

## 8. MATHEMATICAL METHODS IN ECONOMY

**Huliashina V.**

postgraduate

*Belarus state economic university, Republic of Belarus*

### APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN THE CONSTRUCTION LOGISTIC CHAINS

**Гулягина О. С.**

аспирант

*УО «Белорусский государственный экономический университет», РБ*

### ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

*The article deals with the rationalization of the supply chain of chemical products, the formation of an optimum combination of its links, and the best allocation of functions between them. A method of modeling the logistics supply chain material flow of chemical products in the region based on Petri net is developed.*

**Keywords:** *Mathematical modeling, logistic chains*

*В статье рассматриваются вопросы рационализации цепей поставок химической продукции, формирования оптимального сочетания ее звеньев и наилучшего распределения функций между ними. Предложена методика моделирования логистической цепи поставок материального потока химической продукции в регионе на базе сети Петри.*

**Ключевые слова:** *математическое моделирование, логистические цепи*

Построение эффективных логистических цепей сегодня становится одним из мощных драйверов, как развития отрасли, так и экономического роста страны. В рамках таких цепей осуществляются операции не только по управлению движением материального потока, но и поддержка рационального уровня запасов, управление складированием, планирование производства товара, оказание сервиса и другие. Существующие методы управления уже не в состоянии решать сложные задачи рационализации хозяйственных связей традиционными способами. На помощь приходят экономико-математические модели, которые учитывают распределительный характер логистических цепей, адекватны таким цепям и позволяют описывать их, анализировать их поведение в терминах одновременно возникающих событий и параллельно развивающихся процессов.

Рационализация цепей поставок химической продукции, формирование оптимального сочетания ее звеньев и наилучшее распределение обязанностей между звеньями может обеспечить такая математическая модель как сети Петри.

Понятие сетей Петри было впервые введено в 1962г. Карлам Адамом Петри для описания асинхронных алгоритмов, моделирования поведения параллельных вычислительных и коммуникационных систем, а также сетевых протоколов. Сети Петри предназначены для моделирования систем, которые состоят из множества взаимодействующих друг с другом компонентов. При этом компонента сама может быть системой. Следовательно, аппарат сетей Петри может быть использован при моделировании альтернативных бизнес-процессов на предприятии, а также в построении цепи взаимосвязанных организаций, участвующих в производстве и продвижении какого-либо продукта, т. е. в построении цепи поставок.

Основными преимуществами использования сетей Петри при моделировании логистических цепей заключается в следующем:

- 1) процесс или объект, определенный в терминах сетей Петри, имеет ясное и четкое представление;
- 2) наглядность графика построения сети, благодаря которой все ее определения и алгоритмы легко воспринимаются;

3) возможность использования множества методов анализа.

Заметим, что некоторые специалисты предпринимали отдельные попытки использования сети Петри для моделирования логистической системы. Сети Петри были применены в разработке механизма управления транспортными потоками в рамках городской логистики. По мнению его авторов В. К. Губенко и А. А. Лямзина сети Петри позволяют формализовано описать транспортную систему, с учетом особенностей транспортных потоков, а также разрабатывать алгоритмы решения задач управления эффективной деятельностью муниципального транспорта [1]. В статье С. Костиной «Опыт применения сетей Петри для исследования логистических систем» [2] создана и исследована имитационная модель основной логистической сети промышленной фирмы. Как отмечает автор, созданная Петри-сетевая модель «позволяет количественно оценивать поведение логистической системы при варьировании ее разнообразных параметров» [2, с. 21]. Однако построенная модель не дает возможности реструктуризации цепи, так как оценка ведется уже смоделированной логистической цепи.

В результате проведенного автором исследования была разработана методика моделирования логистической цепи поставок, которая позволяет строить новые и оптимизировать существующие цепи поставок продукции, обосновывая их максимальную выгодность для предприятия и всей цепи. Данная методика предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Моделирования цепи поставок и построение сети Петри;
2. Проверка корректности сети Петри (выполнение основных свойств сети) на основе ленты достижимости (дерева достижимости);
3. Преобразование построенной и проверенной на корректность сети Петри в схему логистической цепи.
4. Оценка параметров оптимальной логистической цепи и ее эффективности.

На первом этапе происходит построение сети Петри для выбранного материального потока с определением всех ее звеньев и их очередности. На втором этапе проводится проверка корректности построения сети Петри на основе ленты достижимости – линейной формы представления множества состояний сети, достижимых из ее начального состояния. Результатом построения ленты достижимости является определение конечных цепей поставок с учетом вариантности принятия решений на различных этапах сети. На третьем этапе происходит преобразование построенной сети Петри в схему логистической цепи. На четвертом этапе – оценка основных параметров выбранной логистической цепи и определение ее эффективности.

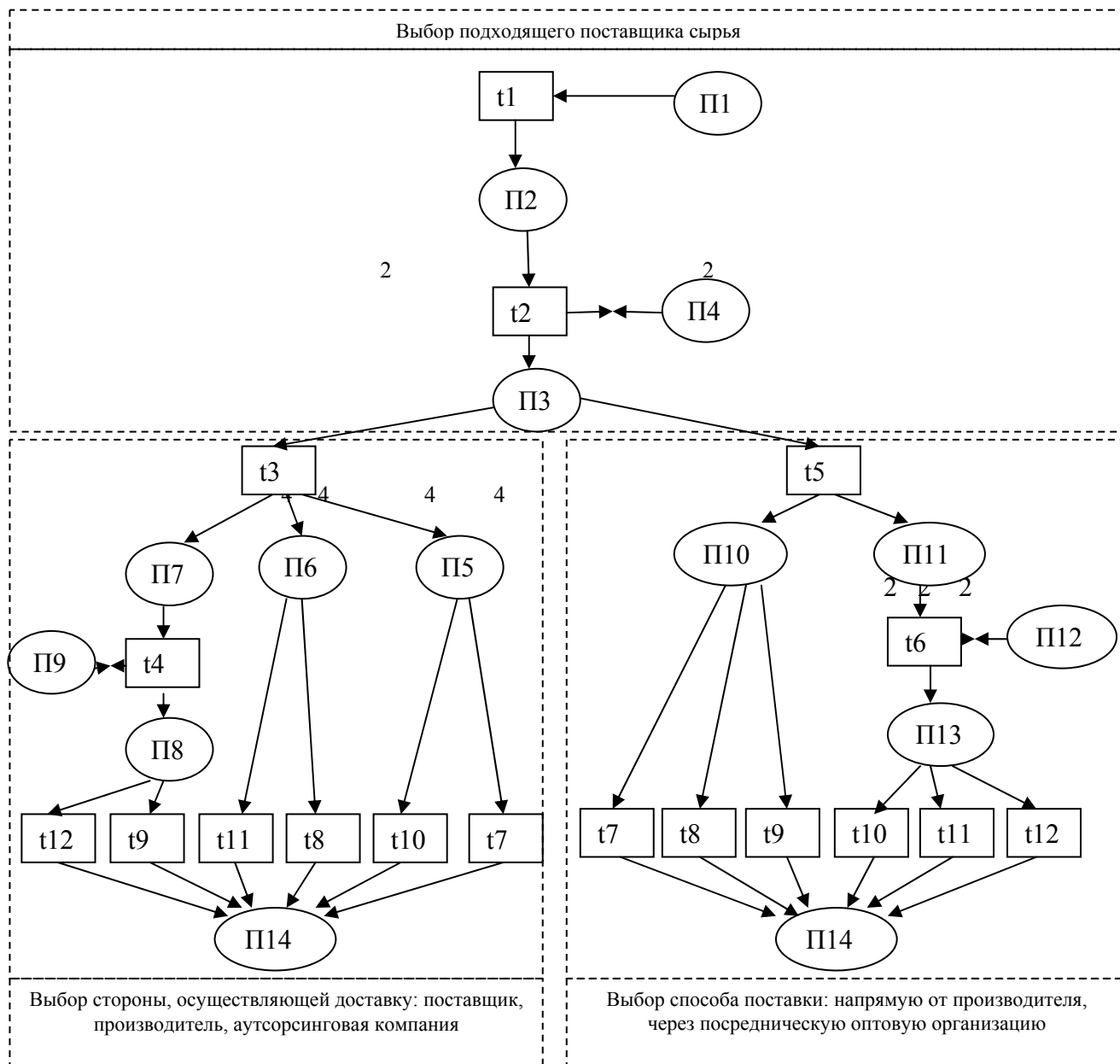
Для апробации представленной методики построим логистическую цепь полиэтилена высокого давления в части закупочной деятельности. В проектируемой цепи производитель полиэтилена – завод «Полимир» ОАО «Нафтан» - является фокусной организацией, следовательно, цепь строится с учетом его пожеланий и ограничений.

На рис. 1 приведена построенная сеть Петри цепи поставок сырья и материалов для производства полиэтилена высокого давления.

Представленная сеть предусматривает выбор трех способов доставки: силами поставщика, предприятия-производителя или при участии аутсорсинговой компании. Кроме того, сеть предполагает вероятность транзитной или же складской поставки, т. е. напрямую от предприятия-производителя или же при участии оптового посредника.

Выбор осуществляется под воздействием изменяющихся условий материального потока, а также характеристик участников цепи, таких как: объем поставки; максимальная граница допустимой цены; маршрут доставки; наличие собственного транспорта у одного из контрагентов; стоимость доставки с услугами страхования и экспедирования; время доставки. Среди указанных условий выделяют основные, такие как объем поставки сырья и готовой продукции, которые влияют на выбор способа транспортировки, а, следовательно, и на выбор контрагента, осуществляющего поставку. Чем больше объем поставки, тем выше вероятность привлечения более дешевых видов транспортировки: железнодорожным или

морским транспортом. Еще одна важная характеристика – это наличие либо отсутствие у одной из сторон собственного транспорта, что также влияет на выбор стороны, осуществляющей поставку.



**Рис. 1. Сеть Петри цепи поставок сырья и материалов для производства полиэтилена высокого давления**

П1 – выбран продукт для построения ЦП; П2 – составлен список возможных поставщиков сырья и материалов; П3 – рассмотренный поставщик соответствует всем требованиям фокусной организации и выбран в качестве контрагента; П4 – рассмотренный поставщик не соответствует всем требованиям фокусной организации; П5 – доставку сырья и материалов производит поставщик (оптовая организация); П6 – доставку сырья и материалов производит фокусная организация; П7 – доставку сырья и материалов производит аутсорсинговая компания; П8 – рассмотренная аутсорсинговая компания соответствует требованиям фокусной организации и выбрана в качестве контрагента; П9 – рассмотренная аутсорсинговая компания не соответствует требованиям фокусной организации; П10 – принято решение о прямой поставке; П11 – принято решение о необходимости закупки через оптового посредника; П12 – рассмотренный оптовик не соответствует требованиям фокусной организации; П13 – рассмотренный оптовик соответствует требованиям фокусной организации и выбран в качестве контрагента; П14 – сырье (материалы) доставлено на склад фокусной организации; t1 – t12 – управляемые переходы в сети Петри.

Анализ полученных вариантов поведения сети Петри производился на основе ленты достижимости, имеющей линейную форму представления множества конечных состояний сети, достижимых из ее начального состояния (табл. 1).

Таблица 1

**Лента достижимости**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	S0-t1	S1-t2	S2-t3	S2-t3	S2-t3	S3-t5	S4-t5	S5-t5
П1	П2	П3	П5	П6	П7	П10	П10	П10
		П4			П8			
					П9			
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S6	S6
Окончание таблицы 2								
10	11	12	13	14	15	16	17	18
S3-t5	S4-t5	S5-t5	S3-S6-t7	S4-S6-t8	S5-S6-t9	S3-S7-t10	S4-S7-t11	S5-S7-t12
П11	П11	П11	П14	П14	П14	П14	П14	П14
П12	П12	П12						
П13	П13	П13						
S7	S7	S7	S8	S8	S8	S8	S8	S8

В результате проведенных расчетов было выявлено, что лента достижимости имеет 6 конечных результатов, отражающих 6 возможных вариантов логистической цепи закупок материальных ресурсов.

Анализ конечных состояний построенной сети показывает, что в ней отсутствуют некоторые тупиковые состояния, в которых не активирован ни один переход, а так же нет циклов без выхода. Таким образом, можно сделать вывод о том, что сеть построена корректно. Преобразуем построенную сеть Петри в схему логистической цепи на основе заполнения таблицы условий поставки (табл. 2) и расстановки меток в сети. Данные для заполнения получены в результате анализа закупочной деятельности завода «Полимир» ОАО «Нафтан».

Таблица 2

**Условия поставки сырья и материалов для производства полиэтилена высокого давления заводом «Полимир» ОАО «Нафтан»**

Значение потока		Условие	Эталонное значение		Метка
Показатель	Значение		Показатель	Значение	
Размер заказа, тонн	800	< или =	Производственная мощность поставщика сырья, тонн	1000	M3 и M13
Максимальная граница допустимой цены, руб. за ед.	80 000	>	Цена товара у поставщика сырья, руб за ед.	60 000	M3 и M13
Объем поставки сырья, тонн	80	<	Объем поставки сырья, тонн	60	M11
		> или =		60	M10
Маршрут доставки пролегает по морю	Нет	=	Маршрут доставки пролегает по морю	«Нет»	M5 и M6
Окончание таблицы 3					
У поставщика сырья есть собственный транспорт	Да	=	У поставщика сырья есть собственный транспорт	«Да»	M5
Стоимость доставки силами поставщика сырья, руб. за км	3200	< или =	Стоимость доставки силами поставщика сырья, руб. за км	4500	M5
Время доставки силами поставщика сырья, дней	2	< или =	Время доставки, оговоренное в договоре, дней	5	M5
У производителя есть собственный транспорт	Нет	=	У производителя есть собственный транспорт	«Да»	M6
Стоимость доставки силами производителя, руб. за км	-	< или =	Стоимость доставки силами производителя, руб. за км	4500	M6
Время доставки силами производителя	-	< или =	Время доставки, оговоренное в договоре, дней	5	M6
Время доставки силами аутсорсинговой компаний, дней	3	< или =	Время доставки, оговоренное в договоре, дней	5	M7
Стоимость доставки силами аутсорсинговой компании, руб. за км	5200	< или =	Стоимость доставки силами аутсорсинговой компании, руб. за км	4500	M8

В результате расстановки меток в построенной сети Петри по данным таблицы 3 «сработал» первый из возможных вариантов логистической цепи, т. е. требуемые материальные ресурсы закупаются напрямую у предприятия-производителя и доставляются силами производителя. Данная цепь поставок представлена двумя звеньями: производитель материальных ресурсов и фокусная организация, при этом обязательства по транспортировке продукции берет на себя производитель ресурсов. Предложенный вариант является наиболее оптимальным для организации с учетом ее внутренних возможностей и состояния внешней экономической среды. Поскольку рассматриваемое предприятие является крупным производителем химической продукции в регионе, то имеет финансовые возможности, а так же потребность закупать сырье крупными партиями непосредственно у производителя сырья, а его статус крупного предприятия химической отрасли дает возможность осуществлять поставку без участия аутсорсинговых компаний.

Таким образом, разработанная методика моделирования позволяет:

- выбрать из множества вариаций оптимальное с точки зрения скорости и стоимости доставки, а также надежности для конкретного материального потока и конкретного предприятия химической отрасли сочетание звеньев цепи поставок;
- распределить обязанности по доставке и сопровождению груза между звеньями цепи наиболее выгодным для фокусной организации образом;
- выявить «узкие места» в закупке сырья и дистрибуции продукции за счет интегрированного подхода к процессу моделирования всей логистической цепи.

#### Литература:

1. Губенко В. К. Городская логистика // В. К. Губенко, А. А. Лямзин // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2009. - №1. – с. 271 – 275.
2. Костина С. Опыт применения сетей Петри для исследования логистических систем // Информационные технологии. - №2. – 2012. – с. 18 – 21.

**Danilchuk H.B.**

Postgraduate

**Soloviev V.M.**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

*Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy, Ukraine*

## DYNAMICS OF GRAPH SPECTRAL ENTROPY IN FINANCIAL CRISIS

**Данильчук Г.Б.**

пошукач

**Соловйов В.М.**

д.ф.-м.н., професор

*Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна*

## ДИНАМІКА ЕНТРОПІЇ СПЕКТРУ ГРАФА В УМОВАХ ФІНАНСОВИХ КРИЗ

*The application of graph analysis methods to the topological organization of complex systems has been a useful tool in the characterization of complexity natures. We applied the concept of graph spectral entropy to quantify the complexity in the organization of financial networks. In this study, we used the graph's entropy measure to identify differences in the complexities of networks. We illustrate the usefulness and applicability of the proposed approach by comparing the complexity of stock markets networks between typical time periods and crisis contains time series data. Our approach offers deeper understanding of complex networked systems from observable data and has potential applications in predicting and controlling collective dynamics of stock markets in financial crisis.*

**Keywords:** Complex networks, graph spectral entropy, complexity measures, stock market, spectral gap, Shannon entropy

*Застосування методів аналізу графа до топологічної структури складних систем є сучасним інструментом при визначенні характеристик складності природи. Ми застосували концепцію ентропії спектру графа для кількісної характеристики складності фінансових мереж. У цьому дослідженні ми використовували ентропію спектру графа, щоб визначити відмінності в складності мереж. Проілюстровано*