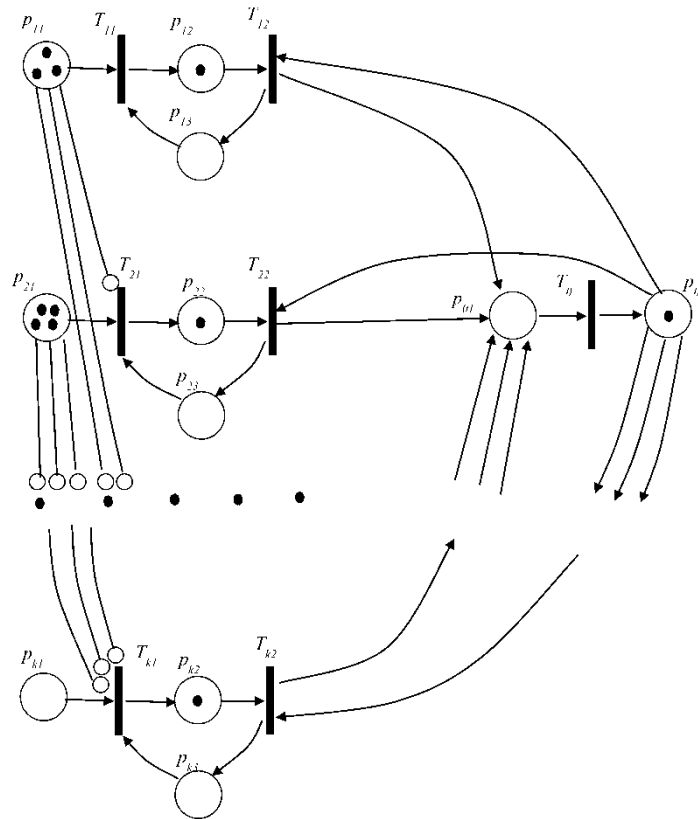


Рис.3.22. Мережа Петрі для бізнес-процесу з пріоритетним опитуванням та виконанням запитів (розроблено автором)

Після виконання чергового бізнес-процесу система є готовою до виконання довільного іншого бізнес-процесу з вищим пріоритетом. Від вхідних умов p_{i1} кожного джерела спрямована дуга заборони до переходів T_{i1} всіх джерел з нижчим пріоритетом. Кожний бізнес-процес буде виконаний, якщо тільки немає запитів в джерелах з вищим пріоритетом.

Декілька бізнес-процесів при обмеженій кількості виробничих ресурсів. Мережі Петрі дозволяють досліджувати паралельні процеси. На рис. 3.23 – рис. 3.25 побудовано мережу Петрі, яка описує особливості функціонування декількох процесів P_1, \dots, P_n на верстатах V_1, \dots, V_m , кількість яких є меншою від кількості перших ($n < m$), тобто кількість ресурсів є недостатньою для одночасного виконання всіх процесів.

На першому кроці (рис. 3.23) процес P_1 очікує на можливість завантажити своїм завданням вільний верстат, вільним в цей час є перший верстат V_1 . Вважаємо, що інші верстати в цей час є завантажені роботою.

Зокрема, хоча верстат V_n і завершив свою роботу, проте результати роботи ще не отримані замовником, тому він не може прийняти нову роботу на виконання. На другому кроці (рис. 3.24) верстат V_1 виконав роботу замовлену першим процесом, проте результати роботи ще не отримані замовником. На третьому кроці (рис. 3.25) замовник отримав роботу першого верстату і цей верстат є знову готовим до прийняття на виконання наступної роботи будь-якого із замовників (процесів). В аналогічному стані знаходиться також верстат V_n , який вже віддав роботу замовнику і також є готовим до виконання наступної роботи. До виконання буде прийняте те замовлення, яке появиться першим (реалізується принцип FCFS).

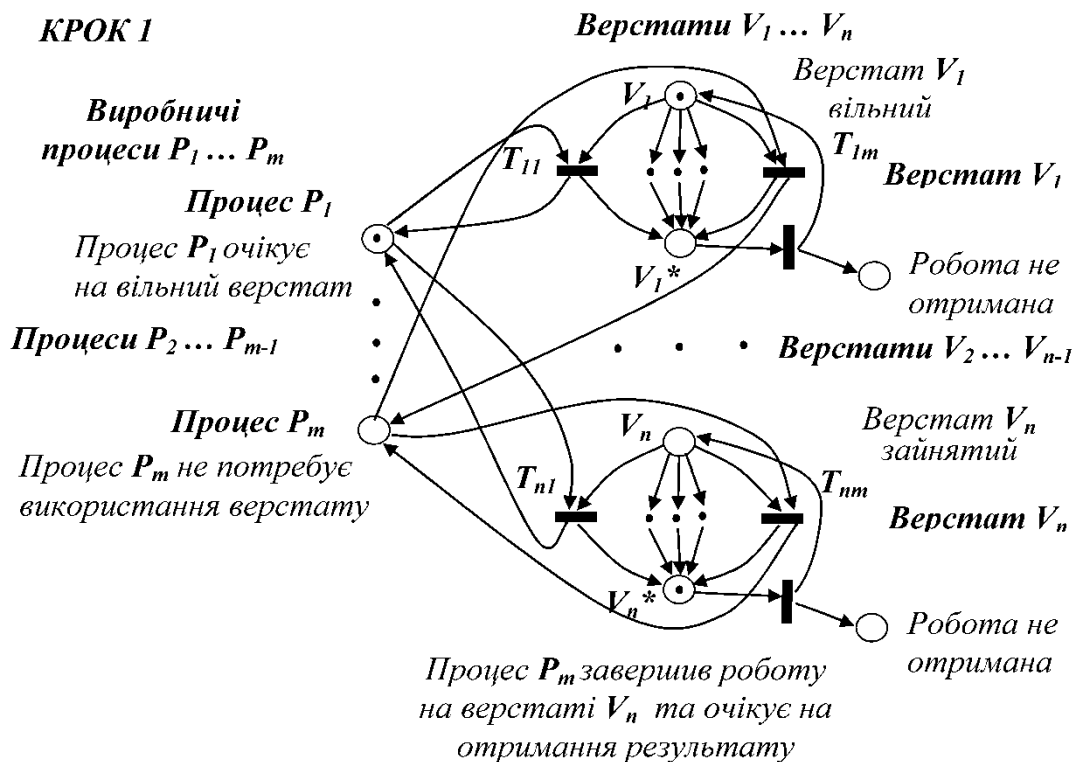


Рис. 3.23. Мережа Петрі для бізнес-процесу «Декілька процесів P_1, \dots, P_m – декілька верстатів V_1, \dots, V_n ». Крок 1 (розроблено автором)

Описана мережа Петрі має певні недоліки. Оскільки верстатів є менше, ніж замовників, можливими є появи ситуацій, коли не всі замовлення можуть бути виконані одночасно. Принцип FCFS може бути небажаним. В такому випадку необхідно вибирати, чиї замовлення будуть реалізовані раніше.

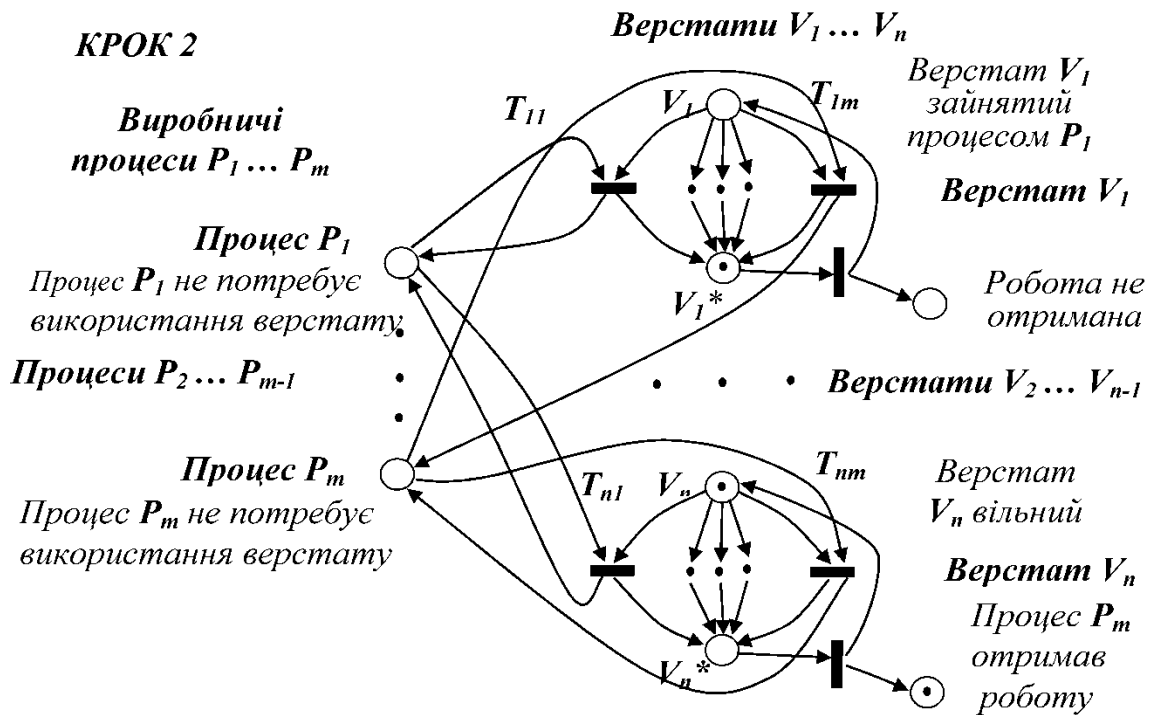


Рис. 3.24. Мережа Петрі для бізнес-процесу «Декілька процесів P_1, \dots, P_m – декілька верстатів V_1, \dots, V_n ». Крок 2 (розроблено автором)

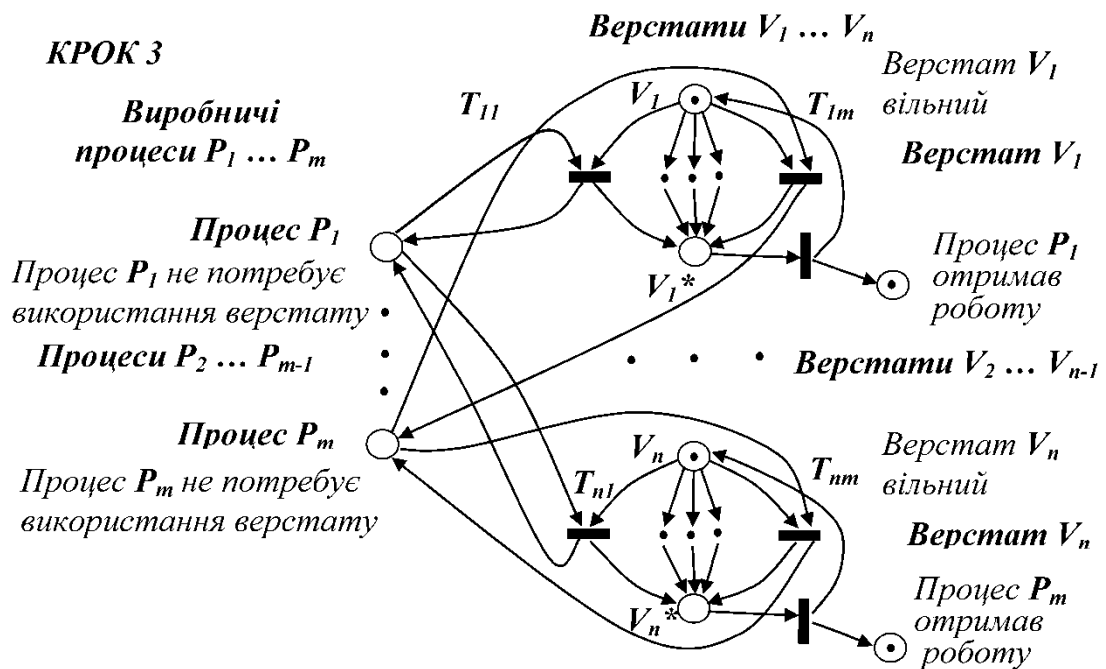


Рис. 3.25. Мережа Петрі для бізнес-процесу «Декілька процесів P_1, \dots, P_m – декілька верстатів V_1, \dots, V_n ». Крок 3 (розроблено автором)

Такої можливості ця мережа не має. Може виникнути потреба влаштування пріоритетної черги. Частими також є випадки, коли не всі верстати мають однакові виробничі можливості, а замовлення можуть надходити різних

типів. У такому випадку необхідно вибирати для реалізації тільки верстати певних типів. Для такого процесу необхідно описувати замовлення певними властивостями. Таку можливість надають мережі Петрі вищого порядку, в яких додаються параметри часу та ознаки, які характеризують його тип. Також і верстатам необхідно надавати відповідну ознаку – спеціалізацію за типом виконуваної роботи.

Бізнес-процеси масового обслуговування. Як відзначено в розділі 2 широкі можливості для моделювання бізнес-процесів підприємств мають мережі Петрі вищого порядку. Так, розгляду систем масового обслуговування типу «Замовники – черги – виконавці» зі складанням розкладів бізнес-процесів з використанням мереж Петрі вищого порядку присвячено ряд робіт (Aized, 2010; Bause, 1993; Božek, 2012; Lee, 2008; Tuncel та Bayhan, 2007; Zhang, Gu та Song, 2008; Zuberek, 1996с, 1999). Підхід дозволяє визначати такі характеристики як періоди циклів, пропускні здатності та інші, що може бути використано для аналізування та оптимізації продуктивності бізнес-процесів, в тому числі роботизованих систем. Число можливих розкладів зростає дуже швидко із збільшенням числа машин одного процесу. Наприклад, для роботи з трьох машин маємо 6 розкладів першого порядку, 34 різних розкладів другого порядку та 198 різних розкладів третього порядку. В простих розкладах одне замовлення виконується протягом одного циклу, в складних- протягом більшої їх кількості. Один цикл роботи складається з послідовності операцій підбирання, переміщення, завантаження, виготовлення, розвантаження, транспортування деталей з однієї машини в іншу. Замість аналізувати всі можливі розклади, пропонуємо більш загальний підхід з використанням кольорової мережі Петрі, яка дозволяє генерувати множину всіх розкладів за допомогою виділення кожного з них іншим кольором.

У бізнес-процесах різноманітного призначення часто виникають потреби організації черг для забезпечення виконання різнотипних замовлень та аналізу закономірностей їх функціонування. Черги можуть бути різних

типів: прості, в яких послідовність виконання замовлень здійснюється в порядку їх надходження; циклічні, де є декілька джерел замовлень, які повинні опитуватися та виконуватися в певному циклі; пріоритетні, в яких виконання запитів здійснюється за певною, чітко встановленою їх перевагою; та більш складні, утворені різними типами.

Багато підприємств, а також ряд окремих бізнес-процесів, в тому числі банки, бібліотеки, комп'ютерні, Інтернет та інші різноманітні сервіси мають подібну структуру обслуговування замовників. Така структура може розглядатися як типова система масового обслуговування, що включає джерела замовлень, черги та виконавців. Джерел замовлень в системі може бути багато. Замовлення можуть бути як одно- так і багатотипові. Наприклад, для одного простого верстату замовлення, в основному, є однотиповими. Ряд замовлень може бути виконано довільним з виконавців. На багатопрофільних верстатах, комп'ютерних системах, сервісних центрах обслуговування поступають різні типи замовлень. Здебільшого виконавці спеціалізуються за певними групами їх типів. Виконавців також може бути багато. Вони можуть бути універсальними, що виконують всі типи замовлень, або профільованими, які виконують тільки певні типи замовлень. Відповідно для ефективного функціонування системи необхідно створити певні типи черг, в залежності від їх функціональних властивостей. Якщо виконавці універсальні, наприклад, одного типу верстати, то черга повинна бути одна. Як тільки звільняється певний виконавець – обслуговується перше з черги замовлення. Якщо виконавці різнопрофільні, тобто кожний виконує тільки певну групу операцій, то необхідно утворити декілька черг – кожну за відповідним профілем. Першим з відповідної черги виконується замовлення, тип якого входить у групу спеціалізацій відповідного з виконавців, який звільнився. Для якісного проектування таких систем необхідно мати засоби, що забезпечують визначення їх характеристик, зокрема часу обслуговування, числа виконавців (верстатів, комп'ютерів, персоналу тощо) та їх

спеціалізацію. Такі умови створюють мережі Петрі вищого порядку – часові та кольорові.

Деталізуємо можливості застосування мереж Петрі вищого порядку для дослідження закономірностей функціонування систем масового обслуговування типу «Замовлення – черги – виконавці» (Kuzmin та Bazylevych, 2013, 2014; Кузьмін та Базилевич, 2014а, 2014с; Базилевич, 2013а, 2013b). Розглянемо такі з них:

1. Одне джерело замовлень – однолінійна черга – один виконавець.
2. Одне джерело замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців.
3. Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група однопрофільних виконавців.
4. Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців.
5. Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – один універсальний виконавець.
6. Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців.
7. Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців з затриманням видачі.
8. Декілька джерел різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців.

Одне джерело замовлень – однолінійна черга – один виконавець. Розглянемо найпростішу систему з одним джерелом замовлень, однією чергою та одним виконавцем. Замовлення можуть бути різних типів та різного обсягу. Виконавець має задану продуктивність. Необхідно побудувати структуру, яка дає змогу визначити час очікування на реалізацію замовлення. Схематичне зображення системи показано на рис. 3.26, а її часова мережа Петрі – на рис. 3.27.

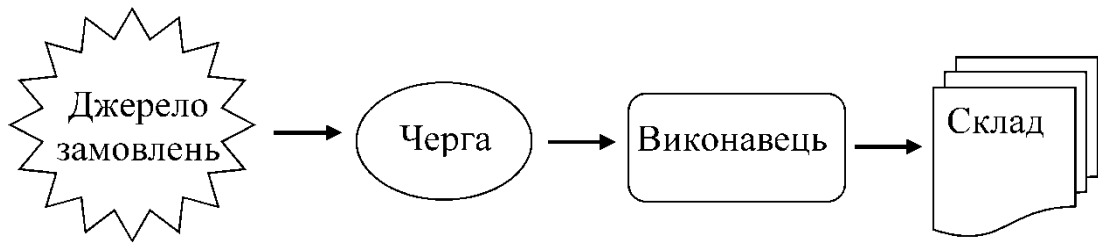


Рис.3.26. Схематичне зображення системи «Одне джерело замовлень – однолінійна черга – один виконавець» (розроблено автором)

На мережі Петрі виділено окремо такі елементи: «Джерело замовлень»; «Черга», що складається з вільних та зайнятих умов (відсутніх та наявних замовлень); «Виконавець» та «Склад». Умова p_0 «Джерело замовлень» зображена як вільна, без мітки, тобто в даний момент запит є відсутнім.

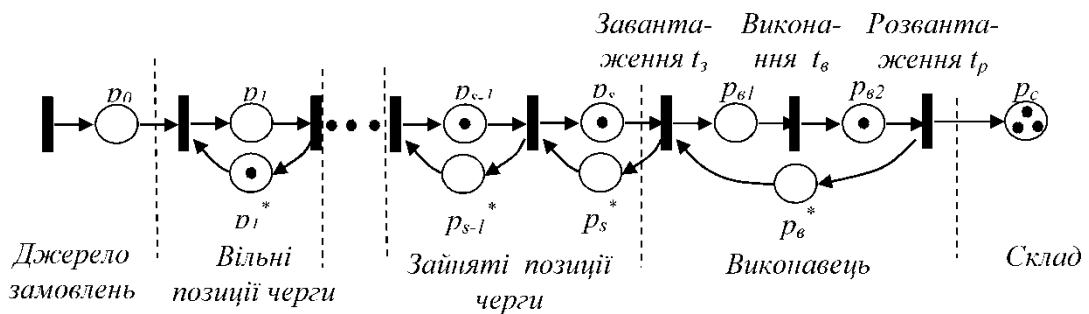


Рис. 3.27. Часова мережа Петрі системи «Одне джерело замовлень – однолінійна черга – один виконавець» (розроблено автором)

Вважаємо, що черга має обмежену кількість місць – s , з яких перші є вільними, очікують на надходження замовлення, про що свідчить наявність міток в умові p_1^* , а решта – зайняті, що вказано мітками в умовах p_{s-1} та p_s . «Виконавець» утворений трьома подіями та трьома умовами. Перша подія відповідає процесу завантаження роботи та описана часовим параметром t_3 , друга – процесу безпосереднього виконання роботи з параметром t_e , третя – процесу розвантаження з параметром t_p . В умові p_{61} мітка відсутня, тобто виконання роботи не може розпочатися в даний момент; умова p_{62} має мітку, тобто робота виконана та може розпочатися розвантаження результату. Після розвантаження появляється додаткова мітка в умові p_c , тобто настає поповнення складу, та в умові p_e^* , що створює можливість для завантаження виконавця наступним замовленням з черги.

Побудована часова мережа Петрі дає змогу визначити для кожного запиту час його виконання. Якщо допустити, що всі запити однотипні, то цей час визначається часом виконання однієї операції $t_o = t_3 + t_e + t_p$, помноженим на кількість запитів у черзі n_q , збільшеним на 1:

$$T_i = (n_q + 1) t_o . \quad (3.29)$$

Використання кольорових часових мереж Петрі створює додаткові можливості визначати часові залежності виконання операцій у випадку, коли джерело замовлень генерує різнотипні замовлення різних обсягів. У такому випадку кожному замовленню надається «колір», тобто ідентифікатор Ψ_i , який враховує його тип v_i та обсяг ω_i . Час безпосереднього виконання кожного окремого запиту буде залежати від цього типу, тобто $t(\Psi_i) = t_3(\Psi_i) + t_e(\Psi_i) + t_p(\Psi_i)$. З врахуванням необхідності очікування в черзі попереднього виконання n_q замовлень, повний час виконання i -го замовлення буде визначатись так:

$$T_i = \sum_{j=1}^{n_q} t(\Psi_j) + t(\Psi_i) . \quad (3.30)$$

Додаткові можливості для дослідження функціонування системи створює часова кольорова мережа Петрі, в якій вводиться параметр, що характеризує момент появи замовлення, тобто мітки в умові p_o . Кожній мітці додається реальний час t_i її появи. До початкового значення моменту появи замовлення на виході його джерела додаються часи проходження кожної операції. Часова мітка конкретного замовлення на виході системи буде нести інформацію про повний час його виконання.

Можуть виникати ситуації, коли черга завантажена, тобто на всіх s її місцях немає вільних позицій для розміщення наступних замовлень, У такому випадку в умові p_l^* буде відсутня мітка та наступить накопичення замовлень в його джерелі p_o (рис. 3.28). Тільки після завершення виконання чергового запиту створюється можливість поставити в чергу наступне замовлення.

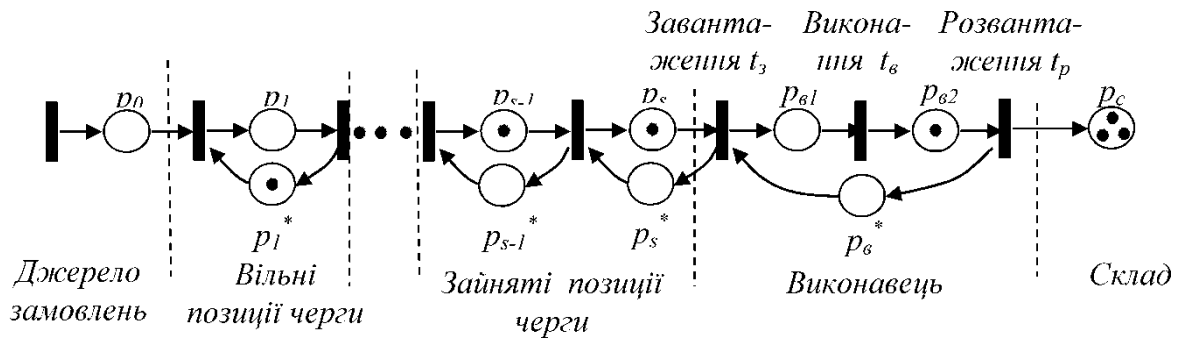


Рис 3.29. «Черга завантажена» (розроблено автором)

Одне джерело замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців. На рис. 3.29 зображено схему бізнес-процесу, коли є одне джерело запиту, одна черга та декілька виконавців, які можуть виконувати всі типи робіт, а на рис. 3.30 – побудовано мережу Петрі. Коли звільняється будь-який з виконавців, створюються умови при яких він приймає на виконання наступне замовлення з черги. Завдання з останнього елементу черги з міткою p_s може бути передано до будь-якого з t виконавців. Це завдання отримує той виконавець, який звільниться першим, про що буде вказувати поява мітки p_{ej}^* для j -го виконавця. В черзі мітки з власними даним (ідентифікаторами) переміщуються на одну позицію. Виконані завдання передаються на склад з міткою p_c , число міток якого зростає та відповідає кількості виконаних та не отриманих замовником замовлень.

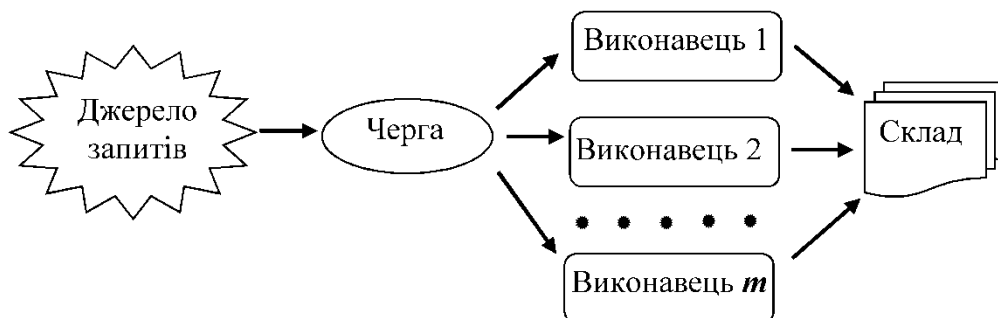


Рис. 3.29. Схематичне зображення бізнес-процесу «Одне джерело замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців» (розроблено автором)

Якщо склад має обмежену можливість, то мережу Петрі необхідно ускладнити, додавши лічильник, що визначає кількість виготовленої продукції на складі, який з'єднаний дугою з останнім переходом черги,

унеможлижуючи надходження замовлень від будь-якого з виконавців.

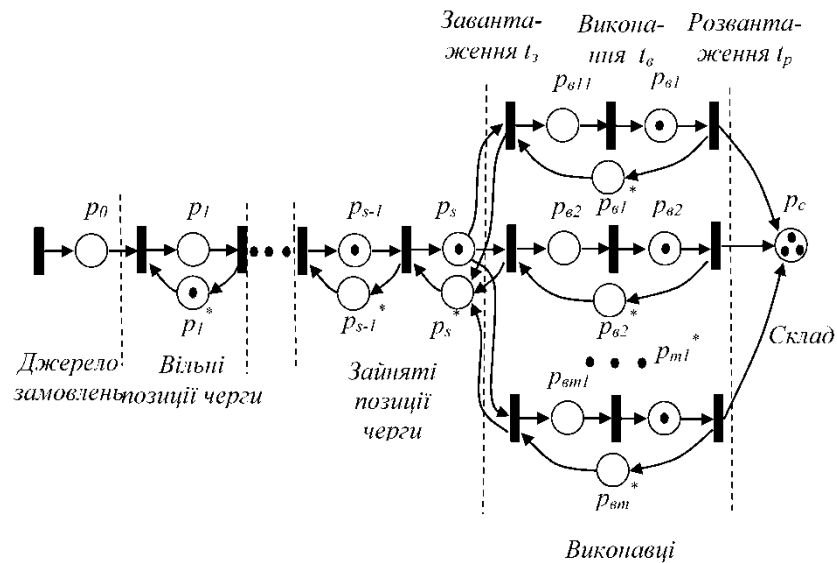


Рис. 3.30. Часова мережа Петрі бізнес-процесу «Одне джерело замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців» (розроблено автором)

Система з лічильником подана на рис. 3.31. Лічильник поповнюється на одиницю у випадку звільнення складу. Початкове значення лічильника k відповідає максимальній можливості складу. Відзначимо, що коли $k = 0$, не відбувається розвантаження роботи жодного з виконавців, черга не «рухається» і не буде прийнято чергове замовлення.

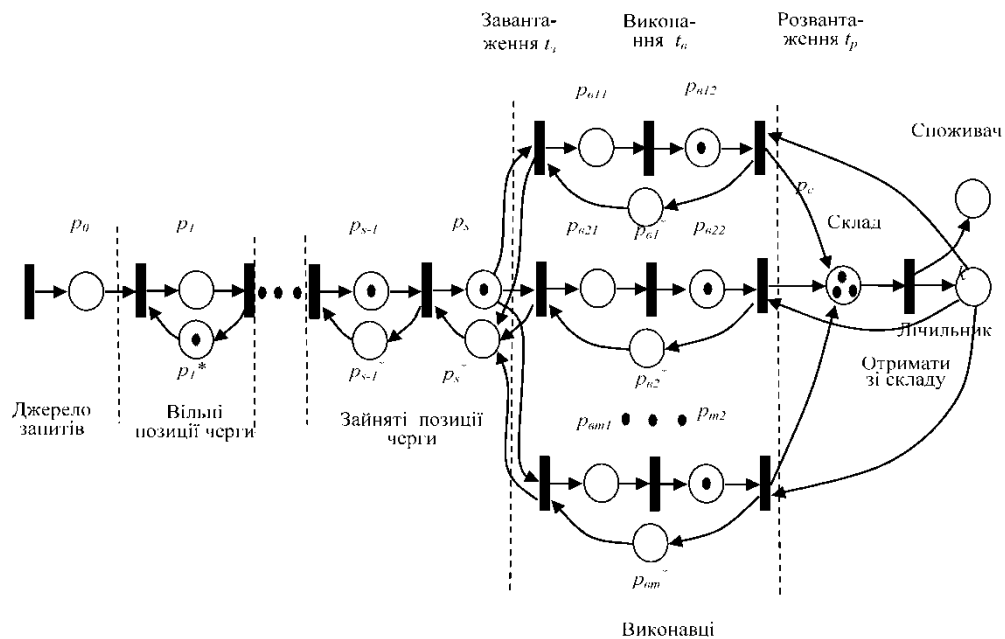


Рис. 3.31. Часова мережа Петрі бізнес-процесу «Одне джерело запитів – однолінійна черга – група універсальних виконавців» з лічильником (розроблено автором)

Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група однопрофільних виконавців. Мережа Петрі ускладнюється, коли виконавці реалізують тільки певні типи замовлень, тобто є профільними. Вона повинна бути кольоровою, та кожне замовлення повинно мати ідентифікатор (кольорові мітки). У такому випадку для кожного типу замовлень необхідно створити окрему чергу, що зображено схематично на рис.3.32. Відповідну мережу Петрі побудовано на рис.3.33. Кожний виконавець може виконувати певний тип операції з набору можливих. Замовлення різних типів накопичуються в позиції p_0 .

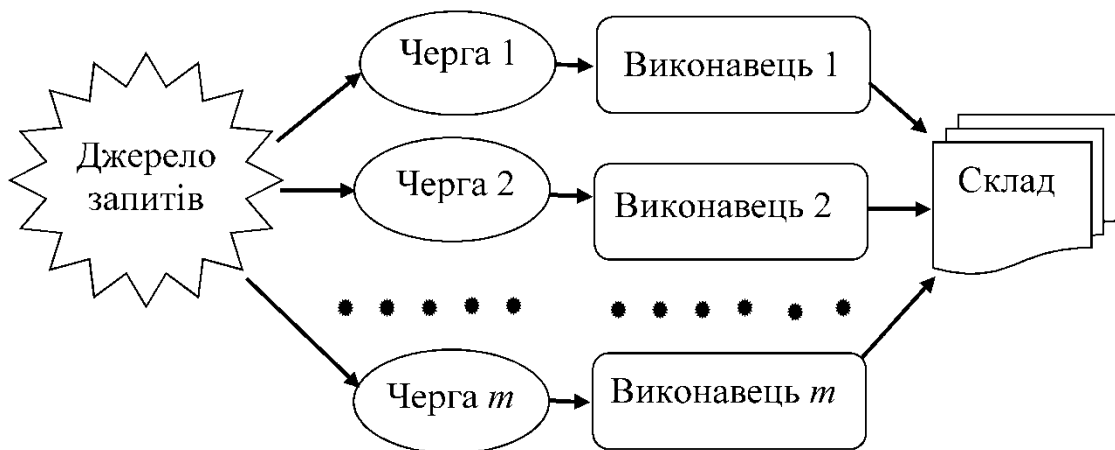


Рис. 3.32. Схематичне зображення системи «Одне джерело різнотипних запитів – багатолінійна черга – група однопрофільних виконавців»
(розроблено автором)

Далі відбувається розділення по чергах в залежності від типів замовлень, що забезпечується наявністю міток відповідних типів, тобто мітці надається «забарвлення» і кожний виконавець завантажується тільки властивим для нього типом замовлення.

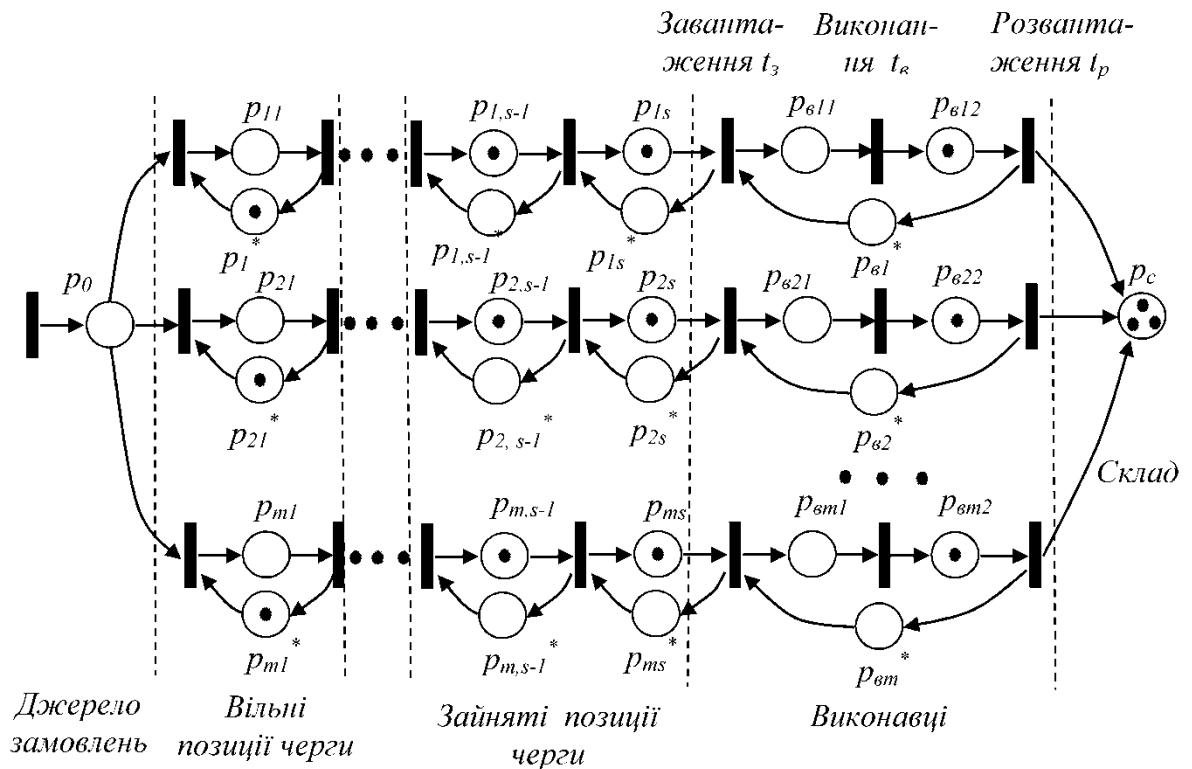


Рис. 3.33. Кольорова часова мережа Петрі системи «Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група однопрофільних виконавців» (розроблено автором)

Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців. Можуть виникати ситуації, коли виконавці реалізують по декілька різних типів функцій, проте, не повний набір всіх можливих. У такому випадку замовлення необхідно ідентифікувати за типами відповідних міток і для кожного типу, як і в попередньому випадку, створити окрему чергу. На виході кожної черги необхідно створити ситуацію, при якій кожний виконавець може отримати замовлення з усіх тих черг, які відповідають його профілю. Для реалізації таких вимог вхідні переходи (процеси) виконавців в моделі Петрі повинні мати ідентифікатори, що відповідають типу відповідної мітки (замовленню). Це забезпечить відбір відповідних типів замовлень. Схематично та у вигляді кольорової мережі Петрі така система побудована на рис. 3.34 та рис. 3.35. Як бачимо, кожний виконавець описується такою кількістю вхідних подій (процесів), що відповідають кількості його профільних функцій. Так, на рис. 3.35 перший

виконавець має три такі події, кожна з яких має вхідну дугу від черги, в якій накопичуються замовлення відповідного типу.

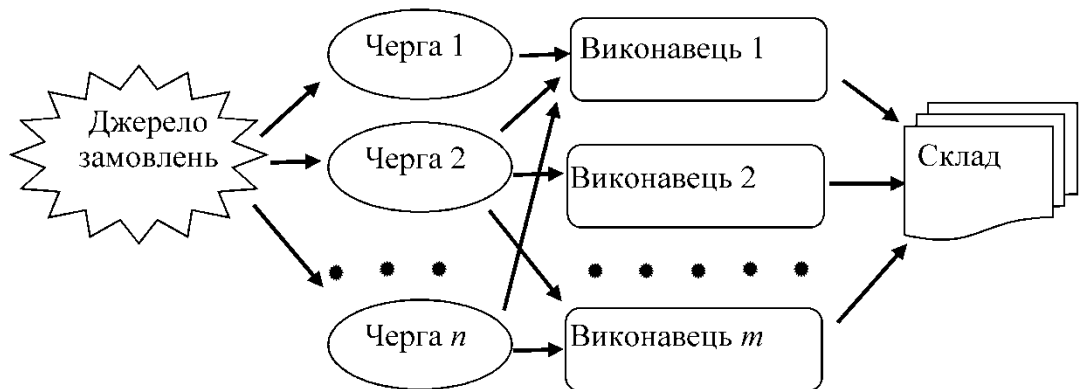


Рис. 3.34. Схематичне зображення системи «Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців» (розроблено автором)

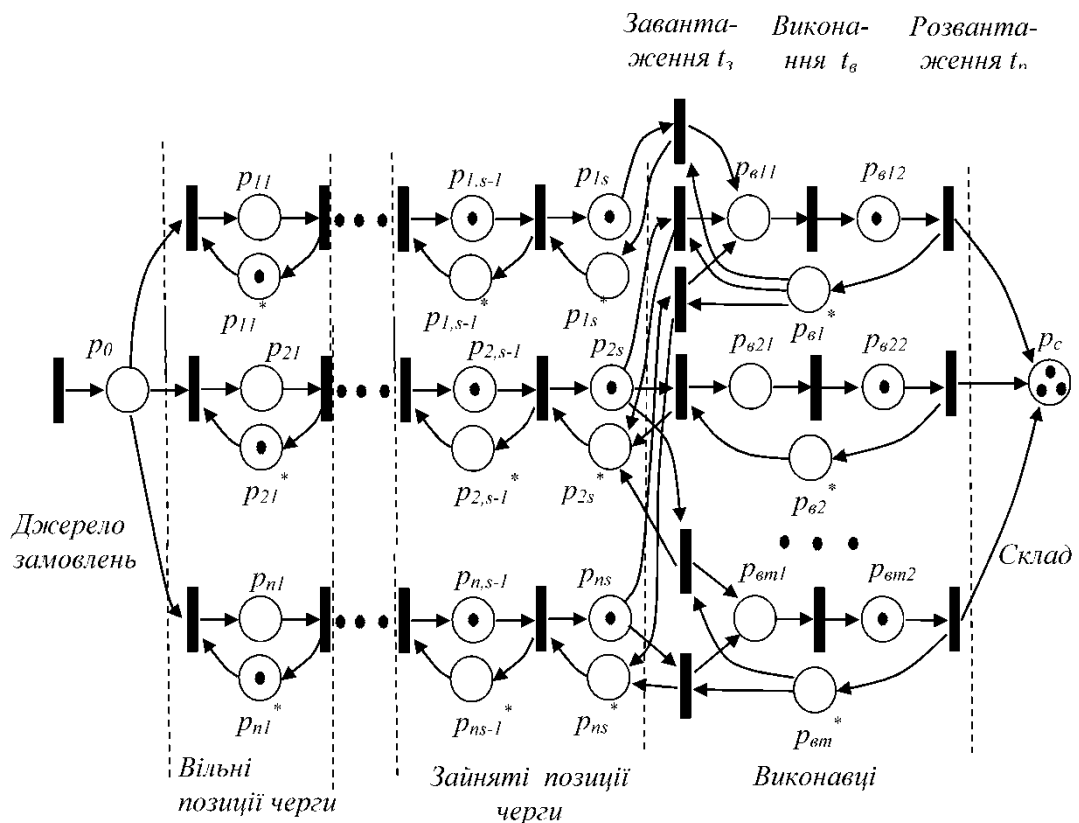


Рис. 3.35. Часова кольорова мережа Петрі системи «Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців» (розроблено автором)

В даному випадку перший виконавець – з першої, другої та останньої n -ої черги. Другий виконавець отримує замовлення тільки з другої черги, а останній m -ий виконавець – з другої та останньої. Таке розділення можливо здійснити тільки завдяки використанню кольорової мережі Петрі, в якій як умови так і події мають власні ідентифікатори, в даному випадку – типи операцій, які реалізуються.

Число черг n та кількість виконавців m можуть бути різними. Спочатку, як і в попередньому випадку, відбувається розділення замовлень по чергах за їх типом (кожна черга відповідає тільки одному типу замовлення), кожний виконавець може отримати замовлення з довільної тієї черги, чий тип співпадає з типом замовлення. Тут може утворитися неоднозначна ситуація для виконавця, який є вільним в даний момент (умова p_{vi}^* має мітку), але є мітки більш ніж на одній умові допустимих для цього виконавця черг (наприклад, дві умови p_{1s}, p_{2s} та p_{ns} черг 1-ої, 2-ої, та s -ої (рис. 3.35)). Якщо не є важливим порядок виконання, то для реалізації може бути взято замовлення з кожної з тих черг довільним чином.

Проте, може виникнути потреба створити мережу Петрі, коли виконується в першу чергу те замовлення, яке надійшло раніше. Для цього необхідно розширити функціональні можливості мережі Петрі додаванням в параметр замовлення час його надходження в мережу. У такому випадку з двох чи більшої кількості можливих взаємно конкуруючих замовлень реалізується те, ідентифікатор якого має мітки з меншим значеннями часу. На рис. 3.36 пояснено принцип дії елементів часової кольорової мережі Петрі з такими розширеними можливостями.

Виділимо частину, що стосується виконавця 1. Він може виконувати роботи з черг 1-ої, 2-ої та n -ої. На рис. 3.36а зображено ситуацію, коли останні комірки у чергах мають мітки, тобто замовлення чекають на виконання. Перша мітка має час $t_1=5$, друга $t_2=7$, а третя $t_n=2$. Мітка в умові p_{e1}^* , що відповідає готовності виконавця 1 до завантаження роботою, має

мітку часу $t_{el}^* = 9$, тобто, в принципі, подія могла б прийняти до виконання довільне з цих завдань.

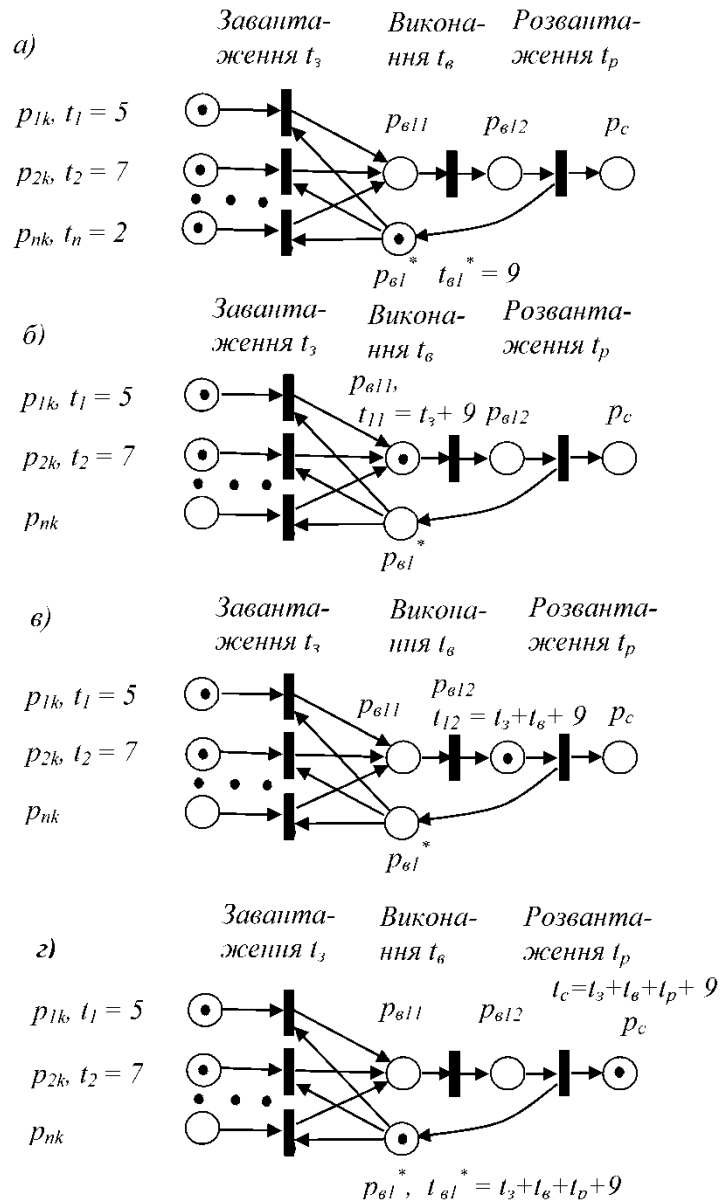


Рис. 3.36. Кроки функціонування для фрагменту часової кольорової мережі Петрі системи «Одне джерело різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців» (розроблено автором)

Проте, виконавець завантажується роботою з n -ої черги, оскільки це замовлення появилось раніше від інших. Після завершення його виконання в момент $t_{el}^* = t_3 + t_6 + t_p + 9$ появляються відповідні мітки в умові p_c , тобто в отримувача замовлення (умовно на складі) та умові p_{6l}^* , що свідчить про готовність виконавця l прийняти наступне замовлення до реалізації.

Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – один універсальний виконавець з селектором. Найпростішим можна вважати випадок наявності одного універсального виконавця. Тут в одній черзі замовлення впорядковуються за моментами надходжень. Для дослідження закономірностей функціонування такої системи необхідно використати часову мережу Петрі. Виникають ситуації, коли надходять замовлення, які виконавець не може чи не повинен виконувати або повинен виділяти за специфічними ознаками. В такому випадку потрібним є селектор, що відкидає такі замовлення. Для таких систем необхідно додати мітці тип замовлення. Виконавець зможе «розпізнати» непотрібні замовлення та не прийняти їх до виконання. Така ситуація виникає, наприклад, при необхідності виділення браку на виробництві, фільтрації спаму в комп'ютерах, де листи впорядковуються за моментами їх надходження та в інших виробничих ситуаціях. Схематично та у вигляді мережі Петрі такий бізнес-процес побудовано на рис. 3.37 та рис. 3.38.

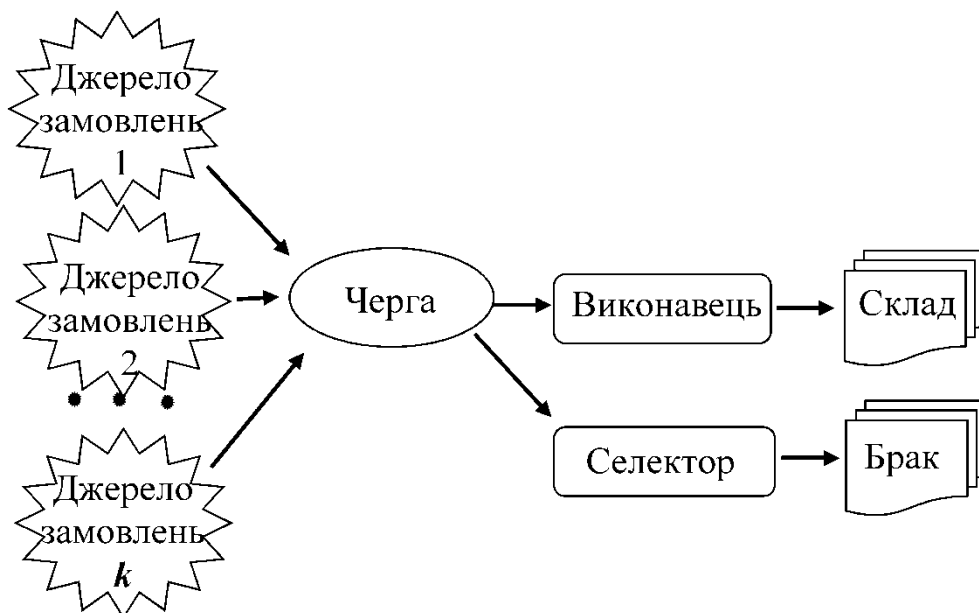


Рис. 3.37. Схематичне зображення бізнес-процесу «Декілька джерел замовлень – однолінійна черга – один універсальний виконавець»
(розроблено автором)

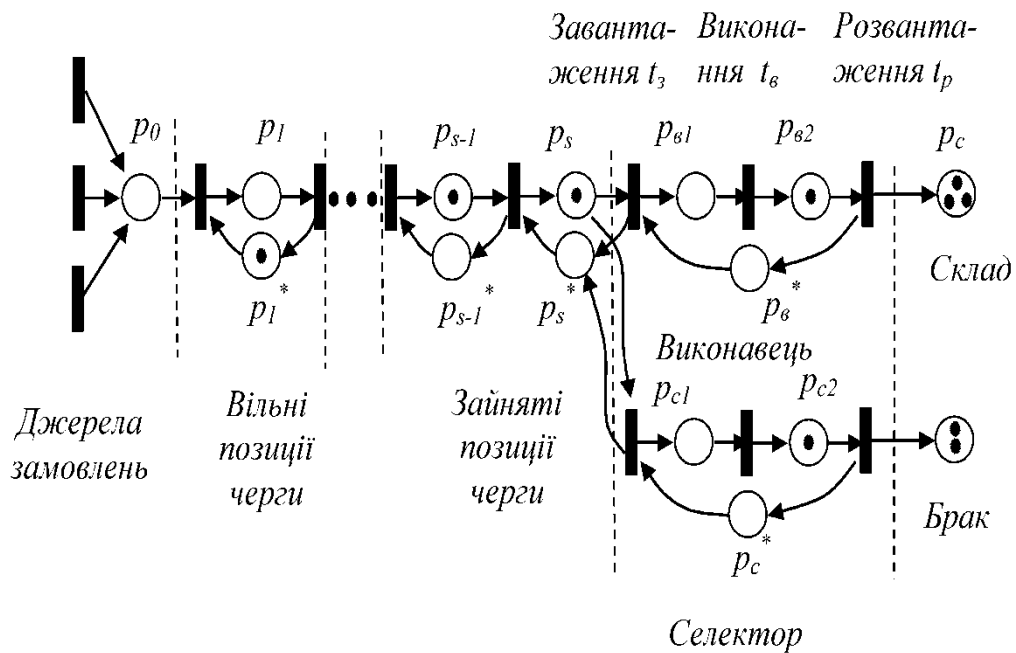


Рис. 3.38. Мережа Петрі системи «Декілька джерел замовлень – однолінійна черга – один універсальний виконавець» (розроблено автором)

Відзначимо, що «селектор» може бути розміщений на початку черги або в кінці – в залежності від потреб та умов реалізації. Додаючи декілька «селекторних» елементів, наприклад, за значеннями ідентифікаторів, бізнес-процес можна розширити на виробничі задачі сортування продукції.

Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців. Даний бізнес-процес має широке розповсюдження на підприємствах, в банках, касах, сервісних офісах різноманітного типу тощо. Кожне замовлення надходить в одну загальну чергу та очікує, поки стане першим і звільниться один з виконавців. Оскільки кожний виконавець є універсальним, черга повинна бути єдиною. Схематично таку систему та її мережу Петрі побудовано на рис. 3.39 та рис. 3.40 відповідно.

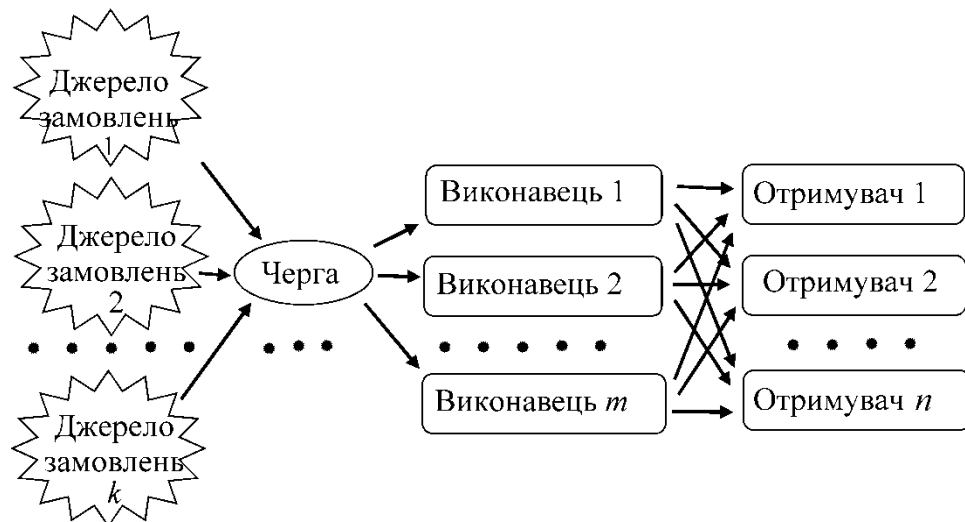


Рис. 3.39. Схематичне зображення бізнес-процесу «Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців» (розроблено автором)

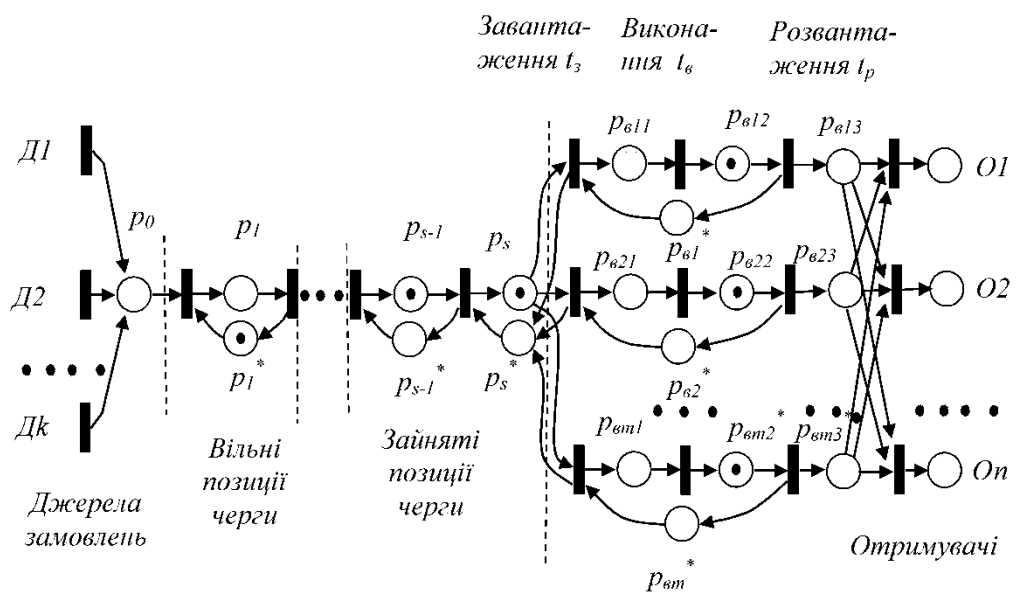


Рис. 3.40. Мережа Петрі бізнес-процесу «Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців» (розроблено автором)

Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців зі затриманням видавання продукції. Деяка відмінна ситуація виникає у випадку, коли клієнт отримує відповідь не відразу, а з певним відтермінуванням, наприклад, зі зберіганням на складі, або з транспортуванням тощо. У такому випадку виконана продукція збирається системою в одному місці (умовно на складі), а пізніше видається чи

розсилається. Такий бізнес-процес побудовано на рис. 3.41 та 3.42. Важливим додатковим параметром такої системи є час затримки видачі t_o . Результат роботи кожного виконавця фіксується в позиції p_c . У даному випадку необхідно застосувати кольорову мережу Петрі для відображення процесу передавання результату виконання кожного замовлення відповідному отримувачу.

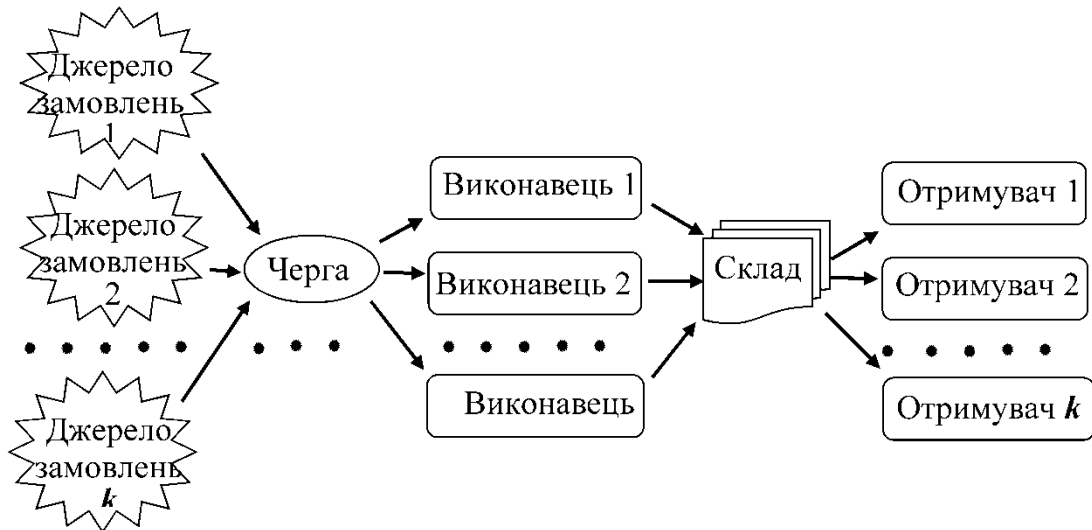


Рис. 3.41. Схематичне зображення бізнес-процесу «Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців з затриманням видавання продукції» (розроблено автором)

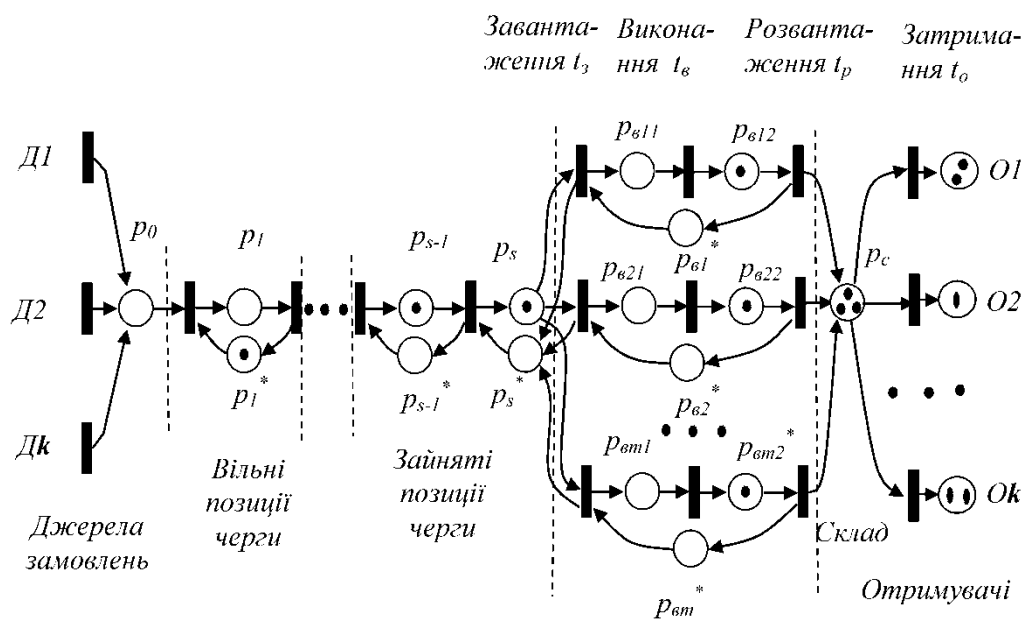


Рис. 3.42. Кольорова часова мережа Петрі бізнес-процесу «Декілька джерел різнотипних замовлень – однолінійна черга – група універсальних виконавців з затриманням видавання продукції» (розроблено автором)

Декілька джерел різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців. На рис. 3.43 та рис. 3.44 зображено схему та побудовано часову кольорову мережу Петрі бізнес-процесу, коли є декілька джерел різнотипних замовлень. Тут формуються декілька черг за типами замовлень та для виконання замовлень формується група виконавців, кожний з яких має властивий йому профіль робіт. За типами замовлень формуються декілька черг. Замовлення з кожного джерела надходить в чергу, яка відповідає її типу з параметром часу надходження. Є декілька різнопрофільних виконавців. Кожний з них приймає для реалізації заявки з черг, що відповідають його профілю. У випадку конфліктної ситуації, як і в попередньому випадку, до виконання приймається замовлення, яке має менше значення параметру часу надходження в чергу.

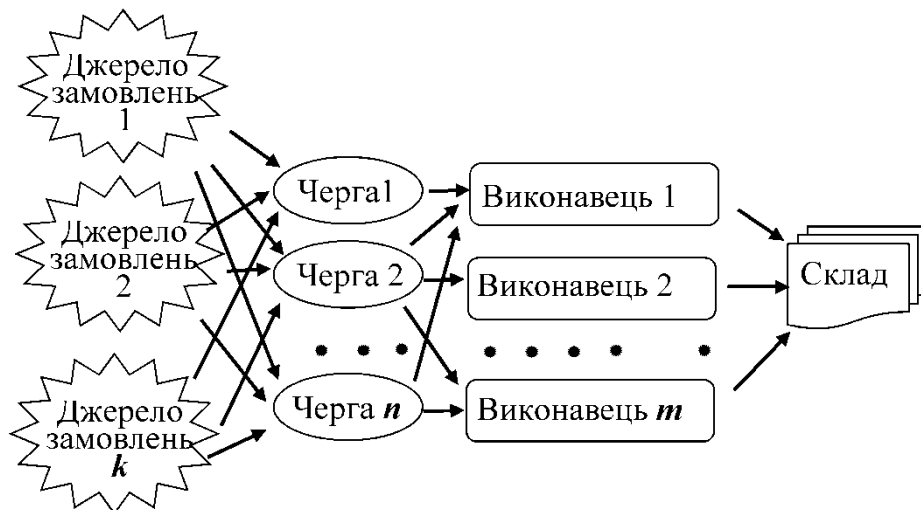


Рис. 3.43. Схема бізнес-процесу «Декілька джерел різнотипних замовлень – багатолінійна черга – група різнопрофільних виконавців»
(розроблено автором)

Замовлення з кожного джерела D_1, D_2, \dots, D_k надходять в умову p_0 (пункт реєстрації надходження замовлень). Надалі кожне замовлення стає в чергу, яка відповідає його типу. Оскільки мережа є кольоровою, то кожне замовлення має своє «зabarвлення» – ідентифікатор, що ставить його в ту чергу, яка сприймає замовлення даного типу. Такий відбір здійснюється першим переходом, який має такий же тип (ідентифікатор). Завантаження з

черги здійснюється виконавцем відповідного профілю та є вільним в момент надходження замовлення з черги. Після завершення роботи виготовлений продукт надходить на склад.

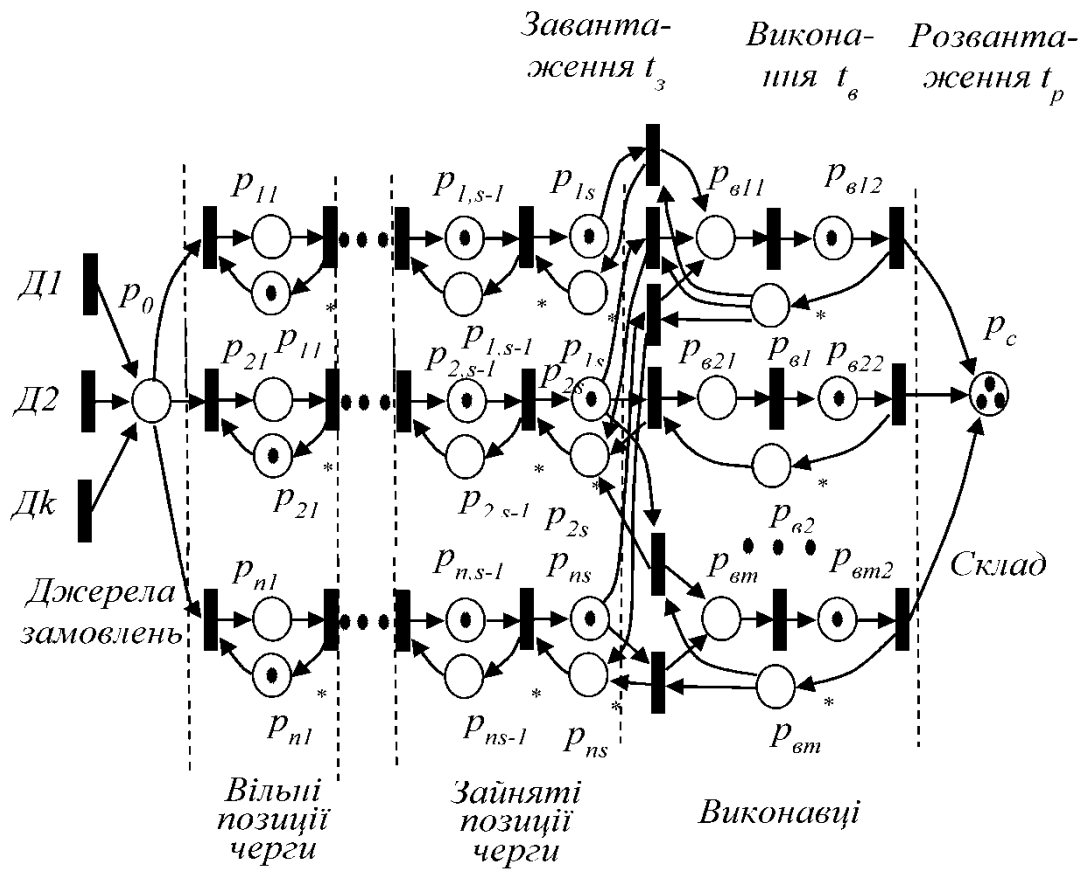


Рис. 3.44. Мережа Петрі бізнес-процесу «Деякі джерел різномісних замовлень – багатолінійна черга – група різномісних виконавців» (розроблено автором)

Застосування мережі Петрі вищого порядку для моделювання роботи центру обслуговування клієнтів.

На рис. 3.45 побудовано мережу Петрі вищого порядку – часову кольорову - для бізнес-процесу обслуговування клієнтів в сервісному центрі у випадку різномісних замовлень. Тут здійснюється розділення замовлень за профілем. Для цього кожній мітці (замовленню) надається «колір» ψ_i , який відповідає певному одному типу, а також момент надходження замовлення t_{i0} . Ці мітки групуються в умові безпосередньо на виході операції T_1 (фаза 1) з запізненням на t_1 , тобто момент їх появи на вході черги буде $(t_{i0} + t_1)$. Далі

відбувається розділення замовлень по чергах за їх профілем ψ_i і замовлення надходить в чергу відповідного профілю (фаза 2).

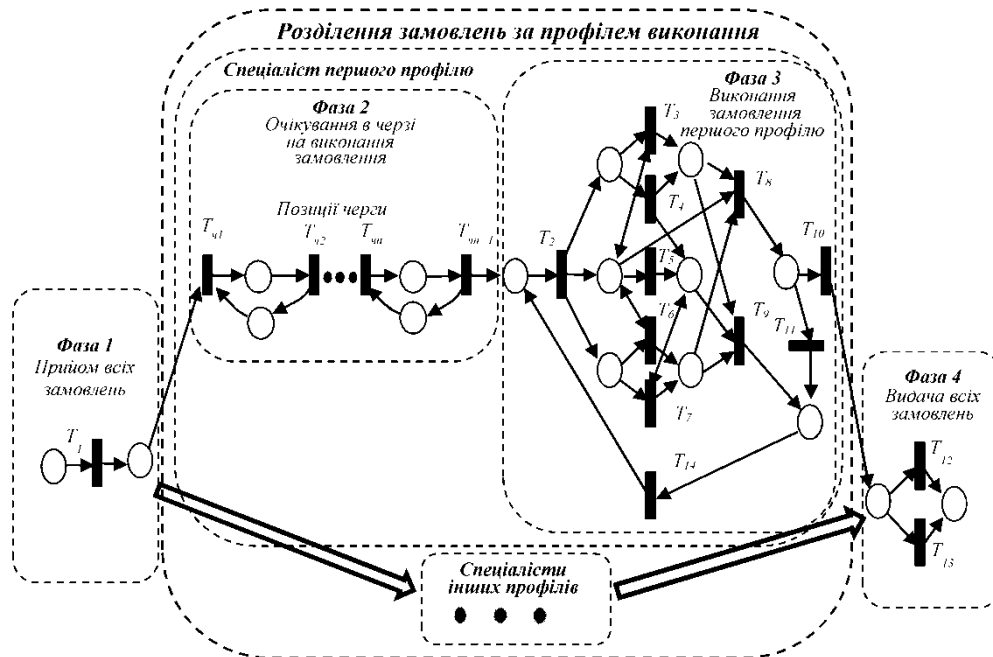


Рис. 3.45. Мережа Петрі вищого порядку для центру обслуговування клієнтів у випадку різнотипних замовлень (розроблено автором)

Наприклад, перша черга через першу подію T_{a1} приймає замовлення типу ψ_i . В черзі профіль замовлення залишається без зміни ψ_i , а момент появи замовлення на безпосереднє його опрацювання в фазі 3 зростає на час його очікування в черзі t_{i1} , тобто його значення становить $(t_{i0} + t_1 + t_{i1})$. В фазі 3 відбуваються перетворення аналогічні як для замовлень одного профілю. У найпростішому випадку воно проходить через операції T_2 , T_8 та T_{10} , унаслідок чого його властивість набирає змін $(\psi_i * \psi_2 * \psi_8 * \psi_{10})$. Момент його появи після виконання операцій у фазі 3 змінюється на $(t_{i0} + t_1 + t_{i1} + t_2 + t_8 + t_{10})$. Виконане замовлення надходить на місце видачі (фаза 4). У фазі 4 перед видачею замовлення відбувається його пакування за час t_{12} або t_{13} , внаслідок чого момент його появи на виході буде $(t_{i0} + t_1 + t_{i1} + t_2 + t_8 + t_{10} + (t_{12} \text{ або } t_{13}))$, а властивість $(\psi_i * \psi_2 * \psi_8 * \psi_{10} * (\psi_{12} \text{ або } \psi_{13}))$. У випадку незадовільної якості, замовлення може поступити на повторне виконання через операції T_{11} та T_{14} . Для кожного іншого типу замовлення є своя черга та операції його виконання (спеціалісти інших профілів).

Таким чином на основі проведених досліджень можемо зробити висновок, що моделі бізнес-процесів на мові мереж Петрі вищого порядку є значно детальнішими ніж на основі нотацій систем BPM, BPEL, BPMN, EPCs, YAWL, а також у вигляді простих мереж Петрі. Мова мереж Петрі вищого порядку створює кращі умови для проектування нових бізнес-процесів та дослідження ефективності функціонування існуючих. Вона дає можливість досліджувати такі характеристики, як час виконання, та враховувати властивості перетворення продукту для кожної з бізнес-операцій.

Виробничі характеристики бізнес-процесів типу «Замовники-черги-виконавці». Одними з важливих характеристик розглянутих бізнес-процесів є їх продуктивність та довжини черг, оскільки останні визначають час на очікування замовленого продукту (Kuzmin та Bazylevych, 2014). Їх необхідно визначити на етапі проектування. Черги утворюються у тому випадку, коли сумарна продуктивність всіх виконавців є меншою за сумарну продуктивність всіх джерел замовлень. Черги не утворюються, коли ці продуктивності є однаковими чи продуктивність виконавців є більшою та замовлення поступають рівномірно і в однакових обсягах. Проте, моменти надходження замовлень можуть бути нерівномірними. Тому далеко не у всіх випадках можна забезпечити таку сталість, внаслідок чого в певні інтервали часу сумарний обсяг замовлень може перевищувати продуктивні можливості бізнес-процесу.

Продуктивність підприємств також може змінюватись. Наприклад, зменшилось число виконавців, вийшли з ладу деякі машини тощо. Це спричиняє утворення черг. Тому вимогою до проектанта є побудова підприємства з такими характеристиками, що забезпечують ефективне їх функціонування в найгірших випадках. Необхідно належним чином оцінити продуктивність виробничих ресурсів – число виконавців з бажаними характеристиками, та не допустити утворення черг з часом затримки виконання замовлення більшим за бажане значення.

Введемо такі позначення:

- ω_{zi}^{\max} , ω_{zi} , ω_{zi}^{\min} – відповідно максимальний, середній та мінімальний обсяги замовлень i -го замовника за одиницю часу, тобто його продуктивність;
- ω_{vi}^{\max} , ω_{vi} , ω_{vi}^{\min} – відповідно максимальний, середній та мінімальний обсяги продукції, які може виготовити i -ий виконавець за одиницю часу – його продуктивність;
- k – число джерел замовлень;
- m – число виконавців;
- n – число черг;
- s – число елементів черги.

Визначимо такі характеристики бізнес-процесу:

- Ω_3^{\max} , Ω_3 , Ω_3^{\min} – відповідно максимальний, середній та мінімальний сумарні обсяги замовлень всіх джерел системи за одиницю часу, тобто їх сумарна продуктивність, де

$$\Omega_3^{\max} = \sum \omega_{zi}^{\max}, \Omega_3 = \sum \omega_{zi}, \Omega_3^{\min} = \sum \omega_{zi}^{\min}, i = 1, \dots, k;$$

- Ω_B^{\max} , Ω_B , Ω_B^{\min} – відповідно максимальний, середній та мінімальний сумарні обсяги продукції, які може виготовити вся системи за одиницю часу – її продуктивність,

де

$$\Omega_B^{\max} = \sum \omega_{vi}^{\max}, \Omega_B = \sum \omega_{vi}, \Omega_B^{\min} = \sum \omega_{vi}^{\min}, i = 1, \dots, m.$$

Умовою відсутності черги за тривалий проміжок часу при сталому утворенні замовлень є умова $\Omega_B \geq \Omega_3$. Якщо вона не виконується в моменти часу t_i , тобто $\Omega_B(t_i) < \Omega_3(t_i)$, то формуються черги. Величина утвореної черги буде визначатися тривалістю такої ситуації. Найгіршим буде випадок, коли джерела генерують максимальні обсяги замовлень з продуктивністю Ω_3^{\max} , а бізнес-процес має найменші продуктивні можливості, тобто її продуктив-

ність складає Ω_B^{\min} . Тоді за час T утворюється надлишок замовлень обсягом Δ_T , що формують чергу, величина якої визначається різницею цих значень:

$$\Delta_T = (\Omega_3^{\max} - \Omega_B^{\min}) T. \quad (3.31)$$

Кількість необхідних елементів, для уникнення накопичення замовлень в їх джерелах, для однієї черги повинна мати значення:

$$s = \Delta_T / \Delta_i, \quad (3.32)$$

де Δ_i – середній обсяг замовлень одного замовника.

У випадку наявності n черг це значення буде таким:

$$s_n = \Delta / n\Delta_i. \quad (3.33)$$

При проектуванні бізнес-процесу значення T задається як максимально допустимий час очікування в черзі. При виконанні робіт на підприємствах, коли обмеженою є кількість верстатів, роботів чи людські ресурси, а також при обслуговуванні клієнтів в офісах він повинен бути незначним, а для промислових систем – в залежності від вимог замовника.

Важливим також є час очікування в черзі від моменту надходження замовлення до початку його виконання:

$$T^o = \Delta^o / \Omega^o, \quad (3.34)$$

тут Δ^o – сумарний обсяг всіх замовлень, що очікують на виконання в момент надходження замовлення, Ω^o – середня продуктивність бізнес-процесу за час очікування.

3.3. Формування асинхронних дискретних систем та побудова мереж Петрі вищого порядку для дослідження структури та закономірностей функціонування бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах

В даному розділі на основі розробленої методики проаналізовано окремі бізнес-процеси на підприємствах, виявлено закономірності їх

функціонування та запропоновано шляхи вдосконалення розглянутих бізнес-процесів.

Досліджено бізнес-процеси та закономірності функціонування відділу експортно-імпортних операцій департаменту логістики ТОВ «Нестле Україна». Сформовано асинхронну дискретну систему, побудовано на її основі мережу Петрі вищого порядку.

Основними завданнями відділу експортно – імпортних операцій є такі:

- здійснення і організація імпортних операцій;
- здійснення і організація експортних операцій;
- сертифікація продукції згідно з чинним законодавством.

Для товару, який передбачає купити організація, відділу необхідно виконати такі завдання:

- оцінити якість товару,
- оцінити особливості пакування,
- скласти договір на придбання у випадку, якщо вказані показники відповідають потребам. Якщо вони є незадовільними, то повідомити постачальника товару про потрібні зміни якісних показників, або розглянути можливості вибору іншого постачальника, який буде задовольняти потреби підприємства.

Для імпортування товару необхідно виконати такі завдання:

- отримати рахунок на товар;
- здійснити його переклад. Переклад виконується власними можливостями або замовляється у перекладацькій агенції;
- перевірити брокерами.

Перевірка брокерами включає такі завдання:

- перевірка назви товару;
- перевірка коду товару;
- перевірка ваги нетто товару;
- перевірка ваги брутто товару у пакуванні;
- перевірка брутто товару без пакування;

- перевірка назви отримувача;
- перевірка назви покупця;
- перевірка назви продавця;
- перевірка назви відправника;
- перевірка умов ІНКОТЕРМС;
- перевірка вартості товару;
- перевірка умов оплати;
- перевірка валюти;
- перевірка країни походження;
- перевірка способу пакування, в тому числі: кількість штук в коробках; кількість коробок в ящику; кількість ящиків на палеті; кількість палет в автомашині;
- перевірка умов для автомашини: тип, тент, рефрижератори, бочки, контейнери;
- спосіб завантаження: зверху, ззаду, збоку, кількість ременів кріплення.

Відзначені вимоги перевірки надалі використовуються для складання договору, вони повинні збігатися з кінцевим його варіантом.

Основним операціями відділу є такі:

- отримання сертифікату якості;
- перевірка сертифікату якості на інгредієнти дозволені в Україні:
 - а) якщо дозволені, то:
 - перекласти сертифікат якості на українську мову;
 - отримати зразок на пакування товару для споживача;
 - перекласти зразок етикетки товару для споживача на українську мову;
 - перевірити на відповідність українським стандартам, та якщо не відповідають вимогам, то узгодити вимоги до етикетки з іншими відділами. Результатом є спільне рішення про етикетку;
 - вислати виробнику інформацію про вимоги на етикетку згідно з українськими стандартами та вимогами підприємства;

- якщо відповідають вимогам, то отримати ціни на товар від виробника та виконати такі наступні операції:
- здійснити аналіз вартості товару;
- отримати сумарну вартість доставки в Україну;
- отримати вартість митного оформлення в Україні;
- отримати на складі інформацію про вартість в гривнях;
- отримати інформацію з фінансового відділу про ціни, і запит на надання ціни для аналізу ринку.

б) якщо не дозволені, то:

- вислати повідомлення виробнику, що інгредієнт не дозволений;
- надати заміни в Україні дозволені товари;
- перекласти сертифікат якості на українську мову.

Для договору з постачальником товару необхідно підготувати такі документи: рахунок, пакувальний лист та транспортну накладну. Загальну послідовність виконання цих операцій зображено на рис. 3.46.



Рис. 3.46. Послідовність виконання основних операцій на підприємстві при замовленні товару (розроблено автором)

Будуємо опис структури бізнес-процесу підготовки документів у вигляді асинхронної дискретної системи. Вона зображена на рис. 3.47, де введено такі позначення:

- I01, I02, I03 - вся вхідна інформація, необхідна для замовлення товару, а саме: I01 – вхідні вимоги українських стандартів та підприємства на виготовлення документації; I02 та I03;
- R01П, R01В, R02П, R02В, R03П, R03В – вся вихідна інформація, тобто погоджені та відхилені документи, що відповідають чи не відповідають вимогам: рахунок, пакувальний лист та транспортна накладна;

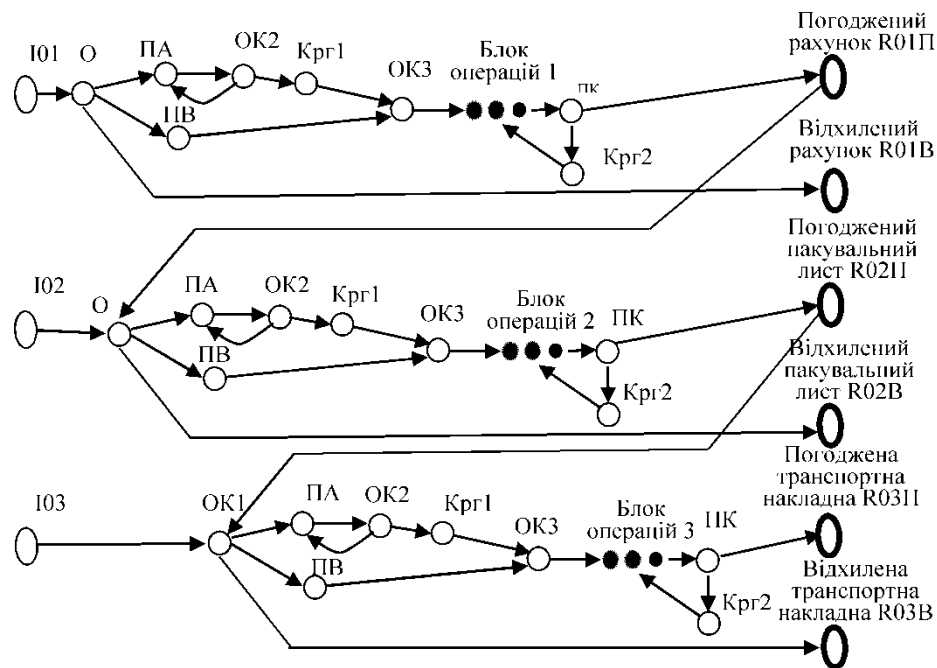


Рис. 3.47. Опис бізнес-процесів підготовки документів як асинхронної дискретної системи (розроблено автором)

- ОК1, ОК2, ОК3 – операції контролю вхідної інформації, перекладу агенцією та власного;
- ПА, ПВ – переклади перекладацькою агенцією або власний;
- Блок операцій 1, Блок операцій 2 та Блок операцій 3 – набори операцій, необхідних для виготовлення основного документу;
- Крг 1, Крг2 – коригування документів на відповідних етапах виконання операцій виготовлення документів;
- ПК – перевірка кінцева керівником департаменту.

Аналіз цього опису дає можливість виділити окремо: всі вхідні вимоги, необхідні для виготовлення документації, всі утворені кінцеві документи, всі операції, а також шляхи проходження документів, що однозначно описують послідовності їх виготовлення.

Для деталізації властивостей бізнес-операцій даної системи будемо мережу Петрі вищого порядку – часову кольорову, яка дозволяє врахувати часові та інші характеристики, властиві даним бізнес-процесам (Рис.3.49).

Опишемо рисунок:

- ф01, ф02, ф03 - вхідна інформація, необхідна для замовлення товару, а саме: ф01 – це вхідні вимоги на виготовлення документації, ф02 та ф03 - вимоги українських стандартів та підприємства;
- ф01П, ф02П, ф03П – вихідна інформація, тобто погоджені документи, що відповідають вимогам: рахунок, пакувальний лист та транспортна накладна;
- ф01В, ф02В, ф03В – вихідна інформація, тобто відхилені документи, що не відповідають вимогам: рахунок, пакувальний лист та транспортна накладна;
- ОК1 – операція, в якій керівник приймає рішення чи відхилити рахунок чи здійснити його переклад. Якщо рахунок відхиляється, то в операції ОД готуються відповідні документи (ф01В - обґрунтування відхилення), які відсилаються замовнику. В протилежному випадку документ перекладається. Якщо документ не є складний, то департамент сам виконує переклад (операція ПВ), якщо ж потрібна допомога перекладацької агенції, то документ пересилається в агенцію для перекладу (операція ПА). Розділення завдання визначається властивістю мітки в умові, характер якої визначається керівником в операції ОК1. Тут властивість мітки в умові ф1 задає наступну послідовність операцій, тобто вона виконує тернарну логічну функцію ексклюзивного розділення «АБО»; мітка ф1 в операції ОК1 отримує одну із трьох можливих «кольорів», внаслідок чого операції ПА, ПВ та ОД

- «обирають» для виконання тільки ту мітку (відповідний їй документ), яка має відповідне властиве цій операції «кольорування»;
- мітка в умові ф2 визначає властивість отриманого перекладу операцією ПА, яку виконує перекладацька агенція;
 - ОК2 – операція оцінки отриманого перекладу персоналом департаменту. Результатом оцінки є «колір», який отримує мітка ф3. Мітка в умові ф3 на основі свого «кольору» визначає наступну послідовність операцій. Якщо якість перекладу є незадовільною, то результат перекладу надходить на операцію Крг2 для його коригування з наступним повторенням операції ПА. Якщо ж він є достатньо якісним, то документ подається на операцію Крг1 також для додаткового власного коригування;
 - в умову ф4 поступає мітка, яка описує перекладений документ;
 - ОК3 – операції додаткового контролю інформації, отриманої як наслідок перекладу агенцією або власного, яку виконує керівник відділу. При необхідності він може внести додаткові зміни в документ;
 - в умову ф5 поступає мітка, що описує якісно підготовлений документ для подальших з ним операцій, які послідовно виконуються Блоком 1;
 - ПК – операція кінцевої перевірки документу керівником відділу. Він приймає рішення, чи утворений кінцевий документ є належним.

Висновок керівника описує мітка в умові ф6. Якщо у керівника немає зауважень до документу, то на його основі готується в операції ОП погоджений рахунок ф01П. Якщо ж потрібним є ще додаткове коригування, то робляться належні зауваження в операції Крг3, які подаються в мітку в умові ф5 для повторного проведення належного покращення в Блоці операцій 1. Операція ПК разом з умовою ф6 виконують логічну функцію ексклюзивного бінарного розділення «АБО».

Наступні два блоки мережі Петрі аналогічним чином описують послідовності операцій підготовки ще двох документів –пакувального листа ф02П та транспортної накладної ф03П.

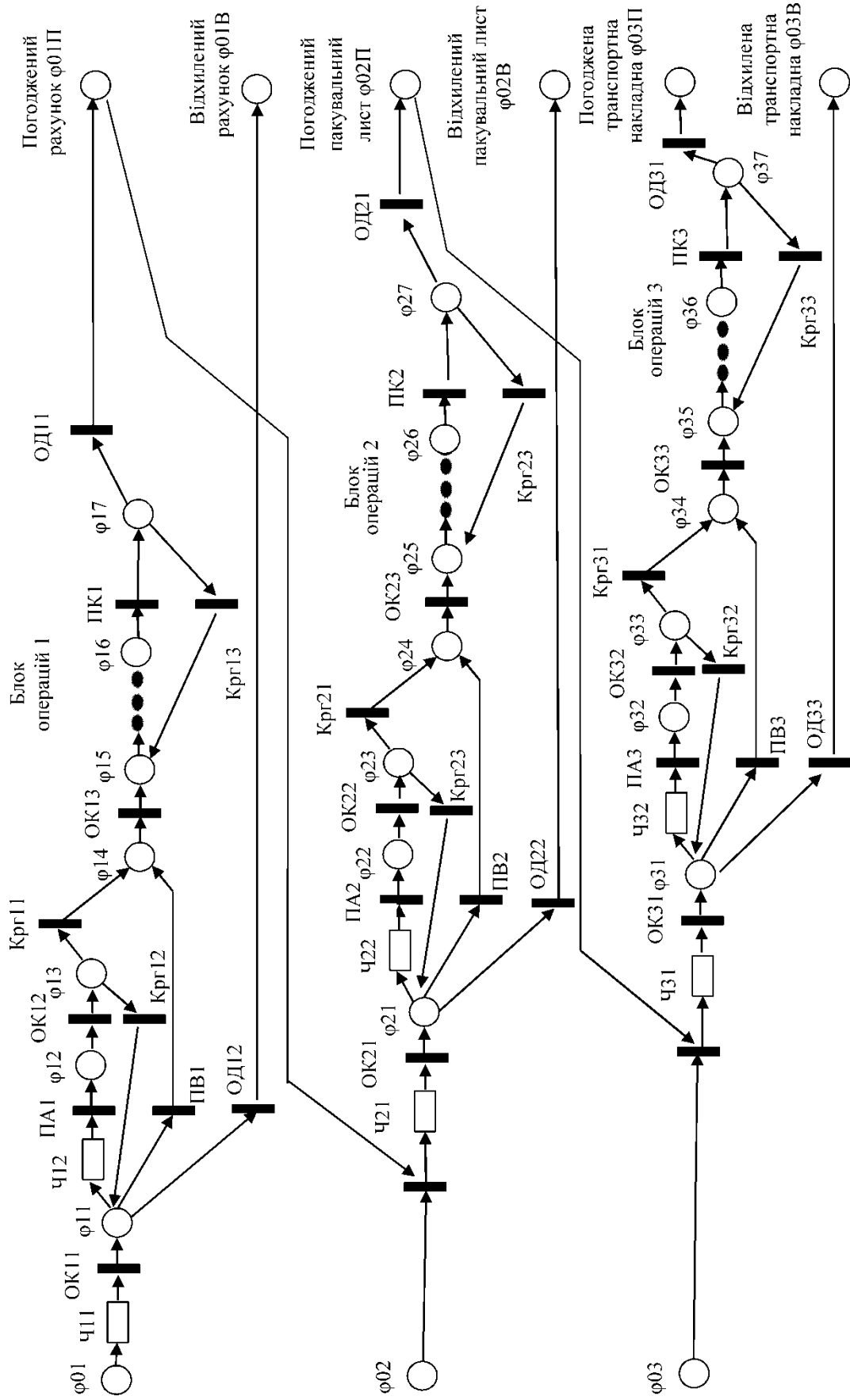


Рис. 3.48. Опис структури підготовки документів з використанням мережі Петрі вищого порядку (розроблено автором)

Для їх виконання надходять документи з попередніх блоків, а також додаткова вхідна інформація в умовах ф02 та ф03. Якщо вхідні додаткові документи є незадовільними, то вони відхиляються керівником в операції ОК1 зі створенням відповідних документів ф02В та ф03В.

В таблиці 3.1 зведено основні операції підготовки документів, які використані для побудови мережі Петрі. В таблиці 3.2 зведено список міток (властивостей документів).

Таблиця 3.1

Основні операції підготовки документів на мові мережі Петрі
(розроблено автором)

Назва операції	Функції операції	Результат виконання операції – мітка	Тривалість операції, Хвилин
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ РАХУНКУ			
ОК11	Оцінка (аналіз) керівником вхідного документу з прийняттям рішень: 1. Відхилити документ 2. Направити документ для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад	ф11	$\tau_{ОК11} = 5$
ПА1	Переклад документу перекладацькою агенцією	ф12	$\tau_{ПА1} = 60$
ОК12	Оцінка перекладеного документу в агентстві	ф13	$\tau_{ОК12} = 15$
Крг11	Коригування документу керівником	ф14	$\tau_{Крг11} = 10$
Крг12	Формування поправок для коригування перекладу	ф11	$\tau_{Крг12} = 10$
ПВ1	Власний переклад	ф14	$\tau_{ПВ} = 60$
ОК13	Оцінка та схвалення керівником документу для опрацювання	ф15	$\tau_{ОК13} = 10$
Блок операцій 1	Блок операцій, необхідних для виготовлення рахунку	ф16	$\tau_{Б1} = 5$
ПК1	Схвалення або відхилення документу керівником	ф17	$\tau_{ПК1} = 10$

Крг13	Формування вимоги до коригування документу в Блоці операцій 1	φ15	τКрг13= 20
ОД11	Опрацювання документу для відправлення замовнику	φ01П	τОД11= 20
ОД12	Опрацювання відхиленого документу	φ01В	τОД12= 20
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ ПАКУВАЛЬНОГО ЛИСТА			
ОК21	Оцінка (аналіз) керівником вхідного документу з прийняттям рішень: 1. Відхилити документ 2. Направити документ для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад	φ21	τОК21= 5
ПА2	Переклад документу перекладацькою агенцією	φ22	τПА2= 60
ОК22	Оцінка перекладеного документу в агенції	φ23	τОК22= 15
Крг21	Коригування документу.	φ24	τКрг21= 10
Крг22	Формування поправок для коригування перекладу	φ21	τКрг22= 10
ПВ2	Власний переклад	φ24	τПВ2= 60
ОК23	Оцінка та схвалення керівником документу для опрацювання	φ25	τОК23= 10
Блок операцій 2	Блок операцій, необхідних для виготовлення пакувального листа	φ26	τБ2= 5
ПК2	Схвалення або відхилення документу керівником	φ27	τПК2= 10
Крг23	Формування вимоги до коригування документу в блоці операцій 2	φ25	τКрг23= 20
ОД21	Опрацювання схваленого документу для відправлення замовнику	φ02П	τОД21= 20
ОД22	Опрацювання відхиленого документу	φ02В	τОД12= 20
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ НАКЛАДНОЇ			
ОК31	Оцінка (аналіз) керівником вхідного документу з прийняттям	φ31	τОК31= 5

	рішень: 1. Відхилити документ 2. Направити документ для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад		
ПА3	Переклад документу перекладацькою агенцією	$\phi 32$	$\tau_{\text{ПА3}} = 60$
ОК32	Оцінка перекладеного документу	$\phi 33$	$\tau_{\text{ОК32}} = 15$
Крг31	Коригування документу	$\phi 34$	$\tau_{\text{Крг31}} = 10$
Крг32	Формування поправок для коригування перекладу	$\phi 31$	$\tau_{\text{Крг32}} = 10$
ПВ3	Власний переклад	$\phi 34$	$\tau_{\text{ПВ3}} = 60$
ОК33	Оцінка та схвалення керівником документу для опрацювання	$\phi 35$	$\tau_{\text{ОК33}} = 10$
Блок операцій 3	Блок операцій, необхідних для виготовлення транспортної накладної	$\phi 36$	$\tau_{\text{Б3}} = 5$
ПК3	Схвалення або відхилення документу керівником	$\phi 37$	$\tau_{\text{ПК3}} = 10$
Крг33	Формування вимоги до коригування документу в блоці операцій 3	$\phi 35$	$\tau_{\text{Крг33}} = 20$
ОД31	Опрацювання схваленого документу для відправлення замовнику	$\phi 03\text{П}$	$\tau_{\text{ОД31}} = 20$
ОД32	Опрацювання відхиленого документу	$\phi 03\text{В}$	$\tau_{\text{ОД32}} = 20$

Таблиця 3.2

Властивості міток для бізнес-процесу підготовки документів на мові мережі Петрі (розроблено автором)

Мітка	Властивості мітки	
	Характер мітки	Час появи
ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ		
$\phi 01$	Вхідна інформація для підготування рахунку.	$t_{\phi 01} = t_0$
$\phi 02$	Вхідна інформація для підготування пакувального листа.	$t_{\phi 02} = t_0$
$\phi 03$	Вхідна інформація для підготування Транспортної накладної.	$t_{\phi 03} = t_0$

ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ		
φ01П	Погоджений Рахунок	$t_{\phi 01П} = t_{\phi 17} + \tau_{ОД11}$
φ01В	Відхилений Рахунок	$t_{\phi 01В} = t_{\phi 11} + \tau_{ОД12}$
φ02П	Погоджений Пакувальний лист	$t_{\phi 02П} = t_{\phi 27} + \tau_{ОД21}$
φ02В	Відхилений Пакувальний лист	$t_{\phi 02В} = t_{\phi 21} + \tau_{ОД22}$
φ03П	Погоджена Транспортна накладна	$t_{\phi 03П} = t_{\phi 37} + \tau_{ОД31}$
φ03В	Відхилена Транспортна накладна	$t_{\phi 03В} = t_{\phi 31} + \tau_{ОД32}$
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ РАХУНКУ		
φ11	Рахунок, який пройшов оцінку керівником та отримав одну з трьох рішень: 1. Відхилити 2. Направити для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад	$t_{\phi 11} = t_0 + \tau_{Ч11} + \tau_{ОК11}$
φ12	Перекладений агенцією рахунок	$t_{\phi 12} = t_{\phi 11} + \tau_{Ч12} + \tau_{ПА1}$
φ13	Перекладений агенцією Рахунок з оцінкою якості перекладу: 1. Задовільна якість 2. Незадовільна якість	$t_{\phi 13} = t_{\phi 12} + \tau_{ОК12}$
φ14	Перекладений до опрацювання Рахунок	$t_{\phi 14} = (t_{\phi 13} + \tau_{Крг11}) \vee (t_{\phi 11} + \tau_{ПВ1})$
φ15	Схвалений керівником до опрацювання Рахунок	$t_{\phi 15} = t_{\phi 14} + \tau_{ОК13}$
φ16	Опрацьований Блоком 1 Рахунок	$t_{\phi 16} = t_{\phi 15} + \tau_{Б1}$
φ17	Рахунок з рішенням керівника: 1. Схвалити 2. Повторно опрацювати	$t_{\phi 17} = t_{\phi 16} + \tau_{ПК1}$
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ ПАКУВАЛЬНОГО ЛИСТА		
φ21	Пакувальний лист, який пройшов оцінку керівником та отримав одне з трьох рішень: 1. Відхилити 2. Направити для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад	$t_{\phi 21} = t_0 + \tau_{Ч21} + \tau_{ОК21}$
φ22	Перекладений агенцією Пакувальний лист	$t_{\phi 22} = t_{\phi 21} + \tau_{Ч22} + \tau_{ПА2}$
φ23	Перекладений агенцією	$t_{\phi 23} = t_{\phi 22} + \tau_{ОК22}$

	Пакувальний лист з оцінкою якості перекладу: 1. Задовільна якість 2. Незадовільна якість	
φ24	Перекладений до опрацювання Пакувальний лист	$t_{\phi 24} = t_{\phi 23} + \tau_{Kp121} \vee (t_{\phi 21} + \tau_{PB2})$
φ25	Схвалений керівником Пакувальний лист для власного опрацювання	$t_{\phi 25} = t_{\phi 24} + \tau_{OK23}$
φ26	Опрацьований Пакувальний лист	$t_{\phi 26} = t_{\phi 25} + \tau_{B2}$
φ27	Пакувальний лист з рішенням керівника: 1. Схвалити 2. Повторно опрацювати	$t_{\phi 27} = t_{\phi 26} + \tau_{PK2}$
ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ПОГОДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ НАКЛАДНОЇ		
φ31	Транспортна накладна, яка пройшла оцінку керівником та отримала одне з трьох рішень: 1. Відхилити 2. Направити для перекладу в агенцію 3. Здійснити власний переклад	$t_{\phi 31} = t_0 + \tau_{Ч31} + \tau_{OK31}$
φ32	Перекладена агенцією Транспортна накладна	$t_{\phi 32} = t_{\phi 31} + \tau_{Ч32} + \tau_{ПА3}$
φ33	Перекладена агенцією Транспортна накладна з оцінкою якості перекладу: 1. Задовільна якість 3. Незадовільна якість	$t_{\phi 33} = t_{\phi 22} + \tau_{OK22}$
φ34	Перекладена до опрацювання Транспортна накладна	$t_{\phi 34} = (t_{\phi 33} + \tau_{Kp131}) \vee (t_{\phi 31} + \tau_{PB3})$
φ35	2. Схвалена керівником Транспортна накладна для власного опрацювання	$t_{\phi 35} = t_{\phi 24} + \tau_{OK23}$
φ36	Опрацьована Транспортна накладна	$t_{\phi 36} = t_{\phi 35} + \tau_{B3}$
φ37	Транспортна накладна з рішенням керівника: 1. Схвалити 2. Повторно опрацювати	$t_{\phi 37} = t_{\phi 36} + \tau_{PK3}$

В результаті аналізу бізнес-процесу Погодження рахунку було прийнято рішення, що етапи «коригування документу» (Kp11) і «формування правок» (Kp12) слід об'єднати як єдину операцію, тобто під

час коригування відразу формувати правки, чим скоротити час виконання. В результаті операцію «формування правок» (Крг12) вилучено, а операцію «коригування документу» (Крг11) скорочено до 7 хвилин. Час на операцію «оцінка та схвалення документу» (ОК13) скорочено до 8 хвилин через те, що документи однотипні і треба витратити менше часу на їх оцінку.

На наступних кроках – операція «схвалення або відхилення документу» (ПК1) була виключена, оскільки таких випадків дуже мало – таке схвалення відбувається на етапі «оцінки» (ОК13), і після чого рахунок подають до виготовлення. Операцію «формування вимог до коригування» (Крг13) скорочено на 5 хвилин, а операцію «опрацювання документу для відправлення замовнику» - (ОД11) на 5 хвилин, дана операція полягає у підписанні документу, скануванні і відправленні по електронній пошті замовнику. Вирішено, що підписанням документу буде займатись сам виконавець, якому надана необхідна для цієї операції довіреність, що призведе до скорочення часу виконання операції.

Аналогічні дії по вдосконаленню були застосовані до виготовлення пакувального листа і транспортної накладної.

Загальна таблиця порівняння витрат часу на окремі операції до і після застосування аналізу за допомогою мережі Петрі для всіх трьох бізнес-процесів приведена нижче:

Таблиця 3.3

Порівняння витрат часу на окремі операції(розроблено автором)

Бізнес-операції підготовки документів	Час до, хв.	Час після, хв.
Оцінка керівником ОК11	5	5
Переклад агенцією ПА1	60	60
Оцінка документу ОК12	15	12
Коригування документу Крг11	10	7
Формування правок Крг12	10	0
Оцінка та схвалення керівником ОК13	10	8
Виготовлення рахунку	5	5
Схвалення або відхилення ПК1	10	0

Формування вимог до коригування Крг13	20	15
Опрацювання для відправлення ОД11	20	15
Оцінка керівником ОК21	5	5
Переклад агенцією ПА2	60	60
Оцінка документу ОК22	15	12
Коригування документу Крг21	10	7
Формування правок Крг22	10	0
Оцінка та схвалення керівником ОК23	10	8
Виготовлення пакувального листа	5	5
Схвалення або відхилення ПК2	10	0
Формування вимог до коригування Крг23	20	15
Опрацювання для відправлення ОД21	20	15
Оцінка керівником ОК31	5	5
Переклад агенцією ПА3	60	60
Оцінка документу ОК32	15	12
Коригування документу Крг31	10	7
Формування правок Крг32	10	0
Оцінка та схвалення керівником ОК33	10	8
Виготовлення транспортної накладної	5	5
Схвалення або відхилення ПК3	10	0
Формування вимог до коригування Крг33	20	15
Опрацювання для відправлення ОД31	20	15
Разом, хвилин	495	381
Різниця, хвилин	114	

До запровадження змін черга (Ч11) складала 60 хвилин, тобто з новим рахунком розпочинали працювати тільки через 60 хвилин після того, як він поступив у відділ. Після запровадження змін така черга зменшилась до 46 хвилин. Загальне скорочення усього бізнес-процесу по підготовці документів склало 114 хв., що привело до збільшення опрацьованих документів протягом робочого дня і скорочення часу очікування в черзі.

Деталізація бізнес-операцій підготовки документів за допомогою мережі Петрі вищого порядку надала можливість керівнику підрозділу зрозуміти особливості затраченого часу на кожну окрему операцію процесу і

на загальний процес в цілому. Побачити детально, які операції застосовуються для виконання кінцевого завдання. Аналізуючи ці кроки, затрачений на них час, залучення працівників та здібності кожного окремого виконавця, було виявлено недоліки в організації процесу. Серед яких – зайві операції, дублюючі операції, операції, на які затрачається більше часу ніж потрібно для їх виконання. Виявлено виконавців, в яких недостатньо досвіду для швидкого виконання певного кроку. Відповідно для більш ефективного виконання загального процесу було здійснено додаткове навчання працівників, які його потребують, перерозподіл кроків між працівниками. Зміна виконавців того чи іншого кроку надала можливість скоротити час на виконання цього кроку та його якість. Застосування усіх вищевказаних заходів щодо вдосконалення процесу, який був деталізований і описаний за допомогою мережі Петрі вищого порядку, дозволило покращити час виконання операцій на 23%. Такий перерозподіл не призвів до збільшення витрат, а навпаки – створює можливості до скорочення витрат в майбутньому.

Розглянемо застосування мереж Петрі для дослідження та удосконалення бізнес-процесу виготовлення електродвигуна ДПС 80-12, який виготовляється на підприємстві ТзОВ «Завод «Електропобутприлад» корпорації «Електрон». Двигун використовується при будівництві днопроторових низькопідлогових вагонів з системою кондиціонування салону, з пониженим рівнем вібрації та шуму. Управління пасажирськими дверима здійснюється за допомогою програми, що регулює час та зусилля відчинення-зачинення дверей і дає можливість керування дверима безпосередньо пасажирам. Цей електродвигун використовується для руху дверей трамваю.

Проаналізуємо можливості використання мереж Петрі вищого порядку для дослідження технологічного процесу виготовлення електродвигуна. Послідовність основних процедур із вказанням кількості операцій в кожній з них зображено на рис. 3.49. Загальна кількість операцій в шести процедурах дорівнює 69.

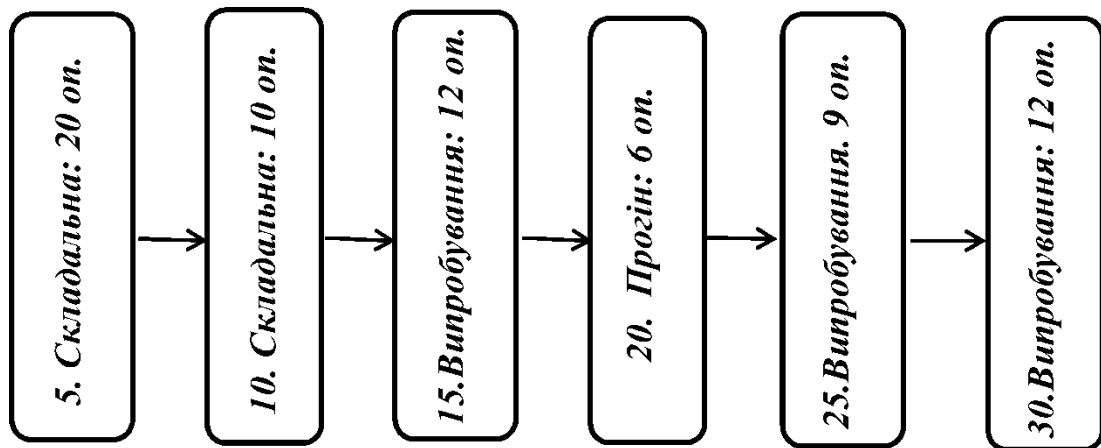


Рис. 3.49. Бізнес-процес виготовлення електродвигуна (розроблено автором на основі технологічних карт підприємства)

На рис. 3.50–3.55 побудовано мережі Петрі вищого порядку для кожної процедури технологічного процесу з рис. 3.49. В таблицях 3.4–3.9 зведено бізнес-операції шести технологічних процедур та їх зміст, результати та тривалості виконання. З лівої сторони рисунків та в таблицях подаються матеріали та засоби для реалізації операцій, які позначено через $\phi 01, \phi 02, \dots$. А операції та результати їх виконання позначено через $O1, O2, \dots$ та $\phi O1, \phi O2, \dots$.

Таблиця 3.4

Основні технологічні операції процедури 5.Складальна
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 5. СКЛАДАЛЬНА	Результат виконання операції	Тривалість операції, сек.
O1	Встановити щит підшипниковий задній (1) в гніздо каретки пристрою	$\phi O1$	20
O2	Розвести щітки до упору і зафіксувати їх в такому положенні	$\phi O2$	10
O3	На ротор, з сторони колектора встановити втулку (3) згідно КД	$\phi O3$	15
O4	Зорієнтувати вал ротора (2) (збоку колектора) з отвором підшипника щита підшипникового заднього (1)	$\phi O4$	5

O5	Запресувати ротор (2) в щит підшипниковий задній (1) до упору згідно КД	фO5	25
O6	Встановити пружину (7) на виступ кронштейна щита підшипникового заднього (1) згідно КД	фO6	5
O7	Завести пінцетом вихідний кінець пружини 1 на торець паза щітки згідно КД	фO7	5
O8	Завести пінцетом вихідний кінець пружини 2 на торець паза щітки згідно КД	фO8	5
O9	Контролювати візуально правильність складання (кожен виріб)	фO9	5
O10A	Надіти шайбу (6) при необхідності зі сторони вихідного кінця вала	фO10A	5
O10B	Встановити статор (4) на щит підшипниковий задній (1)	фO10B	10
O11	Зорієнтувати статор (4) з щитом підшипниковим заднім (1) по фіксуючому пазу щита і фіксуючому виступу статора (4)	фO11	10
O12A	Взяти щит підшипниковий передній (5) зорієнтувати вал ротора (2) з отвором підшипника	фO1A	10
O12B	Підпресувати щит підшипниковий передній (5) на вал ротора	фO12B	10
O13	Зорієнтувати статор (4) з щитом підшипниковим переднім (5) по фіксуючому пазу щита і фіксуючому виступу статора (4)	фO13	10
O14	Посадити щит підшипниковий передній (5) до упору, забезпечивши щільне прилягання щитів з статором згідно КД	ф O14	10
O15	Вийняти складальну одиницю з пристрою	фO15	5
O16	Контролювати візуально правильність складання кожного виробу за взірцем	фO16	5
O17	Покласти в червону тару "Брак" складальні одиниці (деталі), які були пошкоджені в процесі виробництва або не пройшли контроль	фO17 Брак	5
O18	Передати на наступну операцію якісну складальну одиницю	фO18 Склада- льна одиниця	5
Повний час виконання процедури 5.Складальна становить 180 сек.			

Опишемо процедуру «5.Складальна» за допомогою мережі Петрі на рис. 3.50.

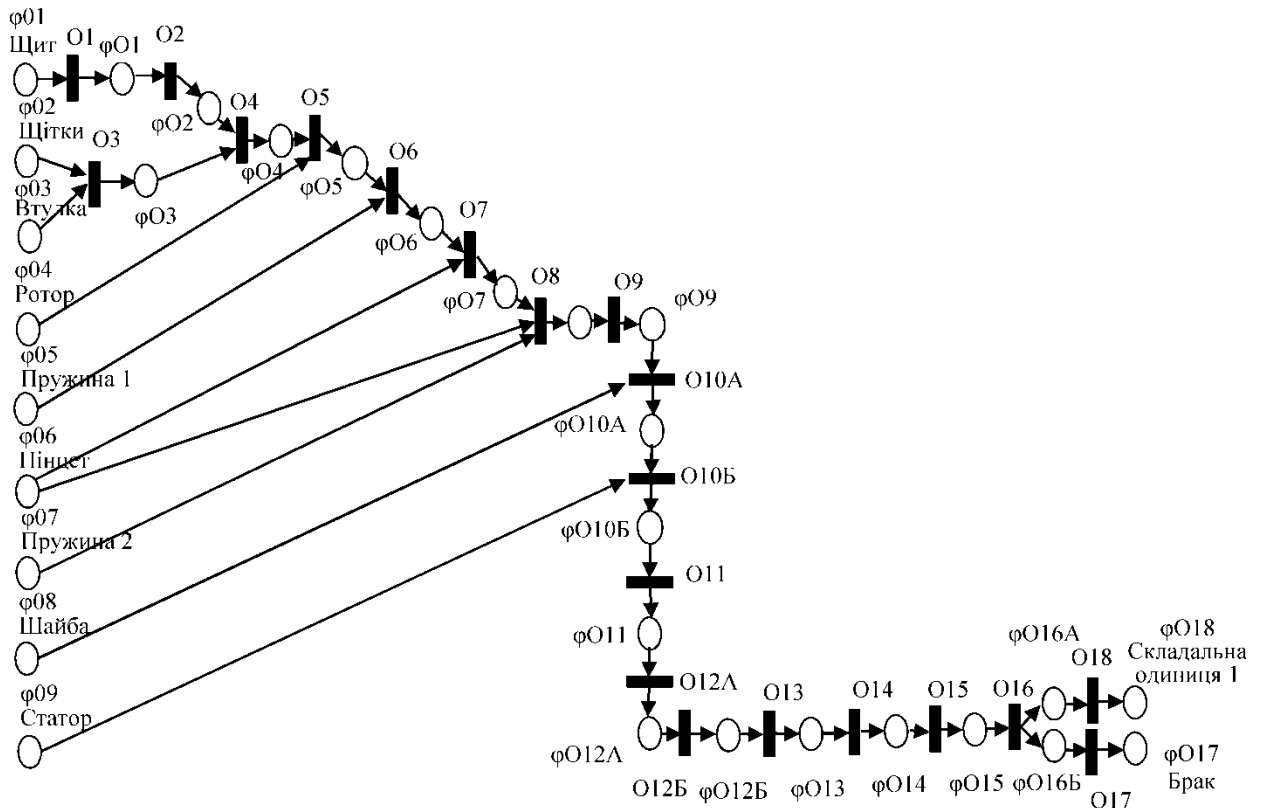


Рис. 3.50. Мережа Петрі для процедури 5.Складальна (розроблено автором)

Таблиця 3.5

Основні технологічні операції процедури 10.Складальна
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 10. СКЛАДАЛЬНА	Результат виконання операції	Тривалість операції, сек.
O1	Встановити на болти (5) шайби пружинні (6). Болти встановити в отвори щита підшипникового переднього і закрутити в щит підшипниковий задній на 1... 1,5 оберти вручну	ф01	20
O2	Докрутити болти до упору пневматичним гвинтовертом з попередньо виставленим зусиллям затягування гвинта 2,5...2,8 Нм.	ф02	10
O3	Оправкою контролювати параметри	ф03	15
O4A	Встановити на вал шайбу пружинну (2) та втулку (3)	ф04A	5
O4Б	Встановити в канавку вала шайбу (7)	ф04Б	5

O5	Прокручуючи вал рукою переконатися у відсутності «заїдання»	φO5	15
O6A	Натиснути пальцем на вал зі сторони щита підшипникового заднього, переконавшись у відсутності осьового переміщення ротора	φO6A	5
O6B	Контролювати шаблоном вихідний кінець вала: 17 +1 мм згідно КД (кожен виріб)	φO6B	15
O7	Встановити пробку (4), контролювати розмір 128 - 1 згідно КД	φO7	15
O8	Контролювати візуально правильність складання (кожен виріб)	φO8	25
O9	Покласти в червону тару "Брак" складальні одиниці (деталі), які були пошкоджені в процесі виробництва або не пройшли контроль	φO9	10
O10	Передати на наступну операцію якісну складальну одиницю	φO10	10
O11A	Контролювати виконавцем якісні складальні одиниці.	φO11A	20
O11B	Контролювати виконавцем "Брак"	φO11B	10
Повний час виконання процедури 10.Складальна становить 180 сек.			

Опишемо процедуру «10.Складальна» за допомогою мережі Петрі на рис. 3.51.

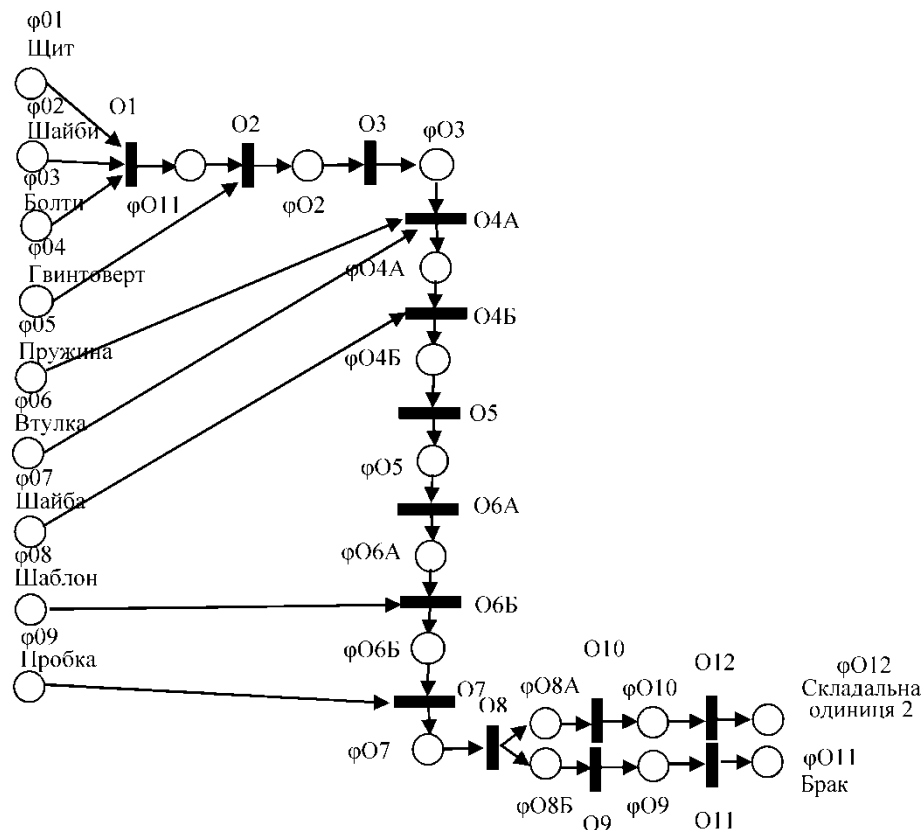


Рис. 3.51. Мережа Петрі для опису процедури 10.Складальна (розроблено автором)

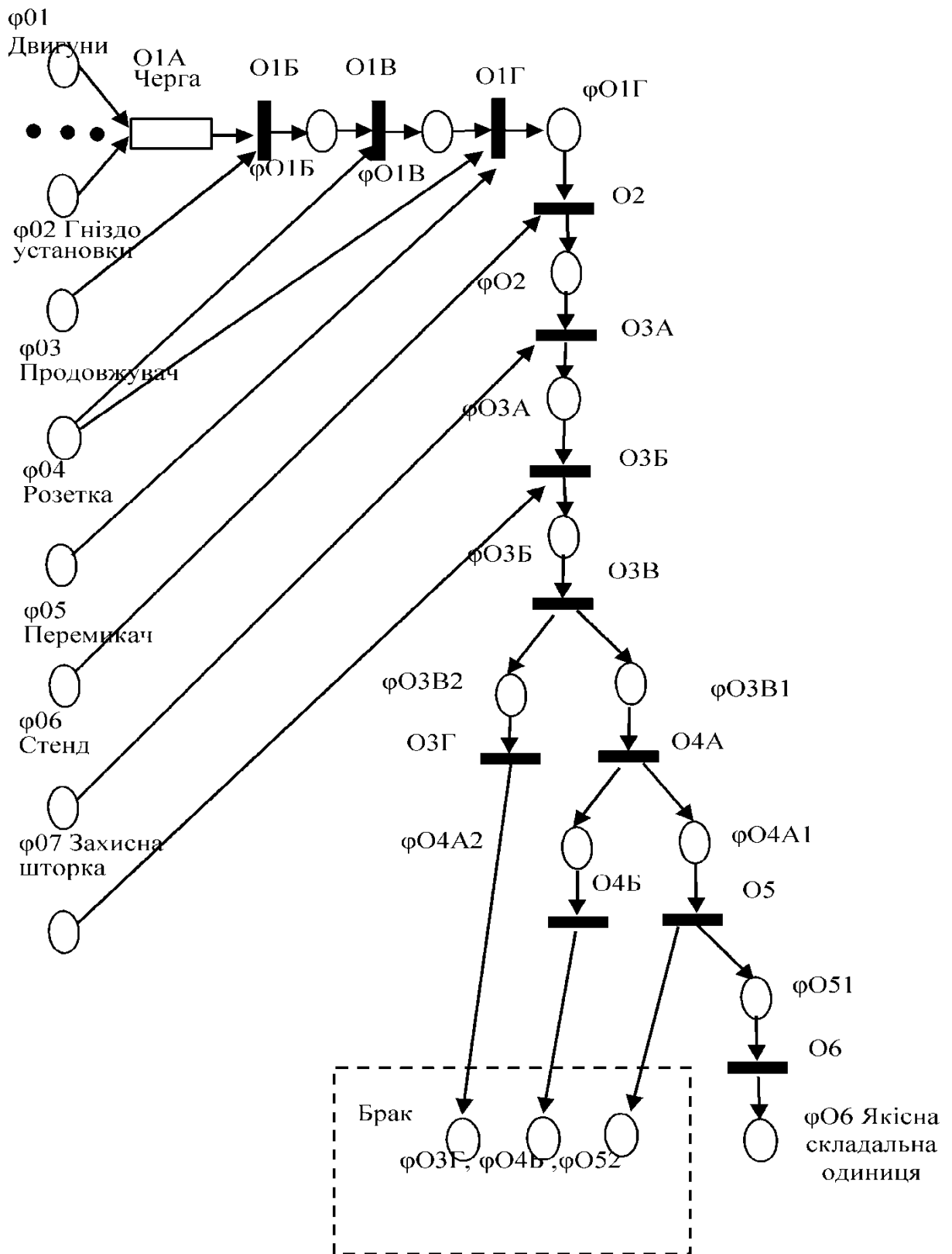


Рис. 3.52. Мережа Петрі для опису процедури 15.Випробування
(розроблено автором)

Таблиця 3.6

Основні технологічні операції процедури 15. Випробування
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 15.ВИПРОБУВАННЯ	Результат виконання операції	Тривалість операції сек.
О1А	Помістити двигун в чергу на випробування	Черга	5
О1Б	Встановити двигун у гніздо установки	фО1Б	5
О1В	Під'єднати двигун до роз'ємів подовжувача	фО1В	5
О1Г	В розетку "робоча напруга" під'єднати вилку подовжувача	фО1Г	5
О2	Вибрати перемикачем напругу 12 В	фО2	5
О3А	Включити стенд	фО3А	5
О3Б	Закрити захисну шторку	фО6А	5
О3В	Контролювати (кожен виріб) електричну міцність ізоляції при напрузі - 600 В на протязі 1 с (згідно ГОСТ16264.0-85 (п.3.3))	фО3В1, фО3В2	50
О3Г	Відкласти двигун у червону тару "Брак". В разі, якщо спрацює звукова та світлова сигналізація, що засвідчує пробій ізоляції	ф Брак	10
О4А	Контролювати (кожен виріб) споживаний струм 2,8 А при напрузі живлення 12В при автоматичному пуску двигуна	фО4А2, фО4А1	50
О4Б	Від'єднати і покласти у червону тару "Брак" двигун при перевищенні споживаного струму	ф Брак	10
О5	Перевірити опір ізоляції електродвигуна натисненням кнопки "1" на мегаомметрі після автоматичного вимкнення установки. Випробування проводити при напрузі 500 В, тривалістю 2 сек. Опір ізоляції не повинен бути менший 10 МОм (згідно ТЗ №59-2). Відкласти двигун у червону тару "Брак" в разі, якщо опір ізоляції буде меншим	фО5 ф Брак	20
О6	Вийняти двигун з гнізда установки	фО6 Якісна склада- льна одиниця	5

Повний час виконання процедури 15. Випробування становить 180 сек.

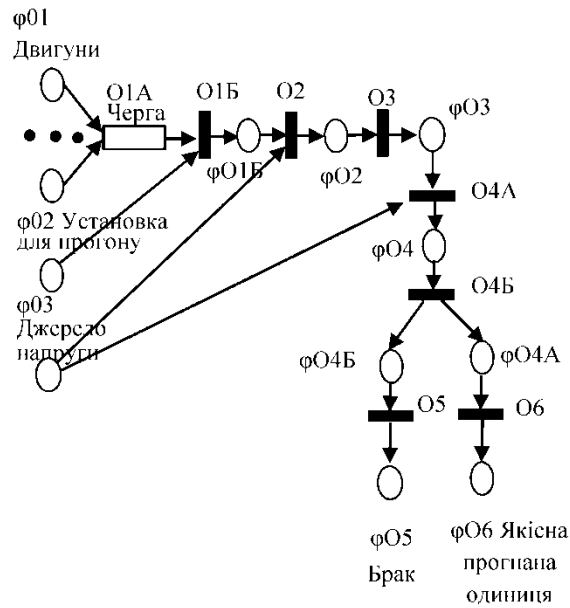


Рис. 3.53. Мережа Петрі для опису процедури 20. Прогін
(розроблено автором)

Таблиця 3.7

Основні технологічні операції процедури 20. Прогін
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 20. ПРОГІН	Результат виконання операції	Тривалість операції, сек.
O1A	Помістити двигун в чергу для прогону	Черга	10
O1Б	Встановити електродвигун на установку для прогону	φO1Б	10
O2	Подати напругу 12 + 0,24 В	φO2	5
O3	Прогнати електродвигун протягом 1,5 год.	φO3	5400
O4A	Відключити напругу	φO4A	5
O4Б	Зняти електродвигун	φO4Б	5
O5	Покласти в червону тару "Брак" двигуни, які були пошкодженні в процесі виробництва або не пройшли контроль	φO5 Брак	5
O6	Передати на наступну операцію якісну складальну одиницю	φO6 Якісна складальна одиниця	5
Повний час виконання процедури 20.Прогін становить 5445сек.			

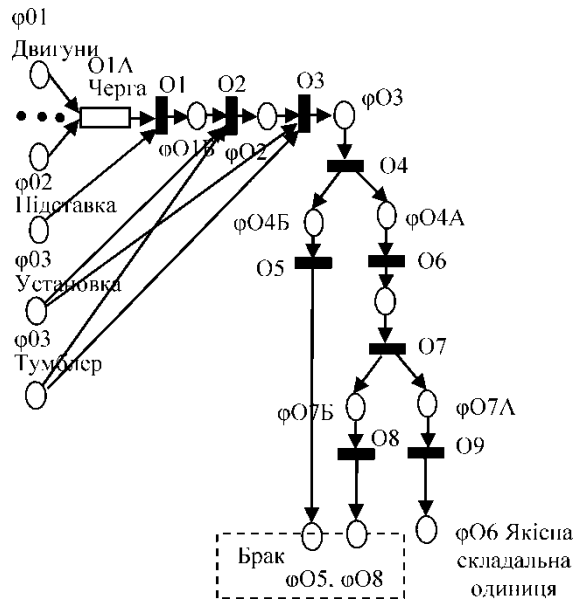


Рис. 3.54. Мережа Петрі для опису процедури 25.Випробування
(розроблено автором)

Таблиця 3.8

Основні технологічної операції процедури 25.Випробування
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 25.ВИПРОБУВАННЯ	Результат виконання операції	Тривалість операції, сек.
O1 А	Помістити двигун в чергу для випробування	Черга	10
O1 Б	Встановити електродвигун ДПС-80-12 на підставку	φO1Б	10
O2	Увімкнути установку тумблером "мережа"	φO2	5
O3	Виставити тумблером напругу живлення 12В ±0,24В на установці	φO3	10
O4	Контролювати на установці (кожен виріб): граничну межу струму холостого ходу 1,9 А та рівень шуму в порівнянні з взірцем-еталоном згідно інструкції по вхідному контролю електродвигунів ДПС-80-12 та ДПС- 80-24 ідент.№8501669А	φO4А, φO4Б	80
O5	Покласти в червону тару "Брак" з відміткою виду браку двигуни, що не вклалися у зазначену вище	φO5, Брак	5

	межу струму та шуму		
O6	Вимкнути напругу живлення	φO6	5
O7	Контролювати візуально (кожен виріб) зовнішній вигляд	φO7A, φO7B	40
O8	Покласти в червону тару "брак" двигуни, які були пошкодженні в процесі виробництва або не пройшли контроль	φO8 Брак	5
O9	Передати на наступну операцію якісну складальну одиницю	φO9 Якісна складальна одиниця	10
Повний час виконання процедури 25.Випробування становить 180 сек.			

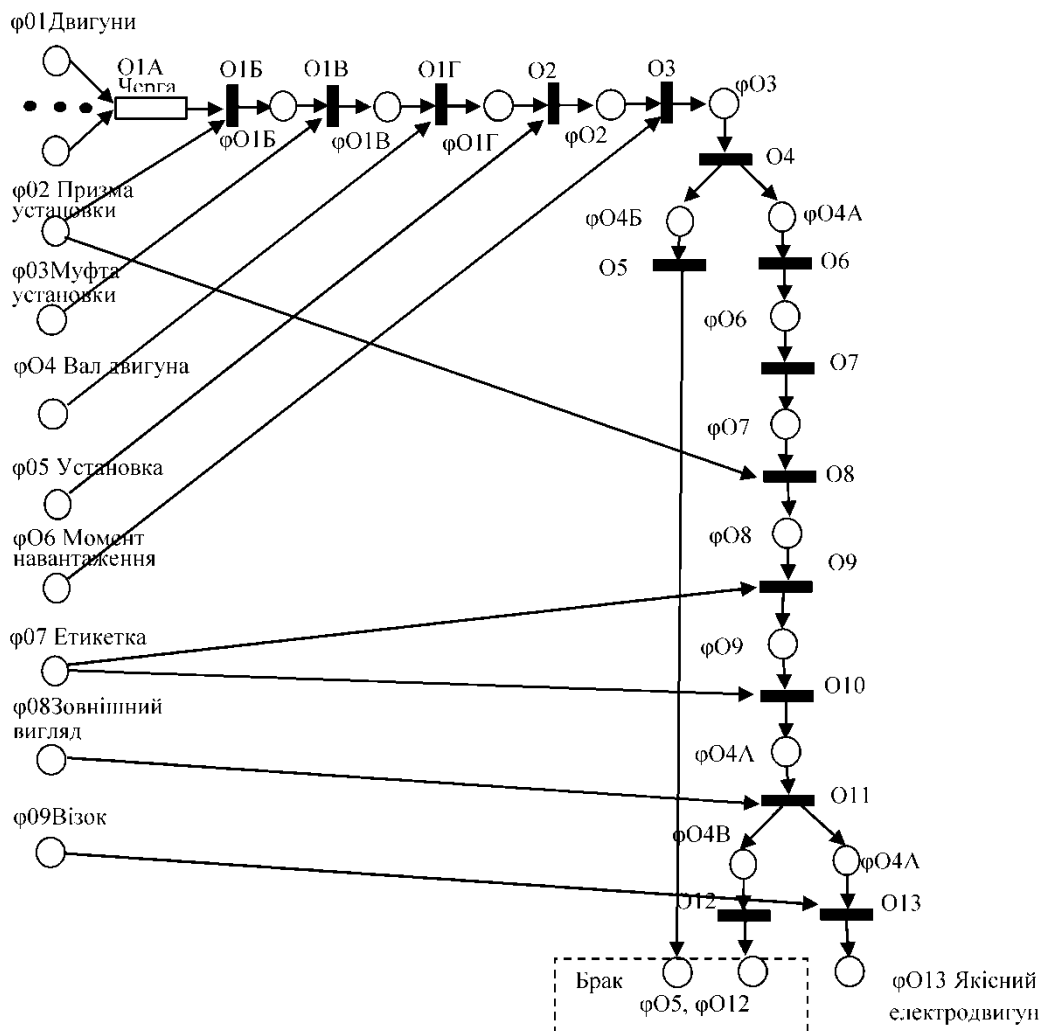


Рис. 3.55. Мережа Петрі для опису технологічної процедури 30.Випробування (розроблено автором)

Таблиця 3.9

Основні технологічні операції процедури 30.Випробування
(розроблено автором)

Назва операції	Технологічні операції процедури 30. ВИПРОБУВАННЯ	Результат виконання операції	Тривалість операції, сек.
O1A	Помістити двигун в чергу для випробування	Черга	10
O1Б	Встановити електродвигун ДПС-80-12 у призму	φO1Б	10
O1B	З'єднати муфту установки	φ O1B	5
O1Г	З'єднати вал двигуна	φ1Г	5
O2	Виставити напругу живлення $12\text{В} \pm 0,24\text{ В}$	φO2	10
O3	Подавати момент навантаження, коли напруга встановиться 12 В	φO3	10
O4	Контролювати на установці (кожен виріб): граничну межу струму $10,5\text{ А}$, частоту обертання $- 5800 \pm 10\%$ об/хв при заданому номінальному моменті навантаження $0,135\text{ Н/м}$ (згідно ТЗ №59-2)	φO4А, φO4Б	50
O5	Покласти в червону тару "Брак" двигуни, що не вклалися у межі струму та частоти обертання	φO5 Брак	5
O6	Вимкнути момент навантаження	φO6	5
O7	Вимкнути напругу живлення при моменті = 0	φO7	10
O8	Вийняти електродвигун з призми установки	φO8	5
O9	Поставити рік виготовлення електродвигуна у відповідному місці етикетки (виправити за необхідності існуючі цифри)	φO9	10
O10	Наклеїти етикетку на двигун, який пройшов випробування	φO10	5
O11	Контролювати візуально (кожен виріб) зовнішній вигляд	φO11А, φO11Б	30
O12	Покласти в червону тару "Брак" двигуни, які були пошкодженні в процесі виробництва або не пройшли контроль	φO12	5
O13	Покласти у візок якісний електродвигун	φO13 Якісний електро-двигун	5
Повний час виконання процедури 30.Випробування становить 180 сек.			

Деталізація бізнес-процесу виготовлення двигуна за допомогою мережі Петрі вищого порядку та аналізування реального процесу на заводі виявили окремі недоліки у виконанні поточних операцій. Серед яких – завищений час на виконання окремих операцій: «Поставити рік виготовлення електродвигуна у відповідному місці етикетки (виправити за необхідності існуючі цифри)», «Контролювати візуально (кожен виріб) зовнішній вигляд», «Контролювати на установці (кожен виріб): граничну межу струму холостого ходу 1,9 А та рівень шуму в порівнянні з збірцем-еталоном згідно інструкції по вхідному контролю електродвигунів ДПС-80-12 та ДПС- 80-24 ідент.№8501669А». Ці операції можуть бути скорочені після повторної перевірки і прийняття рішення керівництвом заводу. Потенційно можна скоротити час простою в очікуванні завершення попередньої операції, час простою при очікуванні необхідної початкової умови, тобто конкретної деталі, яка ще не поставлена на початковий етап. Час простою – це виникнення черги при формальному описі бізнес-процесу за допомогою мереж Петрі.

В результаті аналізу даного бізнес-процесу виготовлення електродвигуна ДПС 80-12 на підприємстві ТзОВ «Завод «Електропобутприлад» корпорації «Електрон» виявлено недоліки в існуючих операційних картах в часових параметрах виконання процедури «20. Прогін». Після детального вивчення кожної технологічної операції даної процедури та опитування експертів підприємства було виявлено, що операція ОЗ «прогнати електродвигун протягом 1,5 години», яка триває згідно маршрутної карти 5400 секунд може бути скорочена до 1 години або 3600 секунд. Таким чином повний час виконання процедури «20.Прогін» може бути скорочений на 1800 секунд або 30 хвилин. Таке скорочення цієї операції зменшить чергу на початку процесу на 33%.

Формалізація даного виробничого процесу на мові мережі Петрі вищого порядку з таким рівнем деталізації може скласти основу для

побудови робототехнічної системи виробничого процесу виготовлення двигуна.

Висновки за розділом 3

1. Запропоновано методологію структуризації та реструктуризації підприємства з використанням інформації, отриманої на основі ієрархічної кластеризації його бізнес-операцій (бізнес-процесів). Граф ієрархічної кластеризації бізнес-операцій (бізнес-процесів) у вигляді дерева згортання дає можливість виділити багаторівневу структуру підприємства, входження одних бізнес-операцій (бізнес-процесів) чи підрозділів в інші - вищого рівня. На основі дерева згортання бізнес-процесів можна отримати рекомендації для структуризації всіх бізнес-процесів підприємства.
2. Показано, що моделювання бізнес-процесів як асинхронних дискретних систем дає можливість оцінювати завантаженості операцій та шляхів; визначати шляхи перетворення вхідних продуктів, шляхи утворення кінцевих продуктів, критичні шляхи, циклічні операції та ряд інших їх характеристик; виявляти можливості розпаралелювання окремих операцій та їх груп.
3. Розроблено моделі у вигляді простих мереж Петрі для дослідження найбільш поширених виробничих процесів, систем збереження та використання ресурсів з обмеженим обсягом, з використанням складських приміщень, з циклічними чергами та комплектування виробів. Визначено основні закономірності їх функціонування.
4. Побудовано мережі Петрі вищого порядку для таких систем масового обслуговування: з багатьма замовниками, з однолінійною та багатолінійною чергами та багатьма виконавцями, як універсальними так і різнопрофільними; для сервісних центрів. Визначено основні показники ефективності черг: продуктивність, довжини черг, час

очікування, умови відсутності черг, найгірші ситуації, кількість необхідних елементів в черзі для уникнення накопичення замовлень в їх джерелах, тобто відмови прийняття замовлення на його виконання.

5. Досліджено особливості функціонування відділу імпортно-експортних операцій департаменту логістики ТОВ «Нестле Україна» що дало можливість: детально описати структуру та особливості функціонування бізнес-процесів відділу; структурувати всі процеси, необхідні для виготовлення документів; визначити часові характеристики всіх операцій; виявити недоліки в організації процесу, що дозволило уникнути виконання непотрібних операцій та зменшити час операцій на 23%.
6. Побудовано мережі Петрі вищого порядку для шести технологічних процедур виготовлення електродвигуна ДПС-80-12 на підприємстві ТзОВ «Завод «Електропобутприлад». В результаті аналізування даного бізнес-процесу виявлено недоліки в існуючих операційних картах в часових параметрах виконання процедури «20. Прогін». Після детального вивчення кожної технологічної операції даної процедури та опитування експертів підприємства було виявлено, що операція ОЗ «прогнати електродвигун протягом 1,5 години», яка триває згідно з маршрутною картою 5400 секунд, може бути скорочена на 1800 секунд або 30 хвилин. Таке скорочення зменшить чергу на початку процедури на 33%. Деталізація бізнес-процесу виготовлення двигуна за допомогою мережі Петрі вищого порядку виявила окремі недоліки у виконанні поточних операцій. Серед яких – завищений час на виконання операцій, час простою в очікуванні завершення попередньої операції, час простою при очікуванні необхідної початкової умови, тобто конкретної деталі, яка ще не поставлена на початковий етап.
7. Формалізація бізнес-процесу виготовлення двигуна з його глибокою деталізацією, може скласти основу для побудови відповідної робототехнічної системи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та запропоновано нове вирішення наукового завдання щодо розроблення теоретичного та методичного забезпечення для побудови детальних структур бізнес-процесів, аналізування та вивчення особливостей їх функціонування на основі процесного підходу з застосуванням апарату асинхронних дискретних систем, а також простих і вищого порядку мереж Петрі. За результатами дисертаційної роботи зроблено такі висновки теоретико-методичного змісту та прикладного спрямування:

1. Застосовано процесний підхід для дослідження структури та закономірностей функціонування бізнес-процесів підприємств. Виділено асинхронні дискретні системи та мережі Петрі, як найбільш доцільні для розв'язування таких завдань. Відзначено, що існують певні труднощі в переході на новий рівень в процесному підході, викликані відсутністю достатньо розвинутого інструментарію опису бізнес-процесів. Досліджено, що більшість нотацій в існуючих програмно-інформаційних системах, зокрема BPMS, BPEL, EPCs, YAWL, BPMN, мають недостатньо розвинуту семантику для моделювання бізнес-процесів, не дають достатньої глибини деталізації, яка б дозволила застосовувати сучасний апарат оптимізаційних методів.
2. Встановлено, що для опису та дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів підприємств доцільно використовувати апарат, який створений для дослідження асинхронних дискретних систем, оскільки вони мають всі їх характерні властивості, зокрема дискретність, асинхронність, наявність у процесів та їх складових явно виражених фаз, видавання інформації про завершення кожної фази процесу, наявність переходів, погодженість та паралельність.
3. Показано, що мережі Петрі мають добре розроблену семантику, що дозволяє однозначно та детально описувати бізнес-процеси як асинхронні дискретні системи, якісно досліджувати їх властивості, вивчати закономірності

функціонування. Мережі Петрі, зокрема вищого порядку - часові та кольорові, слід вважати одними з найефективніших інструментів для моделювання на найбільш глибокому рівні бізнес-процесів підприємств, дослідження закономірностей їх функціонування та вдосконалення, в тому числі їх структуризації та реструктуризації. Мережі Петрі є необхідними для створення програмно-інформаційних систем автоматизованого проектування бізнес-процесів та робототехнічних систем, їх оптимізації, оскільки дозволяють використовувати потужний апарат сучасних математичних методів. Такі можливості тільки частково присутні в інших системах. На основі проведених досліджень встановлено, що існує потреба поглибленого дослідження можливостей застосування апарату асинхронних дискретних систем та мереж Петрі, як простих так і вищого порядку для вивчення закономірностей функціонування бізнес-процесів підприємств.

4. Розроблено порядок оптимізації бізнес-процесів на підприємствах з використанням мереж Петрі. Узагальнено отриману в результаті анкетування інформацію про способи формалізації бізнес-процесів на семи підприємствах для надання рекомендацій щодо кроків для їх оптимізації. Встановлено, що способи формальних описів бізнес-процесів на підприємствах не дають можливостей глибокого аналізу бізнес-процесів з метою їх оптимізації. При використанні запропонованого порядку оптимізації бізнес-процесів з використанням мереж Петрі підприємство зможе досягнути поставлених завдань щодо змін бізнес-процесів: зменшення черг, скорочення часу виконання операцій, зменшення кількості етапів та інших завдань.
5. Розвинуто змістове наповнення методів, що застосовуються для опису структури та дослідження особливостей функціонування бізнес-процесів на підприємствах як асинхронних дискретних систем. Опис бізнес-процесів у вигляді орієнтованого графу дає можливість керівникам, технологам, економістам оцінювати завантаженості операцій та шляхів, визначати шляхи перетворення вхідних продуктів, шляхи утворення кінцевих продуктів,

критичні шляхи, циклічні операції та ряд інших характеристик, виявляти можливості розпаралелювання окремих операцій та їх груп.

6. Запропоновано метод структуризації та реструктуризації бізнес-процесів підприємств на основі ієрархічного кластерного аналізу виробничих операцій. Запропонована методологія дає рекомендації для структуризації підприємства з врахуванням характеристик зв'язності між виробничими операціями, мінімізуючи кількість зв'язків між підрозділами та максимізуючи їх кількість в межах одного підрозділу з забезпечення необхідних вимог до формування різних за обсягами робіт підрозділів, для включення чи виключення визначених операцій в конкретний підрозділ. Запропонований підхід може бути використано для побудови оптимальної багаторівневої структури підприємства.
7. Розроблено прості мережі Петрі як моделі бізнес-процесів для систем збереження та використання ресурсів з обмеженим обсягом, з використанням складських приміщень, з циклічними чергами та комплектування виробів. Вони дозволяють формувати простори станів (всі можливі виробничі ситуації) та якісно проектувати перелічені бізнес-процеси з врахуванням заданих вимог.
8. Розроблено мережі Петрі вищого порядку (часові та кольорові) як моделі систем масового обслуговування, в тому числі сервісних центрів з однолінійними та багатолінійними чергами, з одним і багатьма джерелами замовлень, з одним та багатьма одно- та різнопрофільними виконавцями, для центру обслуговування клієнтів у випадку багатотипних замовлень. Визначено показники їх ефективності: продуктивність, довжини черг, час очікування, умови відсутності черг, найгірші ситуації, кількість необхідних елементів в черзі для уникнення накопичення замовлень в їх джерелах, тобто відмови прийняття замовлення на виконання, що забезпечують можливість їх якісного проектування.
9. Розроблені моделі для дослідження бізнес-процесів на підприємствах застосовано структуризації та вдосконалення діяльності відділу експортно-

імпортних операцій департаменту логістики ТОВ «Нестле Україна» та бізнес-процесу виготовлення електродвигуна ДПС 80-12 на підприємстві ТзОВ «Завод Електропобутприлад» концерну «Електрон», що дало можливість виявити їх недоліки, зокрема оптимізувати часові характеристики та вдосконалити структуру досліджених бізнес-процесів.

Дослідження особливостей функціонування відділу імпортно-експортних операцій департаменту логістики ТОВ «Нестле Україна» дало можливість:

- детально описати структуру та особливості функціонування бізнес-процесів відділу;
- структурувати всі процеси, необхідні для виготовлення документів;
- визначити часові характеристики всіх операцій;
- виявити недоліки в організації процесу, що дозволило уникнути виконання непотрібних операцій та зменшити час виконання всіх операцій на 23% .

Побудовано мережі Петрі вищого порядку для шести технологічних процедур виготовлення електродвигуна ДПС-80-12 на підприємстві ТзОВ «Завод «Електропобутприлад» корпорації «Електрон». В результаті аналізування даного бізнес-процесу виявлено недоліки в існуючих операційних картах в часових параметрах виконання процедури «20. Прогін».

Після детального вивчення кожної технологічної операції даної процедури та опитування працівників підприємства було виявлено, що операція ОЗ «прогнати електродвигун» протягом 1,5 години може бути скорочена на 30 хвилин. Таке скорочення зменшує чергу на початку процедури на 33%.

Деталізація бізнес-процесу виготовлення двигуна за допомогою мережі Петрі вищого порядку та аналіз реального процесу на заводі, дозволили надати конкретні рекомендації по ліквідації недоліків у виконанні поточних операцій. Формалізація даного бізнес-процесу виготовлення двигуна з його глибокою деталізацією, може скласти основу для побудови відповідної робототехнічної системи.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Алексеева, С.І., Алексеев, В.І. та Кузьмін, О.Є., 2010. Моделювання процесу резервування у підготовці виробництва. *Науково інформаційний журнал «Бізнес інформ»*, №11, с. 151-153.
2. Ансофф, И., 2011. *Стратегическое управление*. Перевод с английского Е.Л. Леонтьева, Е.Н. Строганов, Е.В. Вышинская и др. Москва: Экономика.
3. Ачасова, С.М. та Бандман, О.Л. 1990. *Корректность параллельных вычислительных процессов*. Наука.
4. Базилевич, П.Р., 2003. Декомпозиція в економічних задачах на основі ієрархічної кластеризації. *Актуальні проблеми економіки*, 9(27), с.11-18.
5. Базилевич, П.Р., 2003. Оптимізація в задачах розбиття складних економічних систем. *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці: IV міжнародна науково-практична конференція*. Ірпінь, Україна, 15–17 травня 2003. Ірпінь: Академія ДПС України, с. 403-411.
6. Базилевич, П.Р., 2011. Структуризація і реструктуризація організацій на основі ієрархічного кластерного аналізу виробничих процесів. *Актуальні проблеми економіки*, 6, с.248-257.
7. Базилевич, П.Р., 2013. Моделювання підприємств типу «запити-черги-виконавці» мережами Петрі вищого порядку. *Економіка і управління в умовах глобалізації: II міжнародна науково-практична конференція*. Донецьк, Україна, 30 січня 2013. Донецьк: «Ноулідж», с.29-32.
8. Базилевич, П.Р., 2013. Процесний підхід для опису підприємств з чергами. *Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств харчової промисловості: Міжнародна науково-практична конференція*. Одеса, Україна, 2–4 жовтня 2013. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, с.15-17.
9. Базилевич, П.Р., 2016. Застосування мереж Петрі для дослідження систем масового обслуговування в машинобудуванні. *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подолання наслідків Чорнобильської катастрофи*. За редакцією Єрмошенка М.М. Національна академія управління, 2016. с. 48 – 52.
10. Бацалай, Ю.М., Поняття процесного підходу до діяльності організації, доступно на: <http://nauka.kushnir.mk.ua/?p=22844>.

11. Бережной, О.А., 2004. Інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття ефективних управлінських рішень. *Актуальні проблеми економіки*, №9 (39), с. 26-30.
12. Берж, Б., 1962. *Теория графов и ее применения*. Москва: Издательство иностранной литературы.
13. Варшавский, В.И. и др. 1986. *Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах*. Москва: Наука.
14. Войнов, И.В., Пудовкин, С.Г., Телегин, А.И. 2002. *Моделирование экономических систем и процессов. Опыт моделирования ARIS-моделей*. Челябинск: ЮУрГУ.
15. Волков, О., 2005. Стандарти та методології моделювання бізнес-процесів, *Связьинвест*, [online] 6, Доступно: <<http://www.connect.ru/article.asp?id=5710>> [Дата звернення 6 Липня 2016].
16. Гвоздь, М. Я. та Мицько, В.І., 2014. Проблеми та переваги використання процесного підходу до управління машинобудівними підприємствами. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Логістика*, № 811, с. 56–62.
17. Герчикова, И.Н., 2000. *Менеджмент*. Москва: Юнити.
18. Грекул, В., 2017. Проектирование информационных систем: Информация. *Национальный исследовательский университет "Высшая Школа Экономики"*, [online]. Доступно: <<http://www.intuit.ru/studies/courses/2195/55/info>> [Дата звернення 6 Липня 2017].
19. Григор'єв, Д., 2015. Моделювання бізнес-процесів підприємства. *Valex Consult* [online]. Доступно: <<http://www.valex.net/articles/process.html>> [Дата звернення 6 Червня 2015].
20. Гриценко, Л.Л., 2011. Підходи до класифікації форм і видів реструктуризації підприємств. *Актуальні проблеми економіки*, №4 (118), с. 3-11.
21. Доррер, М.Г., 2006. Решение задачи прямого и обратного преобразования между цветной сетью Петри и моделью бизнес-процессов. *Вестник Сибирского Государственного Аэрокосмического Университета*, Выпуск 5 (12), с. 83-87.
22. Евгенийев, Б.Г., 2005. Модели вместо алгоритмов. Смена парадигмы разработки прикладных систем, *Наука и образование*, [online] №12. Доступно: <<http://technomag.edu.ru/doc/56632.html>> [Дата звернення 6 Червня 2015].

23. Ехлаков, Ю. П., Жуковский, О. И., Сенченко, П. В. та Тарасенко, В. Ф. 2007. *Сети Петри в моделировании бизнес-процессов. Теоретические основы и приложения*. ТУСУР.
24. Євдокімова, Н.М. та Кірієнко, А.В. 2003. *Економічна діагностика*. Київ: КНЕУ.
25. Жовтанецький, М. І. та Твердохліб М.І. 2009. Інформаційне моделювання життєвого циклу третього економічного укладу України. *Актуальні проблеми економіки*, №10 (100), с. 191-202.
26. Завадський, Й.С., Осовська, Т.В. та Юшкевич, О.О. 2006. *Економічний словник* Київ: Кондор.
27. Загородній, А.Г. та Чубай, В.М., 2011. Методичний підхід до вибору інноваційної стратегії підприємства. *Актуальні проблеми економіки*, №4 (118), с. 95-100.
28. Зайцев, Д.А. 2004. *Математичні моделі дискретних систем*. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова.
29. Зайцев, Д.А. 2006. *Мережі Петрі і моделювання систем*. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова.
30. Зайцев, Д.А., Слепцов, А.И, 1997. Уравнение состояний и эквивалентные преобразования временных сетей Петри. *Кибернетика и системный анализ*, № 5, с. 59-76.
31. Зайцев, Д.А., Шмелёва, Т.Р., 2004. Моделирование коммутируемой локальной сети раскрашенными сетями Петри. *Зв'язок*, № 2(46), с. 56-60.
32. Згалат-Лозинська Л. О. Методичні рекомендації щодо забезпечення самостійної роботи студентів з дисципліни “Теорія організації” (для магістрів). Міжрегіональна академія управління персоналом, Київ. Київ, ДП «Видавничий дім «Персонал», 2009. 60 с. <https://studfiles.net/preview/5433791/>.
33. Згалат-Лозинська Л. О. Навчальна програма дисципліни “Теорія організації” (для бакалаврів, спеціалістів). К.: МАУП, 2010. 30 с. http://library.iapm.edu.ua/metod_disc/pdf/4979_teor_org.pdf.
34. Зыбарева, А.А., 2016. Моделирование и анализ бизнес-процессов в дискретных динамических системах [online]. Доступно: <www.ict.edu.ru/vconf/files/3242.rtf> [Дата звернення 6 Липня 2017].
35. Ивлев, В., Попова, Т. 2009. Бизнес-процессы.
36. Ильин, В. В., 2006. *Моделирование бизнес-процессов. Практическое использование ARIS*. Вильямс.

37. Исаев, Р. 2008. Методика описания (структуризации) бизнес-процессов коммерческого Банка и ее практическое применение. *Управление в кредитной организации*, [online] 4. Доступно: <http://www.reglament.net/bank/mng/2008_4_article.htm> [Дата звернення 6 Липня 2017].
38. Калетнік, Г.М., Заболотний, Г. М. та Козловський, С.В., 2009. Інноваційні моделі управління стратегічним економічним потенціалом сучасних економічних систем. *Актуальні проблеми економіки*, 10 (100), с.3-11.
39. Калянов, Г.М. 2006. *Модельовання, аналіз, реорганізація та автоматизація бізнес-процесів*. Москва: Фінанси і статистика.
40. Калянов, Г.Н. 2004. Архитектура предприятия и инструменты ее моделирования. *Автоматизация в промышленности*, 7. Москва, с.9-12.
41. Калянов, Г.Н. 2003. Требования к составу и структуре стандартов в области моделирования бизнес-процессов. *Автоматизация в промышленности*, 4. Москва, с.19-21.
42. Каменнова, М., Громов, А., Ферапонтов, М. та Шматалюк, А. 2001. *Моделирование бизнеса. Методология ARIS*. Москва: Весть – МетаТехнология.
43. Карпов, А., 2011. Введение в проблематику разработки параллельных программ. [online] Доступно: <<http://www.viva64.com/ru/a/0016/>> [Дата звернення 9 Березня 2011].
44. 12 manage - The Executive Fast Track, 2016. *1. Change and Organization. Methods, Models and Theories*. [online] Available at: <http://www.12manage.com/i_co.html> [Accessed 16 July 2016].
45. Value Based Management.net, 2016. *2. Management Methods, Models and Theories*. [online] Available at: <<http://www.valuebasedmanagement.net>> [Accessed 16 July 2016].
46. Колесник І.А. Робоча програма навчальної дисципліни ПП 1.2.1 «Теорія організації» підготовки бакалавра галузі знань 0306 «Менеджмент і адміністрування» напряму підготовки 6.030601 «Менеджмент». Київ, 2013.
47. Корінько, М.Л. та Тітаренко, Г.Б., 2009. Формування корпоративної інформаційної системи у процесі реінжинірингу бізнес-процесів під час реструктуризації транснаціональних корпорацій. *Актуальні проблеми економіки*, 10 (100), с.227-232.
48. Котов, В.Е. 1984. *Сети Петри*. Москва: Наука.

49. Кужда, Т.І. 2013. Етапи успішного управління організаційними змінами на підприємстві. *Галицький економічний вісник*, 2(41), с. 66-72.
50. Кузьмін, О. Є., Базилевич, П. Р., 2012. Асинхронна дискретна модель бізнес-систем. *Актуальні проблеми економіки*, 6, с. 304-310.
51. Кузьмін, О.Є., Базилевич, П.Р., 2012. Графовий аналіз виробничих систем. *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” “Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку”*, 748, с.115-119.
52. Кузьмін, О. Є., Базилевич, П. Р., 2012. Деякі задачі моделювання ресурсів виробничих систем мережами Петрі. *Актуальні проблеми економіки*, 12, с.207-216.
53. Кузьмін, О. Є., Базилевич, П. Р., 2014. Опис виробничих систем типу «Запити – черга – виконавці» мережами Петрі вищого порядку. *Актуальні проблеми економіки*, 2, с. 501-507.
54. Кузьмін, О.Є., Базилевич, П.Р., 2014. Процесний підхід для дослідження циклічних черг на підприємствах з використанням мереж Петрі. *Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: XII Міжнародна науково-практична конференція*, Харків, Україна, 8-12 Вересня 2014. Харків: В-во, с.58-59.
55. Кузьмін, О.Є., Базилевич, П.Р., 2014. Застосування мереж Петрі вищого порядку для дослідження особливостей функціонування підприємств з різними типами черг. *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях: IX Міжнародна науково-практична конференція*. Запоріжжя, Україна, 23-24 жовтня 2014. Запоріжжя: Запорізький національний університет, с.178-180, с.178-180.
56. Кузьмін, О.Є., Чернобай, Л. І. та Романко, О.П., 2011. Методи аналізування конкурентоспроможності підприємств. *Науковий вісник НЛТУ України*, Вип. 21.10. с.159-166.
57. Кузьмін, О.Є., Козик, В.В., Сидоров, Ю.І. та Єрашок В.Е., 2011. Симуляційне моделювання економічних процесів. *Науково-практичний журнал «Наука та інновації»*, Т. 7. №1. С.16-25.
58. Кузьмін, О.Є., Мельник, О.Г. 2003. *Теоретичні та прикладні засади менеджменту*. 2-е вид. Львів: Інтелект-Захід.
59. Кузьмін, О.Є., Мельник О.Г., Петришин Н.Я. 2009. *Прикладний менеджмент*. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка».

60. Кузьмін, О.Є., Мельник, О.Г., Дідик, А.М. та Мукан О.В., 2006. Процесійний підхід до управління витратами у корпораціях. *Економічний вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*, № 3, с. 314–321.
61. Кузьмін, О.Є. та Мельник, О.Г. 2007. *Основи менеджменту*. 2-ге вид. Київ: Академвидав.
62. Кузьмук, В. В., Парнюк, А. М. та Супруненко, О. О., 2011. Класифікація мереж Петрі та приклади їх застосування для розв'язання прикладних задач. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Выпуск №9 (50), том 2, с. 40-43.
63. Кузьмук, В.В. та Васильєв, В.В. 1990. *Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем*. Київ: Наукова думка.
64. Лозовая, Г.Ф., Лопатин, П.В. та Глембовская, Г.Т. 2003. *Менеджмент фармацевтической организации*, 2–е изд. Москва: МЦ ФЭР.
65. Лутицька, Ж.С., 2011. Управління розвитком машинобудівних підприємств за допомогою використання моніторингу зовнішнього і внутрішнього середовищ. *Актуальні проблеми економіки*, №4(118), с.123-127.
66. Мандель И.Д. *Кластерный анализ*. Москва, «Финансы и статистика», 1988, 176 с.
67. Матвійчук-Соскіна, Н.О., 2009. Використання інструментів дифузії інновацій у маркетинговому менеджменті: теоретичний і практичний аспекти. *Актуальні проблеми економіки*, №4(94), с.115-123.
68. Мескон, М., Альберт, М., Хедоури, Ф., 1997. *Основы менеджмента*. Перевод с английского. Москва: Дело.
69. Минухин, С.В., 2006. Формирование информационного обеспечения системы управления бизнес-процессами предприятий. *Актуальні проблеми економіки*, №10(64), с.170-177.
70. Михайловська, О. В., 2008. *Операційний менеджмент*. Київ: Кондор.
71. Михайловська, О. В., 2006. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та їх роль у «новій» економіці ХХІ століття. *Актуальні проблеми економіки*. №10(64), с.159-169.
72. Мухін, В.Є., Корнага, Я.І. та Бойко, Є.О., 2016. *Формалізація та моделювання бізнес-процесів у задачах управління вищими навчальними закладами освіти*. Науковий вісник ЛНТУ України. Вип..26.4. с. 391-397.

73. Наконечна, О.А. та Петрук, С, В., 2015. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту* випуск 2(19), с.170-181.
74. Организационная структура, доступно на: https://ru.wikipedia.org/wiki/Организационная_структура.
75. Питерсон, Дж., 1984. *Теория сетей Петри и моделирование систем*. Москва: Мир.
76. Погорелов, Ю.С., 2009. Моделювання розвитку підприємства. *Актуальні проблеми економіки*. №10(100), с.51-59.
77. Польова, Н.М. та Шпильова, В.О., 2009. Формування механізму управління інноваційною діяльністю машинобудівних підприємств. *Актуальні проблеми економіки*, №4(94), с.130-134.
78. Пономаренко, В. С., Мінухін, С. В., Знахур, С. В. 2013. *Теорія та практика моделювання бізнес-процесів*. Харків: Вид. ХНЕУ.
79. Репин, В.В. та Елиферов, В.Г. 2008. *Процесний підхід к управленію. Моделирование бизнес-процессов*. Москва: РИА «Стандарты и качество».
80. Рябухин, С. И., 2013. Применение сетей Петри для моделирования событийно-процесных цепей и построения структур базы данных. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*, Т. 11, вып. 4, с. 92–101.
81. Рязанова, Н. С., 1999. Реструктуризація й ефективність економіки. *Фінанси України*, № 9, с. 71-76.
82. Силич, В.А. та Силич, М.П. 2007. *Реинжиниринг бизнес-процессов – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники*.
83. Файоль, А., Эмерсон, Г., Тейлор, Ф. та Форд, Г. 1992. *Управление - это наука и искусство*. Москва: Дело.
84. Філіппова, С.В. та Воронжак, П.В. 2015. Інноваційний розвиток вітчизняних промислових підприємств: основні проблеми та тенденції. *Економічні інновації: зб. наук. пр. Ін-ту проблем ринку та екон.–еколог. дослідж. НАН України*. Вид-во: ІПРЕЕД НАН України. Вип.60, кн. III. с.336–341.
85. Філіппова, С.В. та Карпенко, Л.М. 2016. Стратегічний конкурентний аналіз розвитку інноваційних підприємств: прогностична валідність. *Актуальні проблеми економіки*. № 6 (180). с.392-404.
86. Хамер, М. та Чампи Дж. 2005. *Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе*. Санкт-Петербург: Изд. дом «Манн, Иванов и Фербер».

87. Чайковська, К.В., 2006. Інформаційне забезпечення інноваційної діяльності машинобудівних підприємств України. *Актуальні проблеми економіки*, №10(64), с.200-206.
88. Чейз Ричард, Б., 2004. *Производственный и операционный менеджмент*, 8-е издание. Перевод с английского. Москва: Издательский дом "Вильямс".
89. Чернобай, Л.І. та Дума, О.І., 2011. Теоретичні основи формування процесно-структурованого підходу у менеджменті. *Сучасні проблеми економіки і менеджменту*. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
90. Чернобай, Л.І. та Дума, О.І., 2014. Бізнес-процеси підприємства: загальна характеристика та економічна суть. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – Сер. Економічна. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка». №759. С.125-131.
91. Шеер, А-В., 2000а. *Моделирование бизнес-процессов*. Переклад з англійської, Каменнова М.С. ред. Издание 2-е. Москва: Серебряные нити.
92. Шеер, А-В. 2000б. *Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы*. Москва: Весть-МетаТехнология.
93. Шиян, Д.В. та Строченко, Н.І. 2003. *Фінансовий аналіз*. Київ: Видавництво А.С.К.
94. Шматалюк, А., Ферапонтов, М., Громов, А. та Каменнова М. 2001. *Моделирование бизнеса. Методология ARIS*. Москва: Весть-МетаТехнология.
95. Шпак, Н.О. 2011. *Основи комунікаційного менеджменту промислових підприємств*. Львів: Вид. Львівської політехніки.
96. Aalst, W.M.P, ter Hofstede, A., Kiepuszewski, B., Barros, A. Workflow patterns, 2003. *Distributed and Parallel Databases*, 14(3), pp. 5–51.
97. Aalst, W.M.P and K. van Hee, 2004. *Workflow Management: Models, Methods, and Systems*. Cambridge: MIT Press.
98. Aalst, W.M.P, ter Hofstede, 2005. A.H.M.: YAWL: Yet Another Workflow Language. *Information Systems*, 30(4), pp. 245–275.
99. Aalst, W.M.P., 2010. Process Discovery: Capturing the Invisible. *Computational Intelligence Magazine*, Vol.5, No.1, pp. 28-41.
100. Aalst, W.M.P., 1999. Formalization and Verification of event-driven process chains. *Information and Software Technology*, 41(10), pp. 639-650.
101. Aalst, W.M.P., 1993. Interval Timed Coloured Petri Nets and their Analysis, Application and Theory of Petri Nets 1993, Marsan, M. A. (ed.), *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin.

102. Aalst, W.M.P., 2011. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer-Verlag, Berlin.
103. Aalst, W.M.P., 1998. The application of Petri nets to workflow management. *The Journal of Circuits, Systems and Computers*, 8(1), pp. 21–66.
104. Aalst, W.M.P. van der, Hauschildt, D., Verbeek, H.M.W., 1997. A Petri-net-based tool to analyse workflows. *Proceedings of Petri Nets in System Engineering*. Hamburg: University of Hamburg, pp. 78-90.
105. Aalst, W.M.P., 1997. Variation of Workflows nets. In: Azema, P., Balbo, G.(eds.) ICATPN. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1248, Springer, pp. 407-426.
106. Aalst, W.M.P., 2009. Workflow patterns. *Encyclopedia of Database Systems*, Springer, pp. 3557–3558.
107. Aalst, W.M.P., Pesic, M., Schonenberg, H., 2009. Declarative Workflows: Balancing between flexibility and support. *Computer science, R&D*, pp. 99-113.
108. Aalst, W.M.P, Desel, J., Kindler, E., 2002. On the Semantics of EPCs: A Vicious Circle. *Proceedings of the EPK 2002: Business Process Management using EPCs*, Germany: Trier, pp. 71–80.
109. Adam, N., Atluri, V., Huang, W., 1998. Modeling and analysis of workflows using Petri nets. *Journal of Intelligent Information Systems*, 10(2), pp. 131-158.
110. Aized, T., 2010. Petri Net as a Manufacturing System Scheduling Tool. *Advances in Petri Net Theory and Applications*, pp. 43-58.
111. Albert, K., Jensen, K., Shapiro, R., 1989. A Tool Package Supporting the Use of Colored Nets. *Petri Net Newsletter*, April, pp. 22-35.
112. Al-Fedaghi, S., Alloughani, R. and Sanousi, M., 2012. A New Methodology for Process Modeling of Workflows. *Journal of Software Engineering and Applications*, 5 (8), pp. 560-567.
113. Alt, R. and Zimmermann, H., 2001. Introduction to Special Section – Business Models. *Electronic Markets*, 11(1), pp. 3–9.
114. Alves, A., 2007. Web Services Business Process Execution Language Version 2.0. *OASIS Standard*, 11 April 2007, OASIS.
115. ARIS, доступно на: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ARIS>.
116. Baeten, J.C.M., Weijland, W.P., 1990. Process Algebra. *Cambridge tracts in theoretical computer science*, 18, pp.
117. Bause F., 1993. Queueing Petri Nets- A formalism for the combined qualitative and quantitative analysis of systems. In *Proc. of 5th Intl.*

- Workshop on Petri Nets and Perf. Models*, Toulouse, France, 1993, IEEE, , pp. 14-23.
118. Bernstein, A. J. , 1966. Analysis of Programs for Parallel Processing. *IEEE Transactions on Electronic Computers*. EC-15 (5): 757–763.
 119. Berger J. and Lamontagne L., 1993. A colored Petri net model for a naval command and control system. In *Proc. 14th Int. Conf. Application and Theory*. Chicago, IL, USA, June 1993, volume 691 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, pages 532–541.
 120. Bożek, A. A., 2011. Nowe rozwiązania w modelowaniu produkcji partiami z zastosowaniem czasowych kolorowanych sieci Petriego. *Materiały na XIV Konferencję "Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie"*. Zakopane.
 121. Bożek, A., 2012. Using Timed Coloured Petri Nets for Modelling. *Simulation and Scheduling of Production Systems*, pp. 207-230.
 122. Bożek, A., Żabiński, T., 2010. Colored timed Petri Nets as tool of off-line simulating for intelligent manufacturing systems. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 9, pp. 101-105.
 123. Breugel, F.v., Koshkina, M., 2006. *Models and verification of BPEL*. [online] Available at: <<http://www.cse.yorku.ca/~franck/research/drafts/tutorial.pdf>> [Accessed 16 July 2016].
 124. Brucker, P., 2007. Scheduling Algorithms, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, 230.
 125. Business_process_modeling, available in: http://en.wikipedia.org/wiki/Business_Process_Modeling.
 126. Business Process Modeling Notation Specification, available at: http://www.defm.fmph.uniba.sk/ludia/odrobina/OMG_Final_Adopted_BPM_N_1_0_Spec_2006-02-01.pdf
 127. Campos, J., Seatzu C., Xie, X., 2014. *Formal Methods in Manufacturing*, CRC Press.
 128. Camurri, A.; Franchi, P. & Gandolfo F., 1991. A timed colored Petri nets approach to process scheduling. In: *Proceedings of CompEuro '91, Advanced Computer Technology*, Bologna Italy, May 1991, pp. 304 - 309.
 129. Ceri, S., Grefen, P., Sanchez, G. 1997. WIDE: a distributed architecture for worklow management. In: *Proceedings of the Seventh International Workshop on Research Issues in Data Engineering*. Birmingham, England, 1997. IEEE Computer Society Press.
 130. Christo, C., Cardeira, C. Trends in Intelligent Manufacturing Systems. *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Vigo, June 2007.

131. Claybourne, B.H., 1983. *Scheduling robots in flexible manufacturing cells*.
132. CPN Tools, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/CPN Tools](https://en.wikipedia.org/wiki/CPN_Tools).
133. De Backer, Manu and Snoeck, Monique, Business Process Verification: A Petri Net Approach, 2007, available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1094617>.
134. Dehnert, J. A., 2003. *Methodology for Workflow Modelling: from Business Process Modelling. towards Sound Workflow Specification*. PhD, Technische Universität Berlin.
135. Di Nitto, E., Lavazza, L., Schiavoni, M., Tracanella, E., Trombetta, M., 2002. Deriving executable process descriptions from UML. In: *ICSE '02: Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering*. New York, USA.
136. Dicesare, F., Harhalakis, G., Proth, J.M., Silva, M., Vernadat, F.B., 1993. Practice of Petri Nets in Manufacturing, *Chapman and Hall*.
137. Dijkman, R.M., Dumas, M., Ouyang, C., 2008. Semantics and analysis of business process models in BPMN. *Inf. Softw. Technol.* 50, 12.
138. Dixon, C., Hill, S.D. 1990. Work-cell cycle-time analysis in a flexible manufacturing system. *Proc. Pacific Conf. on Manufacturing*. Sydney-Melbourne, Australia, 1, pp.182-189.
139. Dufourd, C., Finkel, A., Schnoebelen, P., 1998. *Reset nets between decidability and undecidability*. In: ICALP 1998. Volume 1443 of LNCS., Springer, pp.103–115.
140. Eder, J., Liebhart, W., 1995. The workflow activity model WAMO. In Proceedings of the 3rd International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS-95).
141. Ellis, C., Nutt, G., 1993. Modelling and enactment of workflow systems. In Marsan, M.A., ed.: *14th International Conference on Application and Theory of Petri Nets*., Chicago, IL, USA, Springer.
142. Elsaadany, A., Singhal, M., Ming, T. Lui., 1995. Performance study of buffering within switches in local area networks. In: *Computer Communications*, July 1996, pp. 659-667.
143. Esparza Javier and Nielsen Mogens, 1995. Decidability issues for Petri nets - a survey, *Bulletin of the EATCS*., Revised, pp. 244–262.
144. Elzinga D.J., Horak T., Lee C.Y., Bruner C., 1995. Business process management: survey and methodology. In: *IEEE Trans. Eng. Manag.* 42(2), pp. 119–128.
145. Fayol Henri, 1979. *Aministration industrielle et générale*. Paris: Dunod.

146. Fox, M. S. and Gruninger, M., 1998. Enterprise Modelling. *AI Magazine*, 19 (3), pp. 109-121.
147. Gordijn, J., Akkermans, J.M. and Vliet, J.C. van, 2000. Business Modeling is not Process Modeling. *Conceptual Modeling for E-Business and the Web*, 1921, pp. 40-51.
148. Gottschalk, F., van der Aalst, W., Jansen-Vullers, M., Verbeek, H., 2006. Protos2 CPN: Using colored Petri nets for configuring and testing business processes. In Jensen, K., ed.: *Proceedings of the 7th Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*. Aarhus, Denmark.
149. Grant, A. and L. Schlesinger, 1995. Academy of Management Executive *AI Magazine*, 19(3), pp. 109-121.
150. Hack, M., 1972. *Analysis of Production Schemata by Petri Nets*. MS Thesis, EE Dept., MIT Cambridge.
151. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. Hierarchical clustering. *The Elements of Statistical Learning*. New York: 2009, Springer. pp. 520–528.
152. Hammer, M. and Champy, J., 1993. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution, *Nicholas Brealey Publishing*. p. 223.
153. He, X. and Murata, T., 2005. High-Level Petri Nets-Extension, Analysis and Applications. *The Electrical Engineering Handbook*, pp. 459-475.
154. Hehua Zhang, Ming Gu, Xiaoyu Song, 2008. Modeling and Analysis of Real-Life Job Shop Scheduling Problems by Petri nets. In: *Proceedings of the ANSS-41, Simulation Symposium, Annual 2008*, pp. 279-285.
155. Hinz, S., Schmidt, K., Stahl, C., 2005. Transforming BPEL to Petri nets. In: *BPM*. Volume 3649 of LNCS., Springer, 2005, pp. 220–235.
156. Business process improvement, available at: <http://turpal.com/members/aputzlgw57/activity/36156/>. Business Process Improvement.
157. ISO 9000, available at: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_9000.
158. PDCA, available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/PDCA>.
159. IDEF, available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IDEF>.
160. Huang, H. Z., and X. Zu. 2005. Hierarchical Timed Colored Petri Nets Based Product Development Process Modeling. In *Computer Supported Cooperative Work in Design I*. Vol. 3168, edited by W. Shen, Z. Lin, J.-P. A. Barthès, and T. Li, 378–387. Berlin: Springer-Verlag.
161. Hunt, R. 1999. Evolving Technologies for New Internet Applications. *IEEE Internet Computing*, 5, pp. 16-26.

162. Jablonski, S., Bussler, C., 1996. *Workflow Management: Modeling Concepts, Architecture and Implementation*. London: Thomson Computer Press.
163. Jain A.K. Data clustering: A review. *ACM Computing surveys*, v.31, № 3, 1999, pp.264 - 323.
164. Jansen-Vullers, M. and Netjes, M., 2006. Business process simulation – a tool survey. *In Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*, Aarhus, Denmark. October 2006. Denmark.
165. Jensen K., 1998. *An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets*. [online] Available at: <<http://www.daimi.au.dk/~kjensen/>>.[Accessed 25 July 2016]
166. Jensen K., 1997. *Colored Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series, Berlin: Springer, 1997.
167. Jensen K., Kristensen L. M., 2009. *Coloured Petri Nets. Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Berlin: Springer.
168. Jensen K., Kristensen L. M., Wells L., 2007. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 9 (3–4), pp. 213–254.
169. Jensen K., Rozenberg G., 1991. *High-level Petri nets: theory and application*. London: Springer-Verlag.
170. Jorgensen, J.B., Lassen, K.B., van der Aalst, W.M.P., 2006. From task descriptions via coloured Petri nets towards an implementation of a new electronic patient record. *In Proceedings of the 7th Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*, PB-579 of DAIMI Reports, pp. 137-155.
171. Kellerm G., Nuttgens M., Scheer A, 1992. Semantische Prozessmodellierung auf der Grundlage Ereignisgesteuerter Processketten (EPK). *Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik*, Heft 89.
172. Kindler, E., 2006. On the semantics of EPCs: A framework for resolving the vicious circle. *Data and Knowledge Engineering*, 56(1), pp. 23–40.
173. Kuzmin, O., Bazylevych, P., 2017. *Queueing systems modeling by Petri nets*. Monograph. Lambert. Academic Publishing, Saarbrücken, 46 p.
174. Kuzmin, O.Y., Bazylevych, P.R., 2013. Modeling of Business Processes Queues by Petri Nets. *Actual Problems of Computer Science*, 1(3), pp. 44-50.

175. Kuzmin, O.Y., Bazylevych, P.R., 2014. A high-level petri net model of queueing production system. *Applied Computer Science*, Volume 10, Number 3, pp. 78 – 85.
176. Lee Tae-Eog, 2008. A review of scheduling theory and methods for semiconductor manufacturing clusre tools. *Proc. 2008 Winter simulation conference*, IEEE, pp. 2127 – 2135.
177. Lohmann Niels, Verbeek Eric, and Dijkman Remco, 2009. *Book Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 46 – 63.
178. Lohmann, N., Kleine, J., 2008. Fully-automatic translation of open workflow net models into simple abstract BPEL processes. *Modellierung*, P-127 of LNI., pp. 57–72.
179. Lohmann, N., Kopp, O., Leymann, F., Reisig, W., 2008. Analyzing BPEL4Chor. *Verification and participant synthesis*, 4937 of LNCS., Springer, pp. 46–60.
180. Lohmann, N., Massuthe, P., Stahl, C., Weinberg, D., 2006. Analyzing interacting BPEL processes, 4102 of LNCS., Springer, 17–32.
181. Lohmann, N., Massuthe, P., Stahl, C., Weinberg, D., 2008. Analyzing interacting WSBPEL processes using flexible model generation. *Data Knowl.* 64(1), pp. 38–54.
182. Lohmann, N., Massuthe, P., Wolf, K., 2007. Operating guidelines for finite-state services. *ICATPN 2007*, 4546 of LNCS., Springer, pp. 321–341.
183. Lohmann, N., Verbeek, H.M.W., Ouyang, C., Stahl, C., van der Aalst, W.M.P., 2007. Comparing and evaluating Petri net semantics for BPEL. *Computer Science Report 07/23*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
184. Lohmann, N., 2009. Why does my service have no partners? In: Bruni, R., Wolf, K. (eds.). *Web Services and Formal Methods*. LNCS, 5387. Springer, Heidelberg, pp. 191–206.
185. Ludwig, H., Horner, Y., 1999. Contract-based cross-organisational workflows - the Cross-Flow project. In Grefen, P., Bussler, C., Ludwig, H., Shan, M., eds.: *Proceedings of the WACC Workshop on Cross-Organisational Workflow Management and Co-Ordination*. San Francisco.
186. Machado, R., Lassen, K., Oliveira, S., Couto, M., Pinto, P., 2007. Requirements validation: Execution of UML models with CPN tools. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 9(3), pp. 353-369.

187. Maitre, B. and G. Aladjidi, 1999. *Les Business Models de la Nouvelle Economie*. Paris: Dunod.
188. Mans R.S., Russell N.C., Van der Aalst W.M.P., Moleman A.J., Bakker P.J.M., 2008. Augmenting a Workflow Management System with Planning Facilities using Colored Petri Nets. *Proceedings of the Ninth Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*, October 2008, Department of Computer Science, University of Aarhus, PB-588.
189. Massuthe, P., Reisig, W., Schmidt, K., 2005. An operating guideline approach to the SOA. *Annals of Mathematics, Computing & Teleinformatics*, 1(3), pp. 35–43.
190. Meng Chu Zhou, Kurapati Venkatesh, 1998. *Modeling, simulation, and control of flexible manufacturing systems: a Petri net approach*. World Scientific.
191. Moldt D., RÄolke H., 2003. Pattern based workflow design using reference nets. In: van der Aalst, W., ter Hofstede, A., Weske, M., eds., *Proceedings of the Business Process Management Conference*, 2678 of LNCS., Eindhoven, The Netherlands: Springer, pp. 246-260.
192. Muller D.E., 1963. Asynchronous logics and application to information processing, *Switching Theory in Space. Technology*. Stanford: University Press, pp. 289-297.
193. Murata T., 1989. *Petri nets: Properties, analysis and applications*. Proc. IEEE 77(4), pp. 541–580.
194. Nielson, F., Nielson, H.R., Hankin, C., 1999. *Principles of Program Analysis*. Springer.
195. Osterwalder, A., Yves Pigneur, Y. 2013. *Business model generation : a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. Hoboken, N.J.: Wiley.
196. Ouyang, C., van der Aalst, W.M.P., Breutel, S., Dumas, M., ter Hofstede, A.H.M., Verbeek, H.M.W., 2005. *WofBPEL: A tool for automated analysis of BPEL processes*, 3826 of LCNS., Springer, pp. 484–489.
197. Pateli, A. A., 2002. *Domain Area Report on Business Models*. Athens: Athens University of Economics and Business.
198. Pesic, M., van der Aalst, W.M.P., 2007. Modelling work distribution mechanisms using colored Petri nets. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 9(3), pp. 327-352.
199. Peterovic, O., C. Kittl, et al., 2001. Developing Business Models for eBusiness. *International Conference on Electronic Commerce*, Vienna.

200. Peterson, James Lyle, 1981. *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Prentice Hall, 290 P.
201. Pinedo, M. L., 2008. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. New York: Springer.
202. Rahul, V., 2002. *LAN Switching*. OHIO.
203. Reisig, W., 1985. *Petri Nets: an introduction*. *EATCS Monographs on Theoretical Computer Science* edn. Springer.
204. Remco, M. Dijkman, Marlon, Dumas, and Chun, Ouyang, 2008. *Semantics and analysis of business process models in BPMN*. Journal Information and Software Technology archive, Volume 50, Issue 12, November, 2008, pp. 1281-1294.
205. René David, Hassane. Alla, 2010. *Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets*. Springer, 550 P.
206. Ribeiro, O., Fernandes, J., 2006. Some rules to transform sequence diagrams into coloured Petri nets. In Jensen, K., ed.: *Proceedings of the 7th Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*. PB-579 of DAIMI Reports, Aarhus, Denmark, pp. 137-155.
207. Rittgen, P., 1999. *Modified EPCs and their Formal Semantics*. Technical report 99/19, University of Koblenz-Landau, Koblenz, Germany.
208. Rosing Mark von, White Stephen, Cummins Fred, 2009. *Business Process Model and Notation—BPMN*. The Complete Business Process Handbook, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-799959-3.00021-5>.
209. Rozinat, A., Wynn, M., van der Aalst W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., Fidge, C., 2008. Workflow simulation for operational decision support using yawl and prom. *BPM Center Report BPM-08-04*, BPMcenter.org.
210. Designing a workflow system using coloured petri nets. *Lecture Notes in Computer Science: Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency III*, 5800, pp. 1-24.
211. Russell, N., ter Hofstede, A., van der Aalst, W., Mulyar, N., 2006. *Workflow controlflow patterns: A revised view*. Report BPM-06-22, BPM Center.
212. Russell, N., ter Hofstede, A.H.M., Edmond, D., van der Aalst, W.M.P., 2005. Workflow data patterns: Identification, representation and tool support. In Delcambre, L., Kop, C., Mayr, H., Mylopoulos, J., Pastor, O., eds. *Proceedings of the 24th Inter-national Conference on Conceptual Modeling*, 3716 of LNCS., Austria: Klagenfurt, Springer, pp. 353-368.
213. Russell, N., ter Hofstede, A.H.M., Edmond, D., van der Aalst W.M.P. 2007. *NewYAWL: achieving comprehensive patterns support in workflow for the*

- controlow, data and resource perspectives*. Technical Report BPM-07-05. <http://www.BPMcenter.org>.
214. Russell, N., ter Hofstede, A.H.M., van der Aalst, W.M.P., 2007. NewYAWL. Specifying a workflow reference language using Coloured Petri Nets. In: *Proceedings of the Eighth Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*. Number DAIMI PB-584, Department of Computer Science, University of Aarhus, Denmark, pp. 107-126.
 215. Russell N., van der Aalst W.M.P., ter Hofstede A.H.M., Edmond D. Workflow resource patterns: Identification, representation and tool support. In Pastor, O., Falc~ao e Cunha, J., eds. In: *Proceedings of the 17th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE'05)*. Volume 3520 of LNCS., Porto, Portugal, Springer, 2005, 216-232.
 216. Scheer, A.W., 2002. *ARIS. Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem*. Springer.
 217. Schmidt K., 2000. *A low level analyser*. In: ICATPN 2000, 1825 of LNCS., Springer, pp. 465–474.
 218. Seddon, P. B. and Lewis, G. P., 2003. Strategy and Business Models: What's the Difference. *7th Pacific Asia Conference on Information Systems*, Australia: Adelaide.
 219. Sethi, S. P., Sriskandarajah, C., Sorger, G., Blazewicz, J., Kubiak, W., 1992. Sequencing of parts and robot moves in a robotic cell". *Journal of flexible manufacturing systems*, 4, pp. 331-358.
 220. Manuel Silva and Robert Valette. 1988. Petri nets and flexible manufacturing. In *Advances in Petri Nets 1989, covers the 9th European Workshop on Applications and Theory in Petri Nets-selected papers*, Grzegorz Rozenberg (Ed.). Springer-Verlag, London, UK, UK, 374-417.
 221. Stähler, P., 2002. Business Models as an Unit of Analysis for Strategizing. *International Workshop on Business Models*. Switzerland: Lausanne.
 222. StÄorrle, H., Hausmann, J., 2005. *Towards a formal semantics of UML 2.0 activities*. In Liggesmeyer, P., Pohl, K., Goedicke, M., eds.: *Proceedings of the Software Engineering 2005, Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik*. Volume 64 of Lecture Notes in Informatics., Essen, Germany, Gesellschaft fur Informatik., pp. 117-128.
 223. Structured analysis and design technique, available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Structured_analysis_and_design_technique.
 224. Suri, R., 1985. An overview of evaluative models for flexible manufacturing systems, *Annals of Operations Research* 3, pp. 13-21.

225. Timmers, P., 1998. Business Models for Electronic Markets. *Journal on Electronic Markets*, 8 (2), pp. 3-8.
226. Tuncel, G., Bayhan, G. M., 2007. Applications of Petri nets in production scheduling: a review, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Springer-Verlag, 34 (7-8), pp. 762-773.
227. UML Diagrams, available in: <http://en.wikipedia.org/wiki/>. File: UML Diagrams.jpg.
228. Van Dongen, B.F., de Medeiros, A.K.A., Verbeek, H.M.W., Weijters, A.J.M.M., van der Aalst, W.M.P., 2005. The ProM framework: A new era in process mining tool support. *ICATPN 2005*, 3536 of LNCS., Springer, pp. 444-454.
229. Van Dongen, B.F., Jansen-Vullers, M.H., Verbeek, H.M.W., van der Aalst, W.M.P., 2007. Verification of the SAP reference models using EPC reduction, state space analysis, and invariants. *Computers in Industry*, 58(6), pp. 578–601.
230. Verbeek, H.M.W., Basten, T., van der Aalst, W.M.P., 2001. Diagnosing workflow processes using woflan. *The Computer Journal*, 44(4), pp. 246–279.
231. Verbeek, H.M.W., van der Aalst, W.M.P., 2000. Woflan 2.0: A Petri-net-based workflow diagnosis tool. *Application and Theory of Petri Nets 2000*, 1825 of LCNS., Springer, pp. 475–484.
232. Verbeek, H.M.W., van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., 2007, Verifying workflows with cancellation regions and OR-joins: An approach based on relaxed soundness and invariants. *The Computer Journal*, 50(3), pp. 294–314.
233. Wang, J., 1998. Timed Petri Nets Theory and Application, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, pp. 63-123.
234. Watanuki, K. and Murata, T., 2002. Modeling and Performance Analysis of Design Process for Mechanical System Using Petri Nets. *Journal of Japan Society for Design Engineering*, 37 (4), pp.178-184.
235. White S., 2004. Business Process Modeling Notation v1.0. for the Business Process Management Initiative (BPMI).
236. Wong, P.Y., Gibbons, J. A., 2008. Process Semantics for BPMN. In: *Proceedings of 10th International Conference on Formal Engineering Methods*. Vol. 5256 of LNCS. October, 2008.
237. M.T. Wynn, H.M.W. Verbeek, W.M.P. van der Aalst, A.H.M. ter Hofstede and D. Edmond, 2006. Reduction Rules For Reset WorkFlow Nets, available at: <http://bpmcenter.org/wp-content/uploads/reports/2006/BPM-06-25.pdf>.

238. Wynn, M., Edmond, D., van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., 2005. Achieving a general, formal and decidable approach to the OR-join in workflow using Reset nets. In Ciardo, G., Darondeau, P., eds.: *Proceedings of the 26th International Conference on Application and Theory of Petri nets and Other Models of Concurrency (Petri Nets 2005)*. USA: Miami, Springer-Verlag.
239. Wynn, M.T., van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., Edmond, D., 2006. Verifying workflows with cancellation regions and OR-joins: An approach based on reset nets and reachability analysis. *BPM 2006*, 4102, Springer, pp. 389–394.
240. Wynn, M.T., Verbeek, H.M.W., van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., Edmond, D., 2006. Reduction rules for reset workflow nets. *BPM Center Report BPM-06-25*, BPMcenter.org.
241. Wynn, M.T., Verbeek, H.M.W., van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M. X. He and Murata, T., 2005. High-Level Petri Nets - Extension, Analysis and Applications. *The Electrical Engineering Handbook* edited by W.K. Chen, Elsevier Academic Press, Burlington, MA, pp. 459-475.
242. Zabiński, T., Mączka, T., 2010. Human System Interface for Manufacturing Control - Industrial Implementation, *Proceedings of 3rd International Conference on Human System Interaction HIS*, May 2010, Poland: Rzeszow.
243. Zhang, H., Gu M., Song, X., 2008. Modeling and Analysis of Real-life Job Shop Scheduling Problems by Petri Nets. *41st Annual Simulation Symposium*.
244. Zuberek, W.M., 2010. Modelling and performance analysis of component-based systems. *Int. J. Critical Computer-Based Systems*, 1, (1/2/3), pp. 191 – 207.
245. Zuberek, W.M., 2001. Timed Petri nets in modeling and analysis of cluster tools, *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, 17 (5), pp. 562–575.
246. Zuberek, W.M., 2000. Petri nets in hierarchical modeling of manufacturing systems. *Proc. IFAC Conf. on Control System Design, Special Session on Petri Nets in Design, Modeling and Simulation of Control Systems*, Bratislava, pp.287-292.
247. Zuberek, W.M. and Kubiak, W., 1999. Timed Petri nets in modeling and analysis of simple schedules for manufacturing cells. *Journal of Computers and Mathematics with Applications*, 37 (11/12), pp.191–206.

248. Zuberek, W.M., 1996a. *Modeling using timed Petri nets – event-driven simulation*, Technical Report #9602, Department of Computer Science, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada.
249. Zuberek, W.M., 1996b. *Modeling using timed Petri nets – model description and representation*, Technical Report #9601, Department of Computer Science, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada.
250. Zuberek, W.M., 1996c. Optimal schedules of manufacturing cells-modeling and analysis using timed Petri nets. *Industrial Electronics. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2, pp. 1055 – 1060.
251. Zuberek, W.M., 1991. Timed Petri Nets, Definitions, Properties, and Applications. *Microelectronics and Reliability, Special Issue on Petri Nets and Related Graph Models*, 31 (4), pp. 627-644.

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**1. Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації****1.1. Монографія**

1. Bazylevych, P. and Kuzmin, O., 2017. *Queueing systems modeling by Petri nets*. Monograph. Lambert. Academic Publishing, Saarbrücken.

1.2. Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних

2. Базилевич, П.Р., 2003. Декомпозиція в економічних задачах на основі ієрархічної кластеризації. *Актуальні проблеми економіки*, 9 (27), с. 11-18.

3. *Базилевич П.Р., 2011. Структуризація і реструктуризація організацій на основі ієрархічного кластерного аналізу виробничих процесів. *Актуальні проблеми економіки*, 6, С. 248-257. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*)

4. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2012. Асинхронна дискретна модель бізнес-систем. *Актуальні проблеми економіки*, 6, с. 304-310. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*)

5. Базилевич, П.Р. та Кузьмін, О.Є., 2012. Графовий аналіз виробничих систем. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*, 748, с. 115-119.

6. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2012. Деякі задачі моделювання ресурсів виробничих систем мережами Петрі. *Актуальні проблеми економіки*, 12, с. 207-216. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory*)

7. *Базилевич, П. Р. та Кузьмін, О. Є., 2014. Опис виробничих систем типу «Запити – черга – виконавці» мережами Петрі вищого порядку. *Актуальні*

* Публікації одночасно належать до видань, що входять до наукометричних баз даних

проблеми економіки, 2, с. 501-507. (Міжнародні наукометричні бази даних: *SciVerse Scopus, Index Copernicus, EBSCOhost, Ulrich`s Periodicals Directory, EconLit, Cabell`s Directories*)

1.3. Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

8. Bazylevych, P.R. and Kuzmin, O.Y., 2013. Modeling of Business Processes Queues by Petri Nets. *Actual Problems of Computer Science*, 1 (3), pp. 44-50.

9. Bazylevych, P.R. and Kyzmin, O.Y., 2014. A high-level petri net model of queueing production system. *Applied Computer Science*, 10 (3), pp. 78 – 85.

2. Опубліковані праці апробаційного характеру

10. Базилевич, П.Р., 2016. Застосування мереж Петрі для дослідження систем масового обслуговування в машинобудуванні. В: *Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подолання наслідків Чорнобильської катастрофи (матеріали XV Міжнародного наукового семінару)*. Київ – оз. Світязь, Україна, 4-8 Липень 2016. Київ: Національна академія управління.

11. Базилевич, П.Р., Кузьмін, О.Є., 2014. Процесний підхід для дослідження циклічних черг на підприємствах з використанням мереж Петрі. В: *Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: XII Міжнародна науково-практична конференція*, Харків, Україна, 8-12 Вересень 2014. Харків: Харківський авіаційний інститут.

12. Базилевич, П.Р., Кузьмін, О.Є., 2014. Застосування мереж Петрі вищого порядку для дослідження особливостей функціонування підприємств з різними типами черг. В: *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях: IX Міжнародна науково-практична конференція*. Запоріжжя, Україна, 23–24 Жовтень 2014. Запоріжжя: Запорізький національний університет.

13. Базилевич, П.Р., 2013. Процесний підхід для опису підприємств з чергами. В: *Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств харчової промисловості: Міжнародна науково-практична конференція*.

Одеса, Україна, 2–4 Жовтень 2013. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.

14. Базилевич, П.Р., 2013. Моделювання підприємств типу «запити-черги-виконавці» мережами Петрі вищого порядку. В: *Економіка і управління в умовах глобалізації: II міжнародна науково-практична конференція*. Донецьк, Україна, 30 Січень 2013. Донецьк: Вид. «Ноулідж».

15. Базилевич, П.Р., 2003. Оптимізація в задачах розбиття складних економічних систем. В: *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці: IV Міжнародна науково-практична конференція*. Ірпінь, Україна, 15–17 Травень 2003. Ірпінь: Академія ДПС України.

Апробація результатів дисертаційної роботи

№ п/п	Тип конференції	Назва конференції	Місце і дата проведення	Тип участі
1.	XV Міжнародний науковий семінар	Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та подолання наслідків Чорнобильської катастрофи	Київ – оз.Світязь, 4-8 липня 2016 р.	Очна
2.	XII Міжнародна науково-практична конференція	Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами	Харків, 8-12 вересня 2014 р.	Заочна
3.	IX Міжнародна науково-практична конференція	Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівня	Запоріжжя, 23–24 жовтня 2014 р.	Заочна
4.	Міжнародна науково-практична конференція	Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств харчової промисловості	Одеса, 2–4 жовтня 2013 р.	Заочна
5.	II міжнародна науково-практична конференція	Економіка і управління в умовах глобалізації	Донецьк, 30 січня 2013р.	Заочна
6.	IV Міжнародна науково-практична конференція	Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці	Ірпінь, 15–17 травня 2003 р.	Очна



03414

УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, тел. (380-32) 237-49-93, 258-27-58, факс: (380-32) 258-26-80
 ел. пошта: coffice@lp.edu.ua, інтернет: www.lp.edu.ua

05.12.2017 № 67-01-1979

на № _____

До спеціалізованої вченої ради Д 35.052.03
 Національного університету «Львівська політехніка»

Довідка
 про використання у навчальному процесі результатів
 дисертаційної роботи Базилевича Петра Романовича на тему:
 «Формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств»

Основні положення та результати дисертаційної роботи Базилевича Петра Романовича, представленої на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук (доктора філософії) були впроваджені у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» та застосовуються під час викладання дисципліни «Економіка та управлінсько-правове забезпечення діяльності бізнесу» для студентів спеціальності 073 «Менеджмент» спеціалізації «Бізнес-адміністрування».

Зокрема, у навчальному процесі використовуються запропоновані Базилевичем П. Р. метод структуризації та реструктуризації підприємства на основі ієрархічної кластеризації бізнес-операцій та прості мережі Петрі як моделі бізнес-процесів з обмеженим обсягом ресурсів, зі складськими приміщеннями, з циклічними чергами та комплектування виробів. Побудова детальних структур бізнес-процесів, аналізування та вивчення їх особливостей на основі процесного підходу з застосуванням апарату асинхронних дискретних систем та мереж Петрі сприяє розумінню закономірностей ефективного функціонування підприємства.

Проректор
 з науково-педагогічної роботи
 канд. техн. наук, доцент



Давидчак О.Р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
 Національного університету
 «Львівська політехніка»
 д.с.н., проф. Чухрай Н.І.
 «...» 2017 р.

АКТ
про використання результатів дисертаційної роботи
Базилевича Петра Романовича, представлені на здобуття
наукового ступеня кандидата економічних наук, при виконанні науково-дослідної
роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва
Національного університету «Львівська політехніка»
за темою «Формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств»

Комісія у складі голови – начальника НДЧ, к.т.н., доц. Жук Л.В. та членів: заступника завідувача кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва з наукової роботи, к.е.н., доц. Бали О. І., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень Лазько Г.В. та заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т.М. цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи здобувача Базилевича Петра Романовича використані при виконанні науково-дослідної роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка» за темою «Формування системи управління діяльністю організації на засадах врахування інтересів стейкхолдерів» (номер державної реєстрації № 0115U006724). Зокрема, Базилевичем П.Р. розроблено моделі мереж Петрі вищого порядку (часові та кольорові) та розвинуто можливості їх застосування для дослідження систем масового обслуговування з однолінійними та багатолінійними чергами, з наявністю виконавців як універсальних так і різнопрофільних.

Голова комісії:

Начальник НДЧ,
 к.т.н., доц.

Л.В. Жук

Члени комісії:

Заст. зав. каф. ММП
 з наукової роботи,
 к.е.н., доц.

О. І. Бала

Зав. відділу науково-організаційного супроводу
 наукових досліджень,
 к.т.н.

Г.В. Лазько

/ Заст. нач. ПФВ

Т.М. Чулой




АКТ
про використання результатів дисертаційної роботи
Базилевича Петра Романовича, представлені на здобуття
наукового ступеня кандидата економічних наук, при виконанні науково-дослідної
роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва
Національного університету «Львівська політехніка»
за темою «Формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств»

Комісія у складі голови – начальника НДЧ, к.т.н., доц. Жук Л.В. та членів: заступника завідувача кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва з наукової роботи, к.е.н., доц. Бали О. І., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень Лазько Г.В. та заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т.М. цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи здобувача Базилевича Петра Романовича використані при виконанні науково-дослідної роботи кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва Національного університету «Львівська політехніка» за темою «Інвестиційно-інноваційне забезпечення розвитку національного господарства та його суб'єктів в умовах дослідження моделі глобалізації» (номер державної реєстрації № 0115U006723). Зокрема, Базилевичем П.Р. розроблено моделі простих мереж Петрі для дослідження особливостей використання ресурсів на підприємствах та систем з обсягом ресурсів меншим від потреб для одночасного завантаження роботою всіх процесів.


Голова комісії:
 Начальник НДЧ,
 к.т.н., доц.

 Л.В. Жук

Члени комісії:
 Заст. зав. каф. ММП
 з наукової роботи,
 к.е.н., доц.

 О. І. Бала

Зав. відділу науково-організаційного супроводу
 наукових досліджень,
 к.т.н.

 Г.В. Лазько

/ Заст. нач. ПФВ

 Т.М. Чулой

ТОВ "НЕСТЛЕ УКРАЇНА"
ВУЛ. ВЕРХНІЙ ВАЛ, 72 В ЛІТЕРІ "А"
04670 М. КИЇВ, УКРАЇНА

ТЕЛ./TEL.: +380 44 490 8000
ФАКС/FAX: +380 44 490 8021

NESTLE UKRAINE LLC
VUL. VERKHNIY VAL, 72 V LITERI "A"
04670 KYIV, UKRAINE



№ 23/10-2
Дата: 23.10.2017р.

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Базилевича Петра Романовича
«ФОРМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ
БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ»

В рамках своєї діяльності в ТОВ «Нестле Україна» Базилевич П. Р. виконав глибокі дослідження особливостей функціонування департаменту експорту та імпорту. Результати дослідження викладені у главі «Застосування асинхронних дискретних систем та мереж Петрі для дослідження структури та закономірностей функціонування» цього департаменту. Ним детально описані структури підготовки документів як бізнес-процесу як асинхронної дискретної системи, з використанням відомих мов та мереж Петрі високого порядку (часових та кольорових). Показано, що широко розповсюджені мови BPEL, BPMN, EPC та YAWL не мають такої глибини деталізації опису бізнес-процесів як мережі Петрі високого порядку та асинхронні дискретні системи. Детальний опис та дослідження мережами Петрі високого порядку особливостей функціонування департаменту експорту та імпорту ТОВ «Нестле Україна» дало можливість уточнити часові параметри як його окремих операцій, так процесу в цілому, що сприяє вдосконаленню діяльності департаменту.

Менеджер з зовнішньоекономічної діяльності



Логвиненко І. І.



«ЗАВОД ЕЛЕКТРОНПОБУТПРИЛАД»

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

ЄДРПОУ 30650679
р/рах. 26007000006918
у «ВісБанк» м. Львова МФО 325213
ІПН 306506713041
№ свід. 100299798

вул. Зелена, 251, м. Львів, 79035
тел.: (032) 270-41-41
факс: (032) 270-91-83
e-mail: office@epp.electron.ua
www.epp.electron.ua

«13» 10 2017 р. № 38/44

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Базилевича Петра Романовича

«ФОРМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ»

Результати наукового дослідження Базилевича П.Р., викладені у главі «Застосування мереж Петрі для дослідження та удосконалення бізнес-процесу виготовлення електродвигуна ДПС 90-12», викладені в дисертації «Формування асинхронних дискретних систем бізнес-процесів підприємств» використані на підприємстві «ТзОВ «Завод Електронпобутприлад». Глибока деталізація технологічного процесу виготовлення мотору-редуктора МР-24 та МР-31 на основі мереж Петрі вищого порядку (часових та кольорових) дала можливість уточнити характеристики як окремих виробничих операцій, так і процесу в цілому. Це сприятиме його вдосконаленню.

Директор  З.І. Ждиняк



000314