

Галина В. Мельник, Володимир І. Скіцько
**МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗФАРБОВАНИХ МЕРЕЖ ПЕТРИ**

У статті досліджено проблеми моделювання соціально-економічних систем, зокрема, системи логістичних бізнес-процесів підприємства. Описано та обґрунтовано перехід від UML-моделей до моделей, побудованих з використанням розфарбованих мереж Петрі. Представлено систему логістичних бізнес-процесів, яку було спроектовано засобами UML, та модель її потоків з використанням розфарбованих мереж Петрі.

Ключові слова: розфарбовані мережі Петрі; логістика; бізнес-процеси.

Форм. 1. Рис. 6. Літ. 26.

Галина В. Мельник, Владимир И. Скицко
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСКРАШЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

В статье исследованы проблемы моделирования социально-экономических систем, в частности, системы логистических бизнес-процессов предприятия. Описан и обоснован переход от UML-моделей к моделям, построенных с использованием раскрашенных сетей Петри. Представлены система логистических бизнес-процессов, спроектированная средствами UML, и модель ее потоков с использованием раскрашенных сетей Петри.

Ключевые слова: раскрашенные сети Петри; логистика; бизнес-процессы.

Halyna V. Melnyk¹, Volodymyr I. Skitsko²
**LOGISTICS BUSINESS PROCESSES MODELLING
USING COLOURED PETRI NETS**

This article explores the problems of modelling socioeconomic systems, including logistics business processes. The transition from UML-models to models built with the application of coloured Petri nets has been described and grounded. The paper presents the system of logistics business processes designed via UML and the model of its flows using coloured Petri nets.

Keywords: coloured Petri nets; logistics; business processes.

Постановка проблеми. Підприємство є складною економічною системою, що містить взаємодіючі компоненти, робота яких спрямована на досягнення загальної мети (результату). Наразі неможливо бути успішним підприємством без використання інновацій, зокрема, інформаційно-телекомунікаційних технологій, новітніх підходів до маркетингу та логістики в системі менеджменту підприємства тощо. Інновації сприяють ефективнішій роботі підприємства, проте їх впровадження вимагає певних змін.

Дедалі більше підприємств використовують процесний підхід в управлінні [16], де, зважаючи на сучасні непрості умови ведення бізнесу в Україні, одне з головних місць відведене управлінню логістичними бізнес-процесами. Під логістичними бізнес-процесами будемо розуміти процеси, пов'язані з матеріальними потоками в логістичній системі. Управління логістичними бізнес-процесами – це інтегроване управління бізнес-процесами з просування матеріального потоку (товарів) і обслуговуючих його інших логістичних потоків

¹ Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University, Ukraine.

² Vadym Hetman Kyiv National Economic University, Ukraine.

від джерела їх виникнення до кінцевого споживача з метою досягнення цілі функціонування логістичної системи (визначення сформульовано на основі [16]).

Одне з основних місць в управлінні логістичними бізнес-процесами займає моделювання, за допомогою якого можна вирішити низку завдань, зокрема [10]: визначення меж відповідальності співробітників та підрозділів підприємства; розробка та впровадження єдиної автоматизованої системи управління підприємством, а також взаємна інтеграція функціонування кількох інформаційних систем підприємств у разі неможливості впровадження єдиної системи; розробка та автоматизація логістичних бізнес-процесів підприємства, які пов'язані з контрагентами (клієнтами, постачальниками тощо).

Основними підходами до побудови моделей логістичних бізнес-процесів підприємства є функціональний (структурний) та об'єктно-орієнтований. При функціональному підході основним елементом моделі є функція (дія чи операція), яка виконується над продукцією (товаром чи послугою) під час її просування в бізнес-процесі, а система логістичних бізнес-процесів підприємства представляється у вигляді ієрархії взаємопов'язаних функцій [9]. В об'єктно-орієнтованому підході основними елементами моделі є об'єкти, які відповідають існуючим об'єктам реального (віртуального) економічного середовища. До таких об'єктів можна віднести клієнтів, замовлення, послуги, матеріали, документи, обладнання тощо [9].

Серед типів моделей логістичних бізнес-процесів підприємства розрізняють графічні (які є найбільш поширеними), імітаційні та виконуючі [9]. До класичних засобів моделювання та управління логістичними бізнес-процесами підприємства можна віднести блок-схеми, орієнтовні графи, мережі Петрі, методологію структурного аналізу та проектування (structured analysis and design technique – SADT), методологію функціонального моделювання (integration definition for function modelling – IDEF0), методологію моделювання потоків даних (data flow diagrams – DFD). Деякі з цих засобів моделювання були запропоновані в той час, коли комп'ютерна техніка ще не достатньо використовувалась в економіці, а тому відповідні моделі могли бути побудовані на звичайному аркуші паперу за допомогою олівця та лінійки. Дані засоби моделювання не були розроблені виключно для моделювання бізнес-процесів, зокрема, логістичних, а розроблялися для моделювання різних складних процесів в інших сферах діяльності людини.

У період своєї появи мережі Петрі не здобули широкого використання у сфері бізнесу через їх недостатньо зрозуміле для звичайних менеджерів графічне представлення, у порівнянні з існуючим на той час інструментарієм моделювання. Проте розвиток інформаційних технологій сприяв тому, що в основі низки мов, які розроблені для моделювання бізнес-процесів підприємства за останні 15 років, лежать засади проектування та функціонування мереж Петрі [9].

Офіційним початком теорії мереж Петрі вважають дисертацію 1962 р. К. Петрі «Взаємодія з автоматами» [26], хоча ще у віці 13 років (1939 р.) для описання хімічних процесів він запропонував інструментарій, який згодом й було названо «мережами Петрі» [17]. З того часу теорія мереж Петрі значно

розвинулась як у теоретичному плані, так і прикладному. Зокрема, одними з найбільш вдалих та ґрунтовних досліджень мереж Петрі можна вважати статтю Дж. Петерсона [25] та його монографію [14]. Більшість наукових робіт щодо мереж Петрі присвячено теоретичному змісту, а тому існує потреба у розвитку прикладного аспекту, зокрема щодо їх використання у моделюванні логістичних бізнес-процесів конкретних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постійна актуальність та зростаюча складність моделювання бізнес-процесів, зокрема логістичних, зумовлює виникнення низки відповідних задач та завдань, яким присвячено досить широкий спектр наукових та практичних робіт. Проникнення інформаційних технологій у всі бізнес-процеси підприємства зумовлює збільшення значення моделювання логістичних бізнес-процесів для побудови, зокрема, ефективної системи управління підприємством. Проте моделювання бізнес-процесів здійснюється, перш за все, людиною (аналітиком, дослідником), яка повинна володіти знаннями, зокрема з економіки, інформатики, моделювання систем тощо [9].

Різним аспектам моделювання бізнес-процесів підприємств присвячено дослідження вітчизняних та зарубіжних авторів. Однією із фундаментальних робіт із теорії бізнес-процесів є праці А.-В. Шеєра «Бізнес-процеси. Основні поняття. Теорія. Методи» [18] та «Моделювання бізнес-процесів» [19]. А.-В. Шеєр є професором Саарського університету (Німеччина), засновником та керівником компанії «IDS Scheer» (яку в 2009 р. було продано корпорації «Software AG»), розробником методології ARIS (Architecture of Integrated Information Systems – архітектура інтегрованих інформаційних систем). Методологія ARIS є сукупністю низки методологій, інтегрованих в рамках системного підходу, що дозволяє дослідити бізнес-процеси підприємства на основі побудови 4 типів моделей: організаційної, функціональної, інформаційної моделей та моделі управління [5]. На сьогодні ARIS – це не тільки методологія, а пакет програмних продуктів «ARIS Platform», за допомогою якого можна здійснювати комплексне управління бізнес-процесами підприємства [12; 13].

В. Репін та В. Еліферов [15] досліджують проблему створення системи управління бізнес-процесами підприємства, зокрема, з використанням методологій ARIS, IDEF0, IDEF3, DFD та блок-схем. Вони також запропонували власну методику реорганізації системи управління бізнес-процесами підприємства на основі процесного підходу управління. Існує низка оглядових робіт, в яких аналізуються різні методи та засоби моделювання бізнес-процесів, зокрема в [1], крім зазначених раніше розглядаються методологія «Ericsson-Penker» та технологія «Rational Unified Process». А.М. Вендров зауважує, що хоча існують об'єктно-орієнтовний та структурний підходи до моделювання, сучасні найбільш розповсюджені методи моделювання (зокрема, ARIS, IDEF0, IDEF3, DFD, Ericsson-Penker, Rational Unified Process) використовують елементи обох підходів [1].

М.Г. Доррер [4] наголошує на труднощах при дослідженні бізнес-процесів підприємств на основі графічних моделей (навіть побудованих в межах структурного підходу), що пов'язано, зокрема, із семантичним та синтаксичним

аналізом цих моделей. Часткові спроби вирішення цих проблем було реалізовано розробниками структурного підходу до моделювання бізнес-процесів у відповідних програмних комплексах, зокрема в ARIS [7]. В [2; 4; 8] запропоновано використовувати інструментарій мереж Петрі як допоміжний засіб моделювання та аналізу бізнес-процесів підприємства. Такий підхід передбачає перетворення побудованої моделі бізнес-процесів підприємства з використанням загальноприйнятих методів у мережу Петрі для подальшого її аналізу (наприклад, знаходження дослідження коректності її роботи, отримання можливих сценаріїв виконання бізнес-процесів тощо [4; 8]).

Автори роботи [6] пропонують моделювати соціально-економічні системи (в т.ч., бізнес-процеси підприємств) за допомогою розфарбованих мереж Петрі, що значно розширює можливості представлення в графічному виді інформації у порівнянні з іншими видами мереж Петрі. В науково-технічній літературі досить часто зустрічається інша назва даного типу мереж Петрі – «кольорові». Це пов'язано з особливостями перекладу слова «coloured», що англійською означає як «кольоровий», так і «розфарбований». На наш погляд, в даній ситуації більш коректним є вживання терміну «розфарбовані мережі Петрі».

Зауважимо, що зроблені вище висновки можуть бути застосовані й для логістичних бізнес-процесів. Аналіз зазначених та інших робіт показав, що неможливо побудувати універсальну модель (зокрема, на основі мереж Петрі) для усіх підприємств через те, що кожне підприємство є унікальним і його система логістичних бізнес-процесів може потребувати особливої моделі. Проте можна запропонувати загальну методику побудови таких моделей для підприємств, в яких системи логістичних бізнес-процесів є подібними.

Мета дослідження полягає в розробці загального підходу до використання розфарбованих мереж Петрі в моделюванні логістичних бізнес-процесів підприємств та побудові відповідної імітаційної моделі.

Основні результати дослідження. Бізнес-процеси, в т.ч. й логістичні, представляють собою неперервну серію задач, вирішення яких здійснюється з метою досягнення певного результату, орієнтуючись на потреби споживача [18]. На думку інших авторів, бізнес-процес – це стійка, цілеспрямована сукупність взаємопов'язаних видів діяльності, яка за визначеною технологією перетворює входи (ресурси, необхідні для виконання бізнес-процесу) у виходи (результат (продукт, послуга) виконання бізнес-процесу), які представляють певну цінність для споживачів [15]. Для визначення, візуалізації, проектування та документування систем бізнес-процесів широко використовується уніфікована мова моделювання UML (unified modeling language) [3]. UML є мовою широкого профілю, це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, яка називається UML-моделлю. Різні типи (структурні, поведінки і взаємодії) та види діаграм, які підтримуються UML, багатий набір можливостей представлення певних аспектів системи робить UML універсальним засобом опису як програмних систем, так і моделювання бізнес-процесів.

Поряд з численними перевагами, до недоліків мови UML фахівці відносять неформальність та неточність її синтаксису і семантики, візуальну

неоднорідність та питання, що виникають при використанні UML-моделей. При застосуванні UML для аналізу та проектування системи логістичних бізнес-процесів однією з проблем є труднощі при перевірці узгодженості складових моделі. Пошук методів, які можуть бути використані для опису системи логістичних бізнес-процесів привів до розгляду мереж Петрі як найбільш прийняттого інструменту для наочного подання множини внутрішніх станів системи і умов їх зміни (функцій переходу). В Європі активно розвивається прикладний напрямок застосування розфарбованих мереж Петрі в промислових проектах та підтримується науковцями як теоретично, так і практично.

Розфарбована мережа Петрі (coloured petri net – CPN або CP-net) зберігає корисні властивості мереж Петрі і разом з цим розширює їх первинний формалізм із дозволом використання відмінних за кольором маркерів в позиціях [11]. К. Йенсен в [24] визначає CP-net не тільки як засіб моделювання, але й як повноцінну мову проектування, специфікації, симуляції, перевірки та впровадження програмних та інших систем, де взаємодія людей і/чи комп'ютерів може бути описана на рівні більш-менш формальних правил.

У загальному вигляді розфарбована мережа Петрі може бути представлена наступним чином [24]:

$$CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, IN), \quad (1)$$

де Σ – скінченна непорожня множина типів, які називаються кольоровими мітками; P – скінченна множина позицій; T – скінченна множина переходів; A – скінченна множина дуг, для яких $P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$; N – функція на вузлах (позиціях та переходах), що визначена з A на $P \times T \cup T \times P$; C – функція на кольорах, що визначена з P на Σ ; G – функція обмежень (спускова функція), визначена з T на вирази виду $\forall t \in T: [Type(G(t)) = Bool \wedge Type(Var(G(t))) \subseteq \Sigma]$; E – функція висловів на дугах, визначена з A на вирази виду $\forall a \in A: [Type(E(a)) = C(p(a)) \wedge Type(Var(E(a))) \subseteq \Sigma]$, $p(a)$ – позиція з $N(a)$; IN – функція ініціалізації, визначена з P на вирази виду $\forall p \in P: [Type(IN(p)) = C(p) \wedge Var(IN(p)) \subseteq \emptyset]$.

Стани CP-net представляються за допомогою позицій (у вигляді еліпсів або кіл). За згодою фахівців, всередині зображення позицій вказують їх імена, які не мають формального, але мають велике практичне значення, оскільки покращують читання CP-net (аналог мнемонічних імен в процедурному програмуванні). З кожною позицією пов'язаний тип (встановлений колір), який визначає тип даних, що може містити ця позиція [24].

Стан CP-net визначається маркуванням (набором маркерів, розташованих за окремими позиціями). Кожен маркер має колір (значення), який належить до типу позиції, на якій маркер перебуває. Маркери, присутні на певній позиції, називаються маркуванням цієї позиції. Визначальним для CP-net є початкове маркування, яке використовується для опису початкового стану системи. Дії CP-net представлені за допомогою переходів (які зображуються прямокутниками). Ім'я переходу, як і позиції, записують всередині прямокутника [24]. Позицію та перехід з'єднує дуга (дуги). В CP-net передбачено дуги певного кольору, який визначає вимоги до кольорів маркерів, рух яких може бути дозволений за дугою. Тобто колір дуги, що зв'язує вхідну позицію та перехід визначає колір маркера, якому буде дозволений цей перехід. Вихідні дуги переходу визначають колір маркерів, які повинні з'явитися у вихідних

позиціях цього переходу після його запуску (перехід є дозволим). Перехід є дозволим, якщо набір та кольори маркерів у вхідних позиціях переходу відповідають набору та кольорам вхідних для даного переходу дуг.

У роботі представлено модель логістичних бізнес-процесів підприємств, а саме – UML-діаграми, побудовані засобами «Modelio 3.2» [22], та моделі розфарбованих мереж Петрі, симуляція та перевірка яких проводилась з допомогою «CPN Tools» [21]. Дистрибутиви вказаних програмних продуктів знаходяться у вільному доступі в Інтернеті та розповсюджуються безкоштовно.

Модель системи логістичних бізнес-процесів підприємства була розроблена відповідно до певних вимог, що висуваються до її функціональності, а саме: в складі системи передбачено підсистему (систему) обробки замовлень на реалізацію та/чи постачання товарів на підприємство та користувачі системи. Під реалізацією розуміють сукупність операцій, пов'язаних з передачею товару (групи товарів) від підприємства до покупця. Під постачанням розуміють процес надходження товару (групи товарів) від постачальника на підприємство. На рис. 1 представлено діаграму прецедентів (сценарію використання – use case diagram) системи обробки замовлень на реалізацію та постачання товарів.

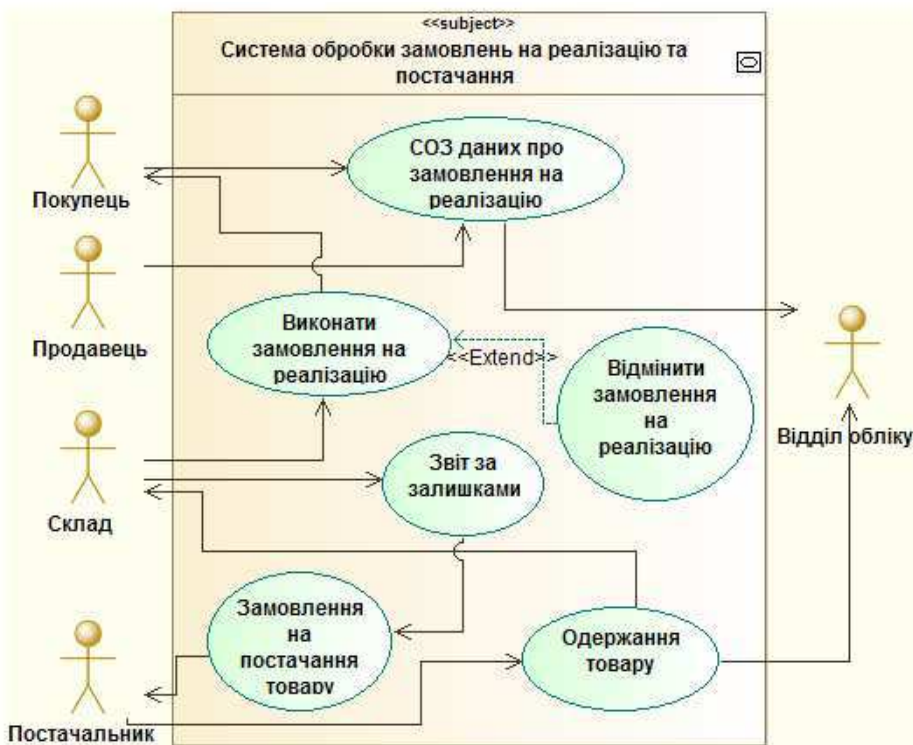


Рис. 1. Діаграма прецедентів «Система обробки замовлень на постачання та реалізацію», авторська розробка

До складу системи логістичних бізнес-процесів входять компоненти (діяльності), які представляють ланцюг операцій з постачання та реалізації

товарів. Процесу реалізації відповідають варіанти діяльності (activity): «СОЗ даних про замовлення на реалізацію» (Створення/Оновлення/Знищення даних замовлення – СОЗ), «Виконати замовлення на реалізацію». Варіант «Відмінити замовлення на реалізацію» з'єднаний з варіантом «Виконати замовлення» зв'язком розширення («extend»), який вказує, що в ході виконання варіанта «Виконати замовлення» можуть виникати умови, за яких буде реалізовано особливий сценарій, що описується варіантом «Відмінити замовлення». Тобто, переключення на зв'язок «extend» відбуватиметься не завжди. Процесу постачання відповідають варіанти діяльності «Звіт за залишками», «Замовлення на постачання товару» й «Одержання товару».

Користувачі системи обробки замовлень на реалізацію та постачання товарів представлені вузлами (дійовими особами, actors): «Покупець» (покупці), «Продавець» (продавці), «Склад» (менеджери складу), «Постачальник» (постачальники) та «Відділ обліку» (підсистема обліку та документування операцій).

З метою моделювання й аналізу матеріальних та інформаційних потоків, деталізації особливостей процедурних операцій в межах системи логістичних бізнес-процесів засобами мови UML було побудовано діаграми кожного з варіантів діяльності. Зокрема, на рис. 2 та 3 представлено діаграми діяльності «СОЗ даних про замовлення на реалізацію» та «Одержання товару» відповідно.

Окремі розділи (partitions) на діаграмах визначають сфери діяльності дійових осіб та системи обробки замовлень на реалізацію та постачання (рис. 2–3). Основні операції в межах відповідальності кожного розділу представлені вузлами дій (action), названі відповідним чином, вхідним (initial node) та фінальними (activity final node) вузлами. Слід зазначити, що фінальні вузли супроводжуються коментарями, які вказують на успішне та неуспішне завершення потоків подій. Вузли дій з'єднані ребрами потоків управління (control flow).

Вузли логічного розгалуження (decision) передбачають активізацію відповідних потоків та переходи на вузли, що відповідають нетривіальним сторожовим умовам (guard). Діаграми діяльності варіантів «Виконати замовлення на реалізацію», «Відмінити замовлення на реалізацію», «Звіт за залишками», «Замовлення на постачання товару» аналогічні за підходом до побудови.

Наступним етапом моделювання є процедура переходу від діаграм діяльності до розфарбованих мереж Петрі, побудова зазначених мереж за допомогою «CPN Tool» та подальший аналіз потоків системи. При побудові моделі мережі Петрі вузол, якому відповідає стан очікування перетворюється в позицію, а вузол, якому відповідає стан дії – в перехід, який починає дію, позицію, що відображає дію та перехід, який закінчує виконання дії [20; 23]. Якщо два вузли, що відповідають стану дії, є послідовними, то завершення першої і початок другої дії суміщають та відображають одним переходом для спрощення діаграми, як це показано на рис. 4б. Приклад вузлів стану та їх еквіваленти в моделі мережі Петрі приведено на рис. 4а–4в. Графічне зображення розділення та злиття паралельних потоків управління перетворюється у відповідний еквівалент мережі Петрі, що представлено на рис. 4а. Графічне розгалуження (decision) на діаграмі діяльності перетворюється у відповідний еквівалент мережі Петрі (рис. 4в).

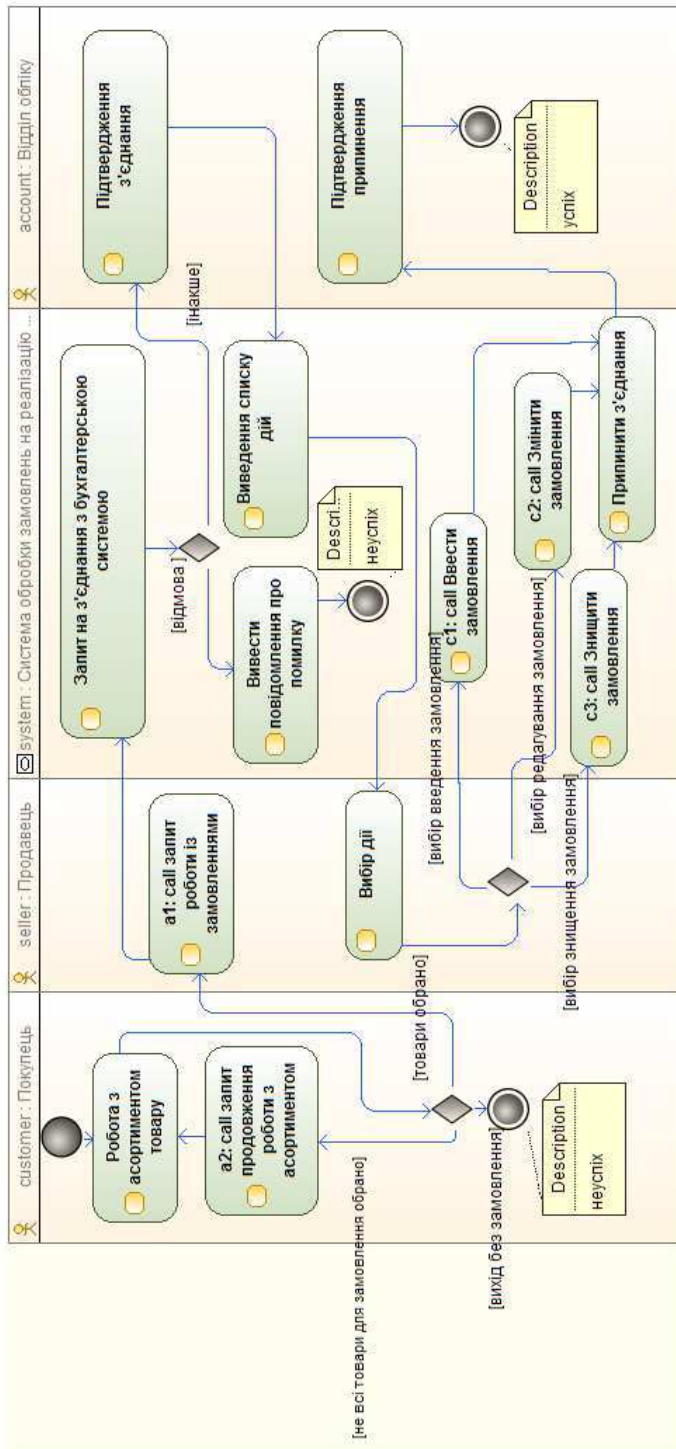


Рис. 2. Діаграма діяльності «СОЗ даних про замовлення на реалізацію», авторська розробка

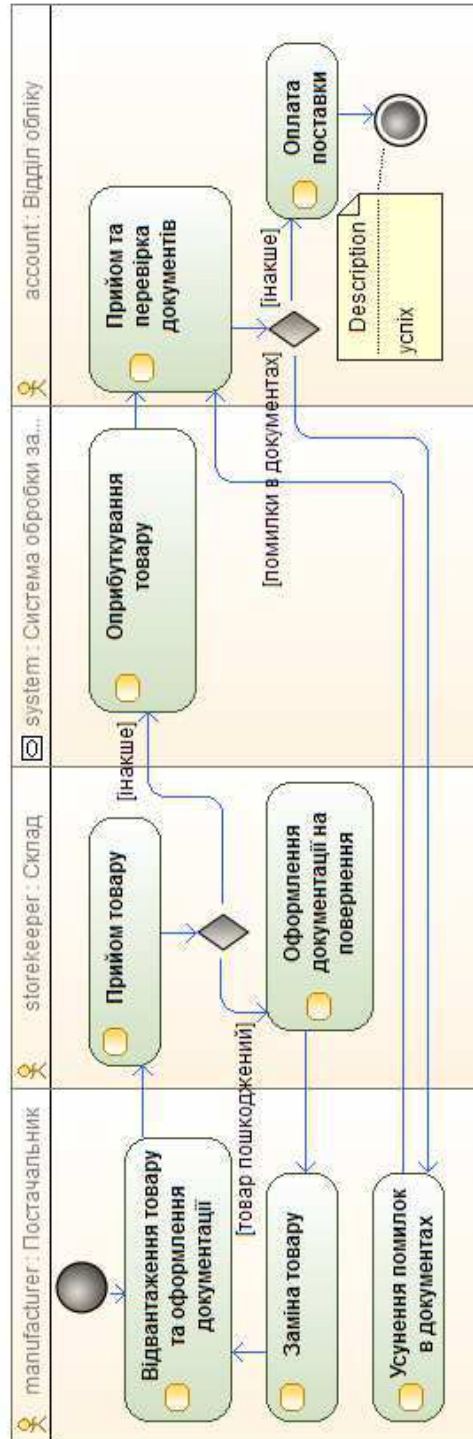


Рис. 3. Діаграма діяльності «Одержання товару», авторська розробка

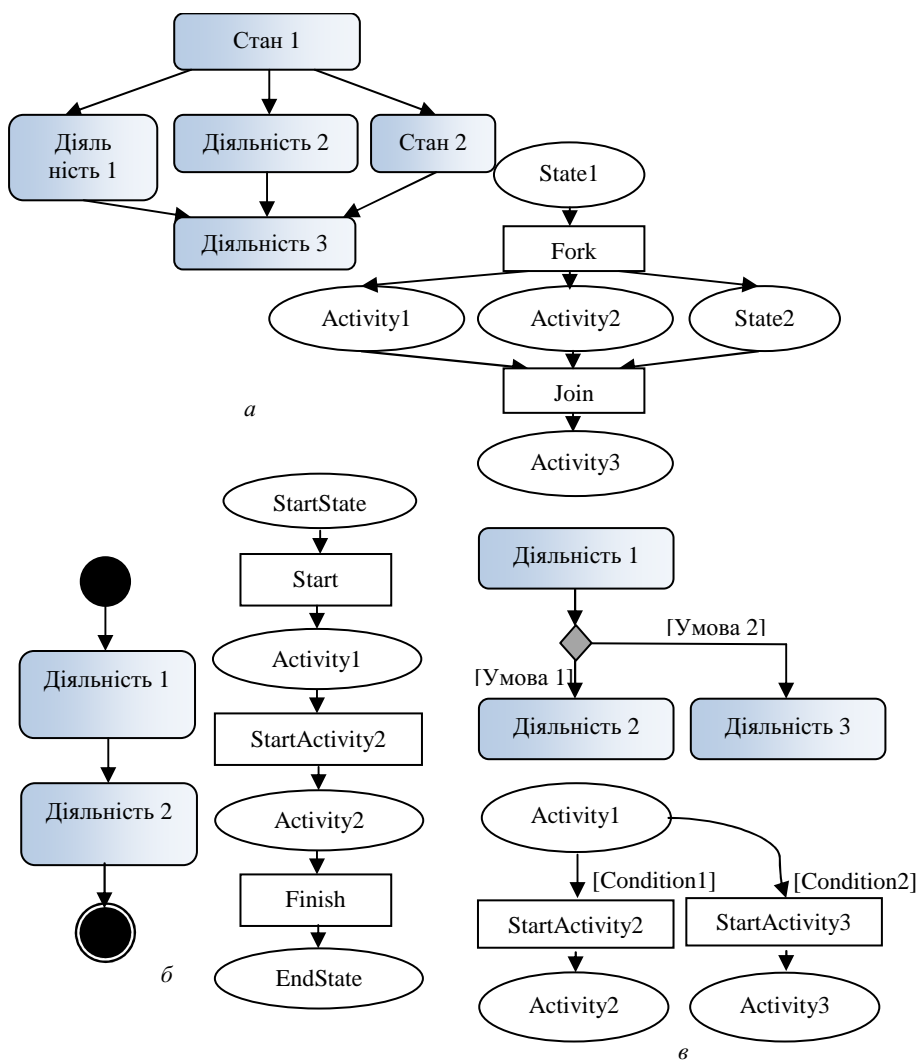


Рис. 4. Приклад перетворення станів очікування та дій діаграми діяльності в їх еквівалентах у мережі Петрі, побудовано на основі [25; 26]

Сторожові умови обмеження (відповідні їм потоки) вказані за допомогою умов обмеження переходів. Розділ (partition) – графічна область діаграми діяльності, що містить елементи моделі, за виконання яких відповідає окрема підсистема, відображається у вигляді окремої підмережі (сторінки CP-net моделі).

На рис. 5–6 представлено сторінки моделі розфарбованої мережі Петрі, що відповідають діаграмам діяльності «СОЗ даних про замовлення на реалізацію» та «Одержання товару».

З метою спрощення моделі деякі послідовні стани діяльності зображено у вигляді одного стану діяльності з відповідною позицією. Робота потоків, що відповідають користувачам системи («Покупець», «Продавець», «Склад»,

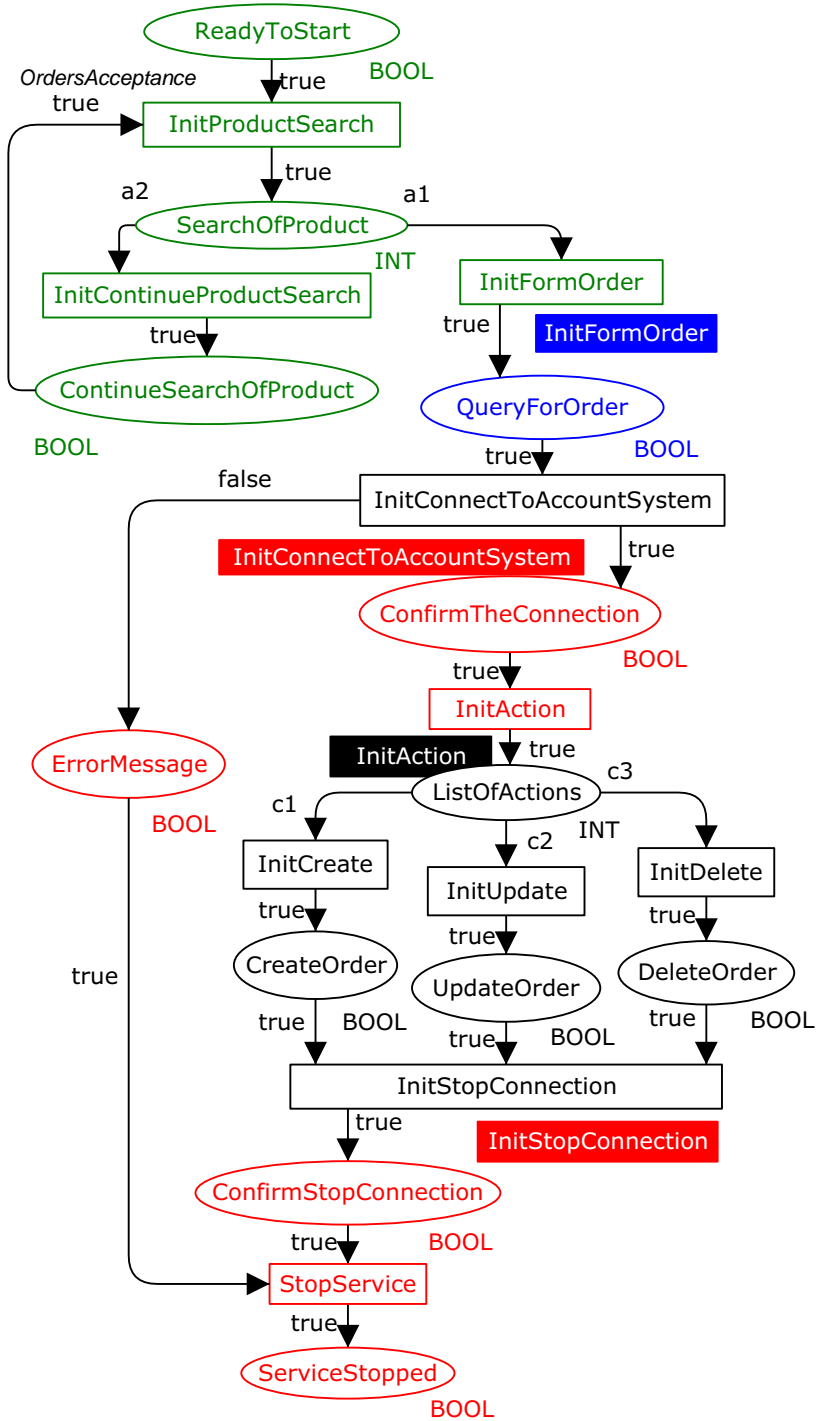


Рис. 5. Сторінка моделі процесу «СОЗ даних про замовлення на реалізацію», авторська розробка

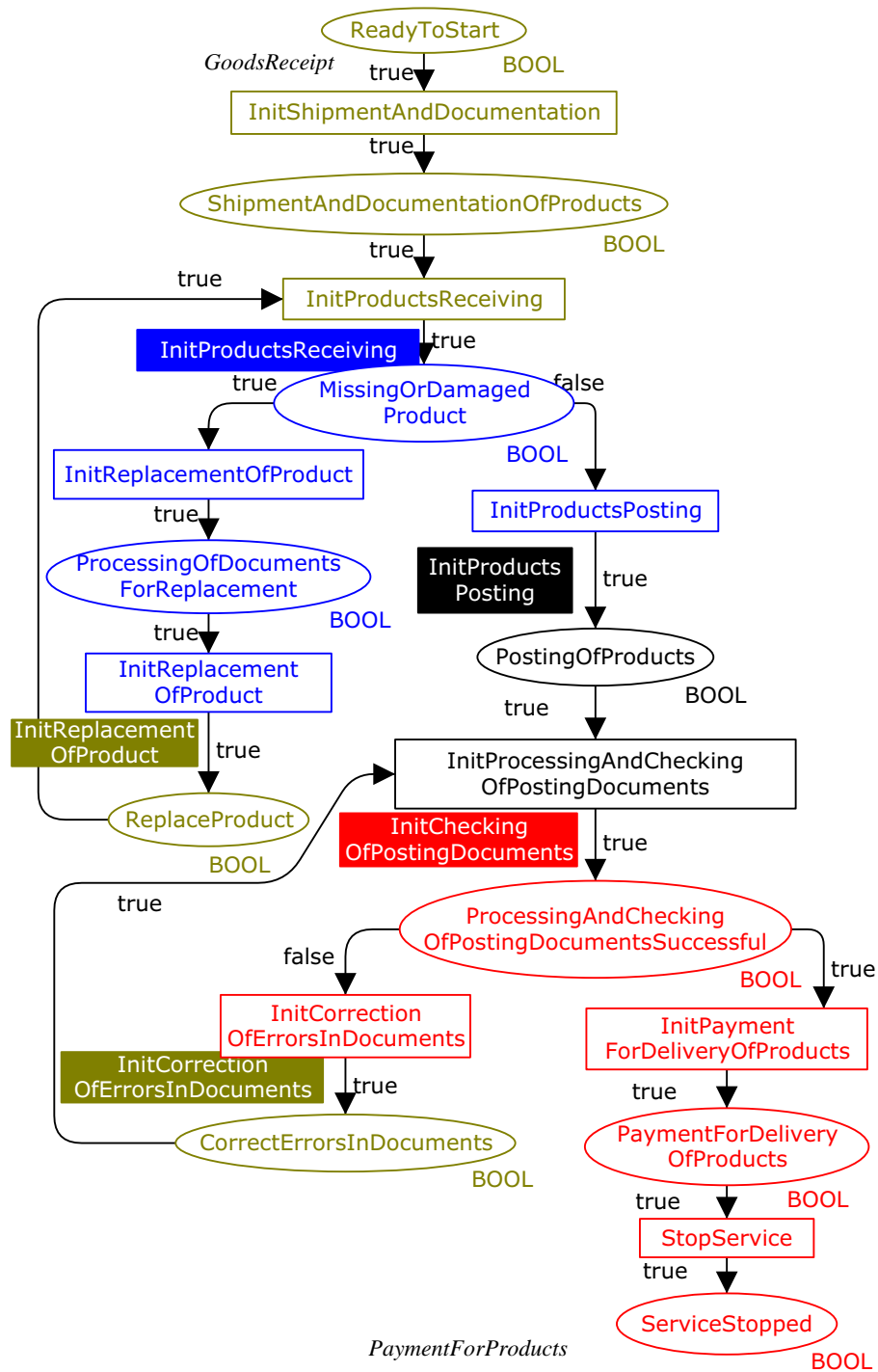


Рис. 6. Сторінка моделі процесу «Одержання товару», авторська розробка

«Постачальник», «Відділ обліку»), відображено в моделі у вигляді складених переходів (виділені певним кольором) з відповідними підсторінками. Приклад такого представлення – сторінка моделі потоку «Відділ обліку». Завантаження та синхронізація її роботи відбувається за допомогою позицій злиття. Рух об'єктів (зміна станів) маркерів закінчення управляючих потоків відображається природнім чином за допомогою вхідних та вихідних позицій складеного переходу.

Для моделювання реальної ситуації з варіантами «СОЗ даних про замовлення на реалізацію» та «Одержання товару» введено позиції ініціалізації моделі з відповідною початковою розміткою «Прийом замовлення» (OrdersAcceptance) і «Надходження товару» (GoodsReceipt) відповідно.

На першому етапі проектування здійснюється симуляція та аналіз моделі з одиничними простими вихідними даними. Отримано вихідні дані, які відповідають повнофункціональній системі. Зокрема: відправлення та прийом команд серії OrdersAcceptance чи ProductsReceipt відбуваються у відповідності з вихідними даними; ініціалізація моделі та її подальша підготовка до перезавантаження виконуються коректно; в моделі відсутні тупикові (deadlock) стани.

Наступним етапом є симуляція моделі з метою аналізу матеріальних та інформаційних управляючих потоків (OrderFlow, ProductFlow, OrdersAcceptanceDocuments, ProductsReceiptDocuments).

Отримані результати свідчать, що матеріальні потоки (реалізація та надходження товарів) в моделі реалізовані коректно. Натомість, інформаційні потоки (документування операцій) не відповідають функціональним вимогам. Окрім того, для моделі процесу «Одержання товару» (однойменного варіанту діяльності) доцільно здійснити переміщення стану дії «Перевірка документів» з вузла «Відділ обліку» до «Системи обробки замовлень на реалізацію та постачання» з відповідним перенаправленням потоку перевірки документів.

За отриманими результатами внесено зміни до CP-net моделі та в UML-діаграми задля зменшення кількості операцій перенаправлення керуючих потоків та з метою покращення функціональності моделі системи логістичних бізнес-процесів.

Висновки. При побудові системи логістичних бізнес-процесів підприємства необхідно враховувати сучасні засоби комп'ютерного моделювання. В роботі представлено систему логістичних бізнес-процесів, спроектовану засобами UML, та модель її потоків з використанням розфарбованих мереж Петрі. Імітаційна модель на основі CP-net дозволяє отримати вихідні характеристики в залежності від варіативних вхідних даних.

Аналіз вимог до логістичної системи з допомогою засобів UML та розфарбованих мереж Петрі дозволяє, насамперед, виявити помилки ще на стадії проектування і, разом з цим, одержати готові до реалізації алгоритми, правильність функціонування яких доведена формально. Представлена методика дозволяє отримати перевірений проект системи логістичних бізнес-процесів та уникнути помилок чи дублювання потоків, тим самим підвищуючи її дієвість та ефективність використання.

Не дивлячись на потужний потенціал розфарбованих мереж Петрі у моделюванні різних соціально-економічних систем, в т.ч. систем логістичних бізнес-процесів, наразі вітчизняних наукових теоретичних та практичних робіт з даної проблематики дуже мало. За допомогою даного дослідження ми хотіли заповнити цю прогалину та ознайомити зацікавлених осіб з інструментарієм моделювання, показавши один із способів його використання. У подальших дослідженнях вбачаємо за доцільне розширити коло використання розфарбованих мереж Петрі. Зокрема, перспективними є розробки щодо моделювання бізнес-процесів підприємств електронної комерції.

1. Вендров А.М. Методы и средства моделирования бизнес-процессов (обзор) // Jet Info: Информационный бюллетень.— 2004.— №10 // www.jetinfo.ru.
2. Вил А., Хей К. Управление потоками работ: модели, методы и системы / Пер. с англ. — М.: Физматлит, 2007. — 316 с.
3. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. — М.: ДМК Пресс, 2002 — 704 с.
4. Доррер М.Г. Алгоритм преобразования моделей бизнес-процессов в одноцветные сети Петри // Моделирование и анализ информационных систем.— 2010.— Т. 17, №2. — С. 5–16.
5. Ефимова О.А. ARIS — основы теории // citforum.ru.
6. Ехлаков Ю.П., Тарасенко В.Ф., Жуковский О.И., Сенченко П.В., Гриценко Ю.Б. Цветные сети Петри в моделировании социально-экономических систем // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.— 2013.— №3. — С. 83–92.
7. Каменова М., Громов А., Феранонтов М., Шматалюк А. Моделирование бизнеса. Методология ARIS: практическое руководство. — М.: Весть-Метатехнология, 2001. — 327 с.
8. Кирисов С.В. Методики моделирования бизнес-процессов в обеспечении и улучшении качества деятельности организации // Вопросы современной науки и практики (Университет им. В.И. Вернадского).— 2009.— №4 // vernadsky.tstu.ru.
9. Лекция 9. Моделирование бизнес-процессов // Научно-образовательный кластер CLAIM (Computational Linguistics, Artificial Intelligence, Multimedia and more) // it-claim.ru.
10. Лекция 11. Программные средства моделирования // Научно-образовательный кластер CLAIM (Computational Linguistics, Artificial Intelligence, Multimedia and more) // it-claim.ru.
11. Непомнящий В.А., Шилова Н.В. Верификация Estelle-спецификаций распределенных систем посредством раскрашенных сетей Петри. — Новосибирск, 1997. — 140 с.
12. Опис модулів ARIS // bps.org.ua.
13. Опис модулів ARIS // Компанія Software AG // www.softwareag.com.
14. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
15. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. — 408 с.
16. Солодка О.В. Реінжиніринг логістичних бізнес-процесів як спосіб їх вдосконалення // Вісник НУ «Львівська політехніка».— Серія: Логістика.— 2010.— №669. — С. 317–322.
17. Сторінка про Карла Адама Петрі // Вільна енциклопедія «Вікіпедія» // de.wikipedia.org.
18. Шеер А.-В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. — М.: Весть-МетаТехнология, 1999. — 152 с.
19. Шеер А.-В. Моделирование бизнес-процессов. — М.: Весть-МетаТехнология, 2000. — 206 с.
20. Baresi, L., Pezze, M. (2001). On formalizing UML with high-level Petri net. In: Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets. Lecture Notes in Comp. Sci (p. 276–304).
21. CPN Tools Homepage // www.daimi.au.dk.
22. Download the Modelio open source modeling tool based on UML and BPMN // www.modelio.org.
23. Hu, Z., Shatz, S. (2004). Mapping UML Diagrams to a Petri Net Notation to Exploit Tool Support for System Simulation. Proc. Int'l Conf. on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE'04). P. 213–219.

24. *Jensen, K., Brauer, W., Reisig, W., Rozenberg, G.* (1987). Coloured Petri nets. In: Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets 1986 Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 254 (p. 248–299). Springer Verlag.

25. *Peterson, J.* (1977). Petri Nets. Computing Surveys, 9(3): 223–252.

26. *Petri, C.A.* (1962). Kommunikation mit Automaten. Von der Fakultät für Mathematik und Physik der Technischen Hochschule Darmstadt. Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.). Dissertation. Bonn: Mathematisches Institut der Universität Bonn. 128 p.

Стаття надійшла до редакції 6.02.2015.