

И. В. Шостак, Я. Рахими

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЛОЖЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Цель статьи состоит в исследовании возможности представления полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину в форме сетевой модели, которая давала бы возможность анализа эффективности бизнес-процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям. **Результаты.** Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой адекватных сетевых моделей создания, развертывания и поддержки функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину. Показано, что при создании и функционировании ЦПС, по сравнению с другими системами класса SCM, возникает ряд специфических проблем, обусловленных сложностью взаимодействия поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров (розничных торговцев). Рассмотрена модель полной ЦПС в форме сети Петри (СП) и предложена интерпретация бизнес-процессов в цепи элементами СП. Показаны недостатки классических, безопасных СП как инструмента моделирования ЦПС. **Выводы.** Сделан вывод о необходимости расширения, временем сетевой модели ЦПС для соблюдения принципа 'just-in-time' при моделировании бизнес-процессов, а также отражения иерархичности, изначально присущей структуре ЦПС. Предложено использовать для синтеза сетевой модели ЦПС вложенные сети Петри (ВСП). При этом сетевая модель функционирования ЦПС в форме ВСП включает объекты двух типов – центральное звено, отражающее деятельность фокусной компании по переработке исходного сырья (сухофруктов), и ряд подсетей, моделирующих деятельность поставщиков сырья и реализаторов готовой продукции.

Ключевые слова: поставки сухофруктов, полная логистическая цепь поставок, фокусная компания, моделирование бизнес-процессов, вложенная сеть Петри, минимизация логистических издержек.

Введение

Для анализа функционирования логистических систем, в частности, полных цепей поставок, существует обширный инструментарий, который дает возможность адекватного представления в динамике любого из конкретных вариантов реализации цепи [1]. Вместе с тем, в настоящее время существует необходимость совершенствования логистических методов управления, в том числе моделирования и анализа цепей поставок в системах SCM продуктов питания, поскольку в современных условиях экономика Украины ориентирована, преимущественно, на увеличение объема импорта и развитие розничной торговли. Типичным объектом рассматриваемого типа является цепь поставок сухофруктов в Украину (ЦПС), которая представляет собой сложную социо-технико-экономическую систему, состоящую из множества поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров (розничных торговцев), которые обладают определенными ресурсами. Взаимодействие участников бизнес-процессов в ЦПС отражается множеством материальных, финансовых и информационных потоков, а также потоков услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя. Многообразие регионов мира, из которых осуществляются поставки в Украину сухофруктов, широкая номенклатура поставляемой продукции, урожайность, колебание курсов валют, сезонность являются причинами возникновения высокого уровня неопределенности в процессах формирования и принятия решений участниками ЦПС.

Концепция SCM [2] предполагает комплексное представление бизнес-процессов, а именно производства сырья (свежих фруктов), производства и упаковки готовой продукции, доставки и дистрибуции.

Таким образом, эффективное функционирование ЦПС предполагает интеграцию ключевых бизнес-процессов: управления взаимоотношениями с потребителями; обслуживания потребителей; анализа спроса; управления выполнением заказов; обеспечения производственных процессов; управления снабжением. При этом основным механизмом повышения эффективности функционирования ЦПС являются минимизация совокупных логистических издержек, достижение максимальной прибыли или минимальных затрат отдельных звеньев при соблюдении принципа 'just-in-time' [3].

Цель статьи состоит в исследовании возможности представления полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину в форме сетевой модели, которая давала бы возможность анализа эффективности бизнес-процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям.

Основная часть

В отличие от классической сетевой модели управления, сетевая модель ЦПС имеет ряд особенностей:

- основными элементами цепи поставок являются звенья и материальные потоки;
- цели подсетей в составе ЦПС различаются;
- в сетевой модели ЦПС всегда присутствует центральное звено и подсети;

- для сетевой модели ЦПС отсутствует понятие «критический путь»;
- поставки одной подсети рамках одной ЦПС относительно независимы от поставок другой подсети.

Сетевая модель ЦПС является по своей сути дескриптивной, исходя из этого, представляется целесообразным применение для анализа функционирования ЦПС ее описание в форме сети Петри. В общем случае сеть Петри (СП) [4] представляет собой двудольный ориентированный мультиграф

$$S = (P, T, M_0, A^i, A^o),$$

где P – множество вершин типа «Позиция»; T – множество вершин типа «Переход»; M_0 – вектор начального маркирования; A^i, A^o – матрицы инцидентности, задающие, соответственно, входы и выходы дуг из вершин СП.

Наиболее часто при разработке моделей реальных объектов в форме СП, вершины типа «Позиция» интерпретируются как условия начала либо окончания какого-либо бизнес-процесса, о наличии таких условий свидетельствует маркер в позиции; позиции же типа «Переход» интерпретируются как те или иные бизнес-процессы. Динамика функционирования цепи поставок отражается перемещением маркеров по СП. На рис. 1 представлены результаты моделирования процесса формирования подсети ЦПС «Поставки свежих фруктов на переработку» в виде одной и той же СП, отражающей готовность к поставкам свежих фруктов на переработку, в первом случае (1а), первым и четвертым поставщиками, о чем свидетельствует наличие маркеров в позициях P_1 и P_4 , в во втором случае (1б) – третьим и четвертым поставщиками. При этом переходы $T_1 - T_4$ интерпретируются как процессы перевозки сырья (свежих фруктов) на склад одного из двух перерабатывающих предприятий, а переходы T_5 и T_6 отражают процессы складирования. Таким образом, с помощью начальной маркировки СП имеется возможность моделировать процессы формирования маршрутов доставки и других бизнес-процессов ЦПС.

Главным недостатком аппарата СП как модели формирования цепей поставок является изначально низкая мощность представления классических, «безопасных» СП (Safety Petri Nets) при максимальной мощности разрешения. Под мощностью представления здесь понимается наличие средств отражения базовых (пространство, время и причинность) и производных от них категорий окружающего мира. Мощность разрешения свидетельствует о возможностях анализа СП как графовых структур на наличие в них активности, достижимости, покрываемости, а также тупиков и закливаний (dead locks) [4].

При моделировании сетью Петри процесса функционирования ЦПС, с соблюдением принципа «just-in-time», принципиальным моментом является отражение временных зависимостей между отдельными бизнес-процессами. Однако на практике, повышение мощности представления СП путем так называемого расширения (временные, раскрашен-

ные, стохастические СП) неизбежно ведет к снижению их мощности разрешения, а следовательно, и к ограничению возможностей по оценке качества бизнес-процессов в ЦПС на предмет их полноты и непротиворечивости.

Процесс создания, развертывания и поддержки функционирования ЦПС может быть адекватно представлен в виде иерархической двухуровневой вложенной сети Петри (ВСП) [5]:

$$IPN = \langle SN^{(1)}, EN_1^{(2)}, \dots, EN_m^{(2)} \rangle,$$

где $SN^{(1)}$ – системная сеть, моделирующая процесс; $\{EN_i^{(2)}\}$ – множество элементарных сетей Петри, каждая из которых моделирует процессы сбора свежих фруктов, производства и упаковки готовой продукции (рис. 1).

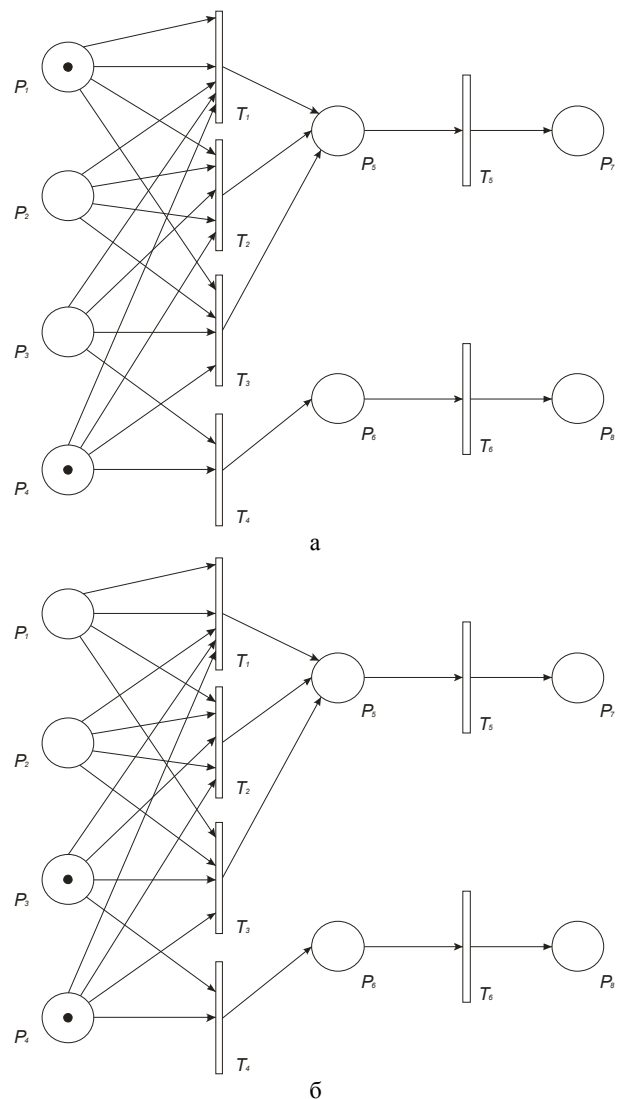


Рис. 1. СП, моделирующая подсеть ЦПС «Поставки свежих фруктов на переработку»

Сетевая модель ЦПС (рис. 2, табл. 1, 2) в данном случае представляет собой кортеж:

$$IPN = \langle N, C, W, G, \Omega, M_0 \rangle,$$

где $N = (P, T, F)$ – конечная сеть с множеством позиций P , множеством переходов T_i , отношением инцидентности F ; $C : P \rightarrow \Omega$ – функция раскраски позиций, ставящая в соответствие каждой позиции $p \in P$ ее цвет; W – функция, которая приписывает дугам сети N выражений типа

$$((p, t), (t', p')) \in F : (Type(W(p, t)) = M(C(p))) \vee (Type(W(t', p')) = M(C(p'))),$$

где $G : T \rightarrow L$ – функция, которая каждому переходу $t \in T$ ставит в соответствие некоторые логические выражения, отражающие соответствующее событие; C – функция, которая каждой позиции $p \in P$ ставит в соответствие следующее выражение:

$$\forall p \in P : (Type(M_0(p)) = M(C(p))).$$

Функция M определяет начальную разметку ВСП. Начальная разметка ВСП, включая определение цвета маркеров, отображает конкретную производственную ситуацию, обусловленную фактом наличия на складе предприятия готовой продукции.

Поскольку двухуровневые ВСП по своей природе имеют иерархическую структуру, с такими моделями производственных ситуаций в процессе моделирования ЦПС могут быть однозначно сопоставлены онтологические структуры, на основе которых целесообразно построить базу прецедентов при решении задач, возникающих при развертывании полной ЦПС.

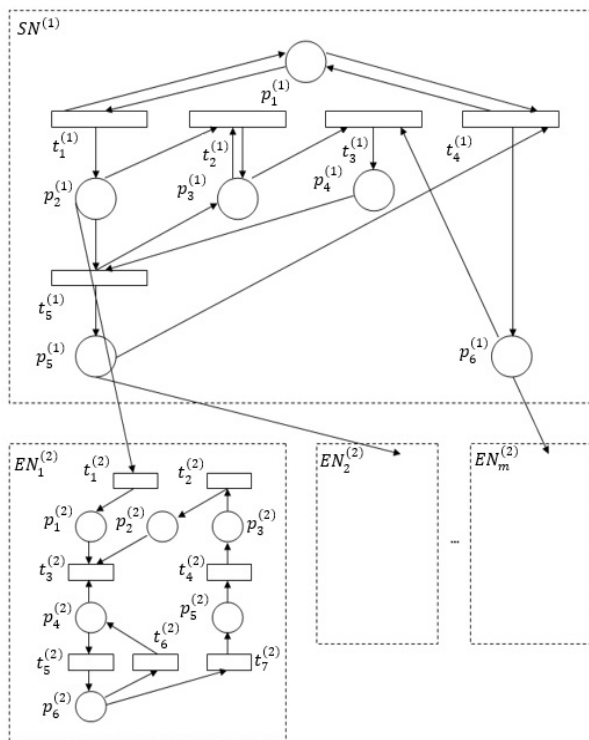


Рис. 2. Структура сетевой модели ЦПС в форме ВСП

Таблица 1. Интерпретация событий при функционировании ЦПС переходами ВСП

Условия	Содержание условий
$p_1^{(1)}$	Наличие у поставщиков производственной базы установлено
$P_2^{(1)}$	Наличие на складе поставщика достаточного количества данного вида продукции установлено
$P_3^{(1)}$	Отсутствие варианта замены поставщика установлено
$P_4^{(1)}$	Необходимый объем продукции на складе поставщика установлен
$P_5^{(1)}$	Уведомление о необходимости заказа определенного вида продукции отправлено
$P_6^{(1)}$	Заказ для m-го вида продукции оформлен
$p_1^{(2)}$ - $p_6^{(2)}$	Условия заключения договоров на поставки конкретных видов продукции

Таблица 2. Интерпретация условий в сетевой модели, которые привели к наступлению событий при функционировании

События	Суть событий
$t_1^{(1)}$	Прибытие партии продукции от внешнего поставщика на склад фокусной компании
$t_2^{(1)}$	Анализ причин срыва поставок продукции в прошлом
$t_3^{(1)}$	Определение необходимого объема продукции на складе фокусной компании
$t_4^{(1)}$	Заказ партии продукции у внешних поставщиков
$t_5^{(1)}$	Уведомление менеджменту фокусной компании об отсутствии на складе необходимого количества конкретного вида продукции
$t_1^{(2)}$ - $t_6^{(2)}$	Перечень действий, предусмотренных таможенным законодательством при организации поставок импортной продукции

Выводы

Анализ особенностей построения и функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину дал возможность обосновать выбор в качестве средства моделирования математический аппарат вложенных сетей Петри. Показана необходимость расширения аппарата безопасных СП, путем введения средств моделирования временных зависимостей между бизнес-процессами в рамках ЦПС, для оптимизации цепи с соблюдением принципа ‘just-in-time’, а также применения аппарата вложенных сетей Петри для отражения иерархичности структуры ЦПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сток, Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Джеймс Р. Сток, Дуглас М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 831 с.
2. Бауэрсокс, Д.Дж., Клосс, Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: ЗАО Олимп-Бизнес, 2008. – 640 с.

3. Рахими Яшар. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину / Рахими Яшар // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон, – Москва : Мир, 1984. – 264 с.
5. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой / И.А. Ломазова. – М.: Научный мир, 2004. – 208 с.
6. Рахими Я. Разработка экспертной системы для выбора рационального маршрута транспортировки сухофруктов в Украину / Я. Рахими, Е. И. Феоктистова // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 85-88. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.14>

REFERENCES

1. Stoke, J. R. and Douglas M. Lambert (2005), Strategic Logistics Management, INFRA-M, Moscow, 831 p
2. Bowersox, D.J. and Kloss, D.J. (2008), Logistics: integrated supply chain, Olymp-Business, Moscow, 640 p.
3. Rahimi Yashar (2017), "Knowledge-oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistic chain of dried fruit supply chains to Ukraine", *Control Systems, Navigation and Communication*, No. 6 (46), pp. 197-201.
4. Peterson, J. (1984), Theory of Petri nets and system modeling, Mir, Moscow, 264 p.
5. Lomazova I.A. (2004), Embedded Petri nets: modeling and analysis of distributed systems with an object structure, Nauchnyi mir, Moscow, 208 p.
6. Rakhimi Ya. and Feoktistova E.I. (2018), Developing an expert system for choosing a rational route for transporting dried fruit to Ukraine, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, P. 85-88. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.14>

Received (Надійшла) 12.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Моделирование полного логистического ланцюга поставок сухофруктів в Україні з використанням вкладених мереж Петрі

I. B. Shostak, Ya. Rahimi

Мета статті полягає в дослідженні можливості подання повної логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну в формі мережевої моделі, яка давала б можливість аналізу ефективності бізнес процесів в ланцюзі за рахунок зниження фінансових і тимчасових витрат, зокрема, забезпечення своєчасної доставки сухофруктів для реалізації українським споживачам. **Результати.** Розглянуто питання, пов'язані з розробкою адекватних мережевих моделей процесів створення, розгортання та підтримки функціонування повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЦПС) в Україні. Показано, що при створенні і функціонуванні ЦПС, в порівнянні з іншими системами класу SCM, виникає ряд специфічних проблем, зумовлених складністю взаємодії постачальників сировини (свіжих фруктів), підприємств-виробників кінцевої продукції (сушіння, упакування), складських терміналів, дистриб'юторів, 3PL і 4PL-провайдерів (роздрібних торговців). Розглянуто модель повної ЦПС в формі мережі Петрі (СП) і запропонована інтерпретація бізнес-процесів в ланцюзі елементами СП. Показано недоліки класичних, безпечних СП як інструменту моделювання ЦПС. **Висновки.** Зроблено висновок про необхідність розширення, часом мережевий моделі ЦПС для дотримання принципу 'just-in-time' при моделюванні бізнес процесів, а також відображення ієрархичності, спочатку присухою структурі ЦПС. Запропоновано використовувати для синтезу мережевий моделі ЦПС вкладені мережі Петрі (ВСП). При цьому мережева модель функціонування ЦПС в формі ВСП включає об'єкти двох типів - центральна ланка, що відображає діяльність фокусної компанії з переробки вихідної сировини (сухофруктів), і ряд підмереж, що моделюють діяльність постачальників сировини і реалізаторів готової продукції.

Ключові слова: поставки сухофруктів; повна логістичний ланцюг поставок; фокусна компанія; моделювання бізнес процесів; вкладена мережа Петрі; мінімізація логістичних витрат.

Modeling of the complete logistic chain of supplies of dried fruits to Ukraine with the use of nested Petri nets

I. Shostak, Ya. Rahimi

The purpose of the article is to study the possibility of presenting the full logistic supply chain of dry branches to Ukraine in the form of a network model that would enable analysis of the effectiveness of business processes in the chain by reducing financial and time costs, in particular, ensuring timely delivery of dry fruits for implementation Ukrainian consumers. **Results.** The issues related to the development of adequate network models of the processes of creating, deploying and supporting the functioning of the full logistics supply chain of dried fruits (SCDF) in Ukraine are considered. It is shown that the creation and operation of the SCDF, compared with other SCM class systems, raises a number of specific problems caused by the complexity of the interaction of raw material suppliers (fresh fruit), manufacturers of final products (drying, packaging), storage terminals, distributors, 3PL and 4PL providers (retailers). A model of a complete SCDF in the form of a Petri net (PN) is considered and the interpretation of business processes in a chain by elements of a PN is proposed. The drawbacks of the classic, safe PN as a tool for modeling SCDF has shown. The conclusion was made about the need for expansion, the time of the network model of the SCDF in order to comply with the 'just-in-time' principle in modeling business processes, as well as reflecting the hierarchy that is inherent in the structure of the SCDF. **Conclusions.** It had proposed to use nested Petri nets (NPN) for the synthesis of the network model of the SCDF. At the same time, the network model of SCDF functioning in the form of a NPN includes two types of objects - the central link reflecting the activities of the focusing company on processing raw materials (dried fruits), and a number of subnets that simulate the activities of raw material suppliers and distributors of finished products.

Keywords: dried fruit supply; full logistics supply chain; focus company; business process modeling; embedded Petri net; minimization of logistic costs.