

Я. Рахими

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

РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТОВ В РЕЖИМЕ «JUST-IN-TIME»

Цель статьи. Разработка комплексной информационной модели полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину. **Результаты.** Рассмотрены вопросы, связанные с моделированием процессов создания, развертывания и поддержки функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину. Проведен анализ бизнес процессов, имеющих место в ЦПС, который показал, что по сравнению с другими системами класса SCM, создание ЦПС порождает ряд специфических проблем, поскольку такие цепи представляют собой сложные социо-техничко-экономические системы, состоящую из множества поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров (розничных торговцев). В ходе анализа показано также, что управление ЦПС невозможно без проведения их анализа на различных уровнях – стратегическом, тактическом и оперативном; для проведения такого анализа предложено использовать сетевую модель, включающую 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. Рассмотрена модель полной ЦПС в форме сети Петри (СП) и предложена интерпретация бизнес процессов в цепи элементами СП. Перечислены особенности, отличающие модель ЦПС от классической сетевой модели. Приведена содержательная и формальная постановки задачи минимизации логистических издержек при функционировании ЦПС. Сделан вывод о необходимости расширения временем сетевой модели ЦПС для соблюдения принципа ‘just-in-time’ при моделировании бизнес процессов.

Ключевые слова: поставки сухофруктов; логистическая система; цепи поставок; моделирование бизнес процессов; сеть Петри; минимизация логистических издержек.

Введение

В современных условиях экономика Украины ориентирована, преимущественно, на увеличение объема импорта и развитие розничной торговли. Это обстоятельство определяет необходимость совершенствования логистических методов управления, в том числе моделирования и анализа цепей поставок в системах SCM поставок продуктов питания.

Типичным объектом рассматриваемого типа является цепь поставок сухофруктов в Украину (ЦПС), которая представляет собой сложную социо-техничко-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.

Для моделирования и анализа функционирования ЦПС к настоящему времени разработано множество различных моделей и методов, выбор кон-

кретных средств зависит от факторов, описывающих динамичность функционирования конкретного варианта реализации цепи [1].

Концепция SCM [2] предполагает комплексное представление процессов, начиная от производства сырья (свежих фруктов) и охватывающих всех поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц.

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 разработке комплексной информационной модели, в форме сети, полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, для решения на ее основе задач оптимизации функционирования ЦПС в режиме ‘just-in-time’. Применение такой модели при создании прикладной информационной технологии поддержки функционирования ЦПС даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям.

Основная часть

Управление цепями поставок невозможно без проведения их анализа на различных уровнях – стратегическом, тактическом и оперативном.

На стратегическом уровне решаются задачи проектирования ЦПС и определение размеров объектов обслуживания с учетом международных, национальных и региональных особенностей развития транспортных систем. В составе ЦПС определяются основные терминалы, распределительные центры, консолидационные склады, между которыми осуществляются регулярные перевозки сырья и готовой продукции (главные маршруты). Другие объекты в ЦПС обслуживаются с помощью различных, подчиненных, маршрутов перевозок.

На основе прогнозирования спроса решаются задачи приобретения и распределения на сети обслуживания с учетом срочности поставок, номенклатуры поставляемого сырья и распределения готовой продукции, сезонности производства и сбыта товаров пищевой промышленности, уровня транспортных расходов в цепях поставок. На основе последних решается задача определения тарифов на транспортные услуги с учетом соотношения «цена/качество» и динамики использования подвижного состава.

На тактическом уровне транспортно-логистического обслуживания осуществляется корректировка планов перевозок грузов с учетом Bullwhip-эффекта, неравномерности спроса, наличия подвижного состава в узлах цепей поставок. На данном этапе на основе выбранной стратегии распределения продукции по каналам сбыта производится календарное планирование доставки продукции сухофруктов основными и подчиненными маршрутами с учетом периодичности обслуживания, вместимости складов и терминалов, совместимости перевозимой продукции.

Дополнительно определяется политика терминального и складского обслуживания, направленная на повышение эффективности данных процессов, а именно сокращения времени хранения на складе и погрузки на транспорт (разгрузки с транспорта), использования кросс-докинга, совмещение транспортно-складских операций. На этом же уровне решается комплекс задач, связанных с прогнозированием возможного изменения спроса, расширения рынка сбыта и т.п.

На оперативном уровне решаются задачи на очередные сутки, связанные с назначением экипажей водителей для выполнения перевозок грузов с учетом продолжительности рейса, использованием транспортных средств различной грузоподъемности с целью доставки продукции пищевой промышленности различной массы, формы с максимальной сохранностью, оперативностью и минимальной стоимостью перевозок.

На основе выбранной структуры подвижного состава для организации перевозок грузов в рамках ЦПС разрабатываются маршруты и графики работы транспортных средств, учитывающие ограничения в

проезде в городских условиях, требуемое время доставки, срочность и периодичность поставок, необходимость доставки продукции от нескольких поставщиков и т.д.

На завершающем этапе формирования ЦПС производится выбор способов взаимодействия транспортных средств в узлах цепи, динамическое распределение ресурсов, корректировка маршрутов, графиков, способов взаимодействия в режиме реального времени с учетом изменений внешней среды, динамики обработки данных, выбора приоритетов обслуживания и интересов участников ЦПС.

При построении моделей цепей поставок могут быть использованы методы сетевого управления [4, 5].

На рис. 1 представлена структура типичной ЦПС. В ней центральным элементом является так называемая фокусная компания.

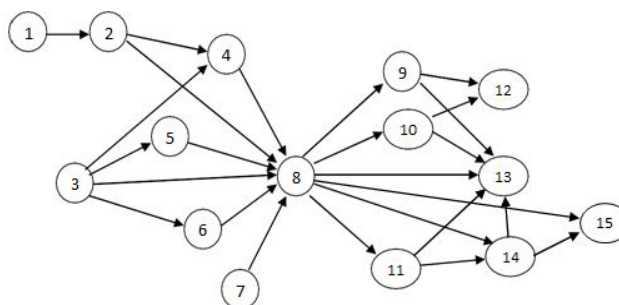


Рис. 1. Сетевая модель типичной ЦПС

В приведенной гипотетической цепи фокусная компания (узел №8) получает материальные ресурсы от трех поставщиков (узлы № 1, 3, 7). Причем первый поставщик работает через посредников, третий поставщик работает через посредников и напрямую, седьмой поставщик осуществляет прямые поставки. Для сбыта сухофруктов фокусная компания (узел № 8) использует как прямой, так и косвенные каналы. Узлы №№ 9, 10, 11 и 14 отражают сбытовых посредников, а узлы № 12, 13 и 15 – розничных продавцов.

При анализе функционирования цепей поставок с помощью сетевых моделей базовыми являются понятия «центральное звено» сети и «подсеть». *Центральное звено сети* – это фокусная компания. *Подсеть* – часть сети, совокупность связанных звеньев. Выделим в сети левую и правую подсети. Левую подсеть образуют центральное звено и все звенья, которые участвуют в поставках сырья (в первую очередь, свежих фруктов) фокусной компании. Правую подсеть образуют центральное звено, сбытовые посредники и розничные продавцы.

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.

Представленная 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) [6] 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. 2 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 зацикливаний (dead locks) [6].

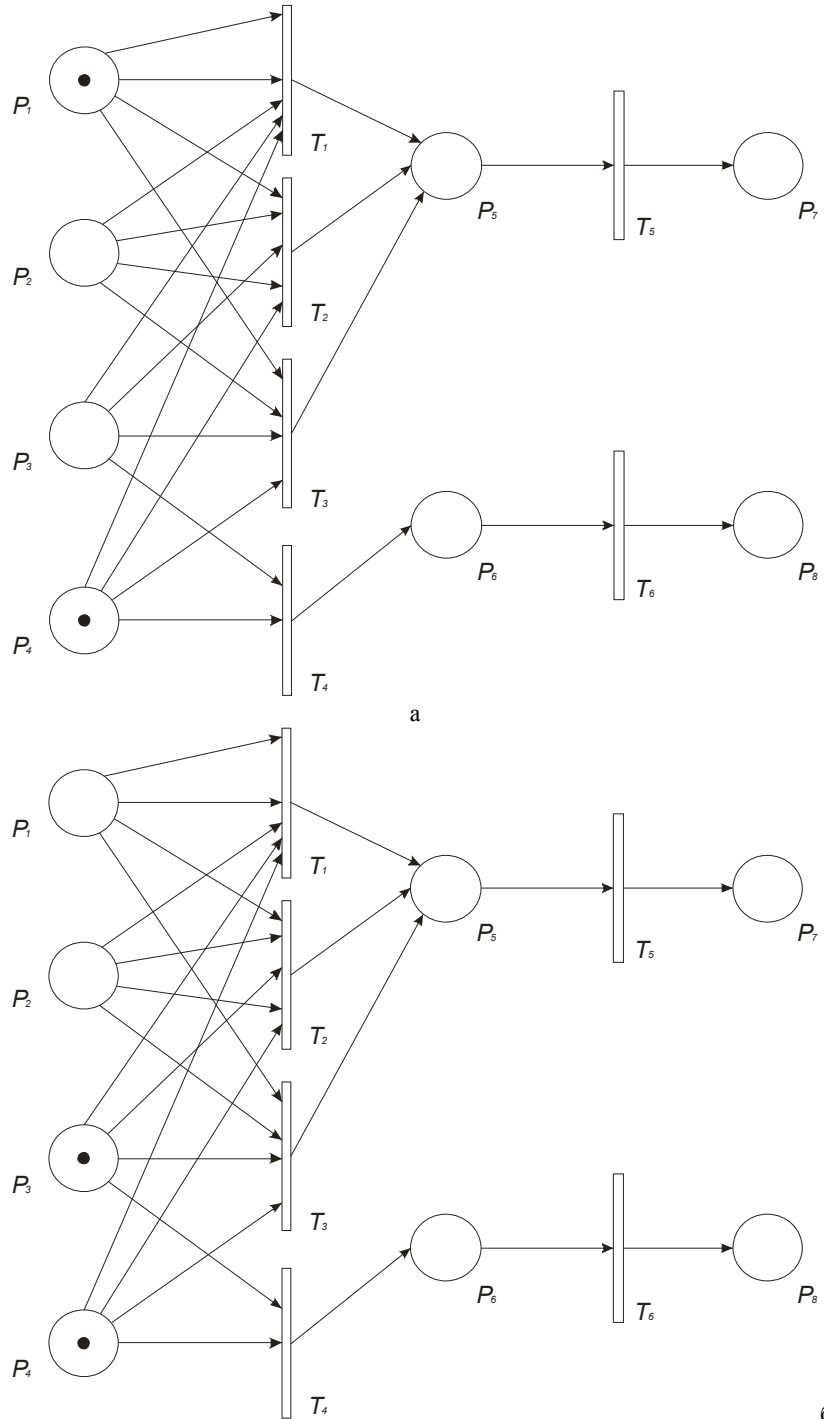


Рис. 2. СП, моделирующая подсеть ЦПС «Поставки свежих фруктов на переработку»

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 сети Петри путем так называемого расширения (временные, раскрашенные, стохастические сети Петри) 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.

Создание эффективной ЦПС предполагает решение комплекса задач, связанных с минимизацией логистических издержек как для фокусной компании, так и для других участников логистической цепи.

Для формализации рассматриваемой задачи отдельно рассмотрим плановые показатели закупок, продаж, издержек для левой и для правой подсетей цепи поставок. Величину производственной программы фокусной компании приравняем к плану реализации сухофруктов розничными продавцами. Допустим, что сырье (свежие фрукты) закупается, а реализуемые товары (сухофрукты), продаются по стабильным ценам.

Плановая потребность фокусной компании в закупках сырья:

$$M_l = \sum_{i=1}^m (R_{li} \cdot Q_i),$$

где R_{li} – норма расхода l -го вида сырья на производство i -го вида продукции;

m – номенклатура продукции фокусной компании, перемещаемой в рамках логистической цепи;

Q_i – объем продукции, необходимый для выполнения фокусной компанией производственной программы.

Плановый объем продукции, производимой фокусной компанией, определяется на основе плана производства (продаж) с учетом комплекса факторов, определяющих текущий и перспективный спрос на продукцию:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n (P_j \cdot k_{ij}),$$

где P_j – план производства (продаж) j -го изделия;

k_{ij} – применяемость i -й детали в j -м изделии;

n – количество номенклатурных позиций товаров.

Логистические издержки, связанные с закупками сырья (затраты левой подсети цепи поставок):

$$Z_1 = \sum_{p=1}^u \sum_{i=1}^t z_{ip},$$

где Z_{ip} – издержки доставки l -го вида свежих фруктов от p -го поставщика; u – число поставщиков;

t – номенклатура поставляемого сырья.

План продаж определяется на основе маркетинговых исследований целевых рыночных сегментов:

$$P_j = \sum_{k=1}^s P_{jk},$$

где P_{jk} – план продаж j -го изделия k -му сегменту;

s – количество сегментов.

Логистические издержки, связанные с реализацией сухофруктов (затраты в правой подсети):

$$Z_2 = \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n z_{jk},$$

где Z_{jk} – затраты доставки j -го товара k -му сегменту.

Целевая функция, предполагающая минимизацию общих логистических издержек фокусной компании, связанных с закупками и сбытом:

$$Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min.$$

Решением этой задачи является выбор поставщиков сырья (свежих фруктов) и объемов этих поставок, а также выбор звеньев сбытовой сети и распределение между ними партий сухофруктов.

Рассмотренная задача может быть решена с применением сетевой модели ЦПС, представленной в форме расширенной СП. При этом для соблюдения принципа «just-in-time» принципиально важно расширение СП в аспекте учета временных зависимостей.

Выводы

Анализ особенностей построения и функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину дал возможность обосновать выбор в качестве средства моделирования математический аппарат сетей Петри. Разработан вариант сетевой модели ЦПС и выполнен сравнительный анализ этой модели с традиционной сетевой моделью. В общем виде приведена математическая модель задачи минимизации логистических издержек для центрального звена цепи – фокусного предприятия. Показана необходимость расширения аппарата безопасных СП, путем введения средств отражения временных зависимостей между бизнес-процессами в рамках ЦПС, для оптимизации цепи с соблюдением принципа «just-in-time».

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. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. / Дж. Д. Бауэрсокс, Дж. Д. Клосс. – 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 / Яшар Рахими // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.
4. Crainic T. G. Bundle-Based Relaxation Methods for Multicommodity Capacitated Network Design / T. G. Crainic, A. Frangioni, B. Gendron // Discrete Applied Mathematics. – 2001. – 112. – P. 73-99.
5. Crainic, T. G. Tools for Tactical Freight Transportation Planning / T.G. Crainic, J. O.R. Roy // European Journal of Oper. Res. – 1988. – 33 (3). – P. 290-297.
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

REFERENCES

1. Stock, J.R. and Lambert, D.M. (2005), *Strategic Logistics Management*, INFRA-M, Moscow, 831 p.
2. Bowersox, D.J. and Closs, D.J. (2008), *Logistics: an integrated supply chain*, ZAO Olimp-Business, Moscow, 640 p.
3. Rahimi, Yashar (2017), "Knowledge of an oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistic chain of supply of dried fruits to Ukraine", *Systems of control, navigation and communication*, 6 (46), pp. 197-201.
4. Crainic, T.G., Frangioni, A. and Gendron, B. (2001), "Bundle-Based Relaxation Methods for Multicommodity Capacitated Network Design", *Discrete Applied Mathematics*, 112, pp. 73-99.
5. Crainic, T.G. and Roy, J.O.R. (1988), "Tools for Tactical Freight Transportation Planning", *European Journal of Oper. Res.*, 33 (3), pp. 290-297.
6. Peterson, J. (1984), *Petri nets theory and systems modelling*, Mir, Moscow, 264 p.

Received (Надійшла) 28.02.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.04.2018

Розробка мережевої моделі для оптимізації функціонування логістичної цепи поставок сухофруктів в режимі «just-in-time»

Я. Рахімі

Мета статті. Розробка комплексної інформаційної моделі повної логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну. **Результати.** Розглянуто питання, пов'язані з моделюванням процесів створення, розгортання та підтримки функціонування повної логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЛПС) в Україні. Проведено аналіз бізнес процесів, що мають місце в ЛПС, який показав, що в порівнянні з іншими системами класу SCM, створення ЛПС породжує ряд специфічних проблем, оскільки такі ланцюга є складні соціо-техніко-економічні системи, що складається з безлічі постачальників сировини (свіжих фруктів), підприємств-виробників кінцевої продукції (сушіння, упакування), складських терміналів, дистриб'юторів, 3PL і 4PL-провайдерів (роздрібних торговців). В ході аналізу показано також, що управління ЛПС неможливо без проведення їх аналізу на різних рівнях - стратегічному, тактичному і оперативному; для проведення такого аналізу запропоновано використовувати мережеву модель, що 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. Розглянуто модель повної ЛПС в формі мережі Петрі (СП) і запропонована інтерпретація бізнес процесів в ланцюзі елементами СП. Перераховано особливості, що відрізняють модель ЛПС від класичної мережевої моделі. Наведено змістовна і формальна постановки задачі мінімізації логістичних витрат при функціонуванні ЛПС. Зроблено висновок про необхідність розширення часом мережевої моделі ЛПС для дотримання принципу 'just-in-time' при моделюванні бізнес процесів.

Ключові слова: поставки сухофруктів; логістична система; ланцюги поставок; моделювання бізнес процесів; мережа Петрі; мінімізація логістичних витрат.

Development of the network model for optimizing the dried fruit supply chain in the "just-in-time" mode

Ya. Rahimi

Purpose of the article. Development of a comprehensive information model of the complete logistics chain of supplies of dried fruits to Ukraine. **Results.** The paper deals with modeling of a complete supply chain of dried fruit (DFSC) to Ukraine, with the focus on its creation, deployment and functioning. The analysis of the business processes running within the DFSC has shown that unlike other SCM systems, the creation of DFSC has a number of specific problems. This is due to the fact that these chains are complex socio-technical and economic systems consisting of numerous suppliers of raw materials (fresh fruit), manufacturers of final products (drying, packaging), warehouse terminals, distributors, 3PL and 4PL-providers (retailers). The research has shown that to manage the DFSC properly one needs to analyze its various levels, namely the strategic, tactical and operational ones. An efficient solution for this purpose is a network model that uses objects of two types. The first one includes a central link reflecting the activities of the focal company, processing raw materials (dried fruit). The other one includes a number of sub-networks, modeling the activity of raw material suppliers and finished product retailers. Thus, a model of a complete DFSC has been considered as a Petri net (PN), with its business processes interpreted using the PN elements. The paper also specifies the features distinguishing the DFSC model from a classical network model. The conceptual and formal challenge of the research conducted is to minimize the logistics costs of DFSC functioning. To conclude, it is necessary to extend the time limit in the network model of the DFSC in order to comply with the 'just-in-time' principle, when modeling business processes.

Keywords: dried fruit supply chain; logistics system, supply chain; business process modeling; Petri net; logistics costs minimization.