

УДК 656.212.5

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕРМИНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦЕВ

Н. Ю. Шраменко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: nshramenko@gmail.com

Предложена формализация процесса функционирования терминального комплекса с использованием аппарата сетей Петри. Разработанная имитационная модель позволяет исследовать влияние количества задействованных производственных ресурсов на временные характеристики системы. Получены зависимости удельных затрат и времени обработки груза на терминале от объема грузопотока и количества производственных ресурсов, позволяющие учесть особые требования грузовладельца относительно сроков выполнения работ и установить определенный уровень тарифа со стороны терминала. Определено оптимальное количество производственных ресурсов и удельных затрат на обработку груза в зависимости от объема входящего грузопотока. На основе полученных результатов можно прогнозировать время выполнения работ при разных условиях функционирования терминального комплекса.

Ключевые слова: терминальный комплекс, сети Петри, имитационное моделирование, ресурсы.

РАЦИОНАЛІЗАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ ТЕРМІНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ І ВАНТАЖОВЛАСНИКІВ

Н. Ю. Шраменко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Петровського, 25, г. Харків, 61002, Україна. E-mail: nshramenko@gmail.com

Запропоновано формалізацію процесу функціонування термінального комплексу з використанням апарату мереж Петрі. Розроблена імітаційна модель дозволяє досліджувати вплив кількості задіяних виробничих ресурсів на часові характеристики системи. Отримано залежності питомих витрат і часу обробки вантажу на терміналі від обсягу вантажопотоку й кількості виробничих ресурсів, що дозволяють врахувати особливі вимоги вантажовласника щодо строків виконання робіт і встановити певний рівень тарифу з боку терміналу. Визначено оптимальну кількість виробничих ресурсів і питомих витрат на обробку вантажу залежно від обсягу вхідного вантажопотоку. На основі отриманих результатів можна прогнозувати час виконання робіт за різних умов функціонування термінального комплексу.

Ключові слова: термінальний комплекс, мережі Петрі, імітаційне моделювання, ресурси.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В данное время во всех развитых странах почти весь оборот внешней торговли (импорт и экспорт), а также большая часть внутреннего товарооборота осуществляется через терминальные комплексы, или, как их еще называют, региональные логистические центры.

Создание терминалов, выполняющих весь комплекс операций по обработке грузопотока, существенно упрощает процедуру доставки товара от производителя до потребителя.

Существует ряд проблем относительно создания такой большой структуры, которая бы покрывала весьма широкий спектр услуг. При этом любые затраты должны быть экономически оправданными, т.е. внедрение любого технологического и технического решения, связанного с инвестициями, должны исходить из рациональной целесообразности, а не из модных тенденций и предложенных технических возможностей на рынке. Именно поэтому и предлагается заранее спрогнозировать работу терминального комплекса и, используя оптимизационную модель, определить необходимое количество средств механизации и трудовых ресурсов терминального комплекса.

Анализ литературных источников показал, что терминальный комплекс является довольно сложной системой, которая нуждается в постоянном усовершенствовании существующих подходов и

моделей с целью учета влияния большего количества факторов и особенностей современных условий.

Для исследования процесса функционирования терминального комплекса целесообразно применять имитационное моделирование, которое позволяет учитывать временные, вероятностные, весовые и другие характеристики технологических параметров и исследовать работоспособность и бесперебойность системы в целом. Создавать имитационные модели, способные исследовать временные характеристики системы и возможность бесперебойной ее работы при принятии решений по выбору рационального количества производственных ресурсов, наиболее целесообразно с помощью аппарата сетей Петри.

Одним из основных преимуществ аппарата сетей Петри является то, что они могут быть представлены как в графическом виде (что обеспечивает наглядность), так и в аналитическом (что позволяет автоматизировать процесс их анализа) [1].

Согласно [2] сеть Петри (MP) представляет собой совокупность объектов:

$$MP = \langle P, T, X, Y, \varphi \rangle, \quad (1)$$

где $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_k\}$ – конечное множество позиций; $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_r\}$ – конечное множество

переходов; X – входная функция переходов; Y – исходная функция переходов; φ – вектор маркирования сети Петри.

В результате развития аппарата сетей Петри при моделировании транспортных процессов исследователями был введен ряд расширений [3, 4]:

- существует несколько типов вершин-позиций: простые позиции, позиции-очереди, позиции разрешения;
- фишки (маркеры) могут обеспечиваться набором признаков (атрибутов);
- с каждым переходом может быть связанная ненулевая задержка и функция преобразования атрибутов фишек;
- введены дополнительные виды вершин-переходов.

В условиях особых требований грузовладельцев относительно общего времени обработки грузов на терминальном комплексе с целью его уменьшения необходимо привлечение дополнительных производственных (транспортно-складских и трудовых) ресурсов.

Целью работы является определение рационального количества производственных ресурсов и удельных затрат на обработку груза в зависимости

от требований грузовладельцев относительно сроков выполнения работ.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Объектом исследования в данном случае выступают технологические процессы функционирования терминального комплекса.

В связи с этим, первоочередными задачами являются:

- формализация процесса функционирования терминального комплекса с использованием аппарата сетей Петри;
- имитационное моделирование функционирования терминального комплекса;
- определение общего времени на выполнение полного комплекса работ по обработке груза на терминальном комплексе.

Формализация процесса функционирования терминального комплекса с использованием аппарата сетей Петри. На основе разработанной граф-модели технологического процесса грузового терминала, предложенной в [5], формализован процесс функционирования терминального комплекса с использованием аппарата сетей Петри (рис. 1).

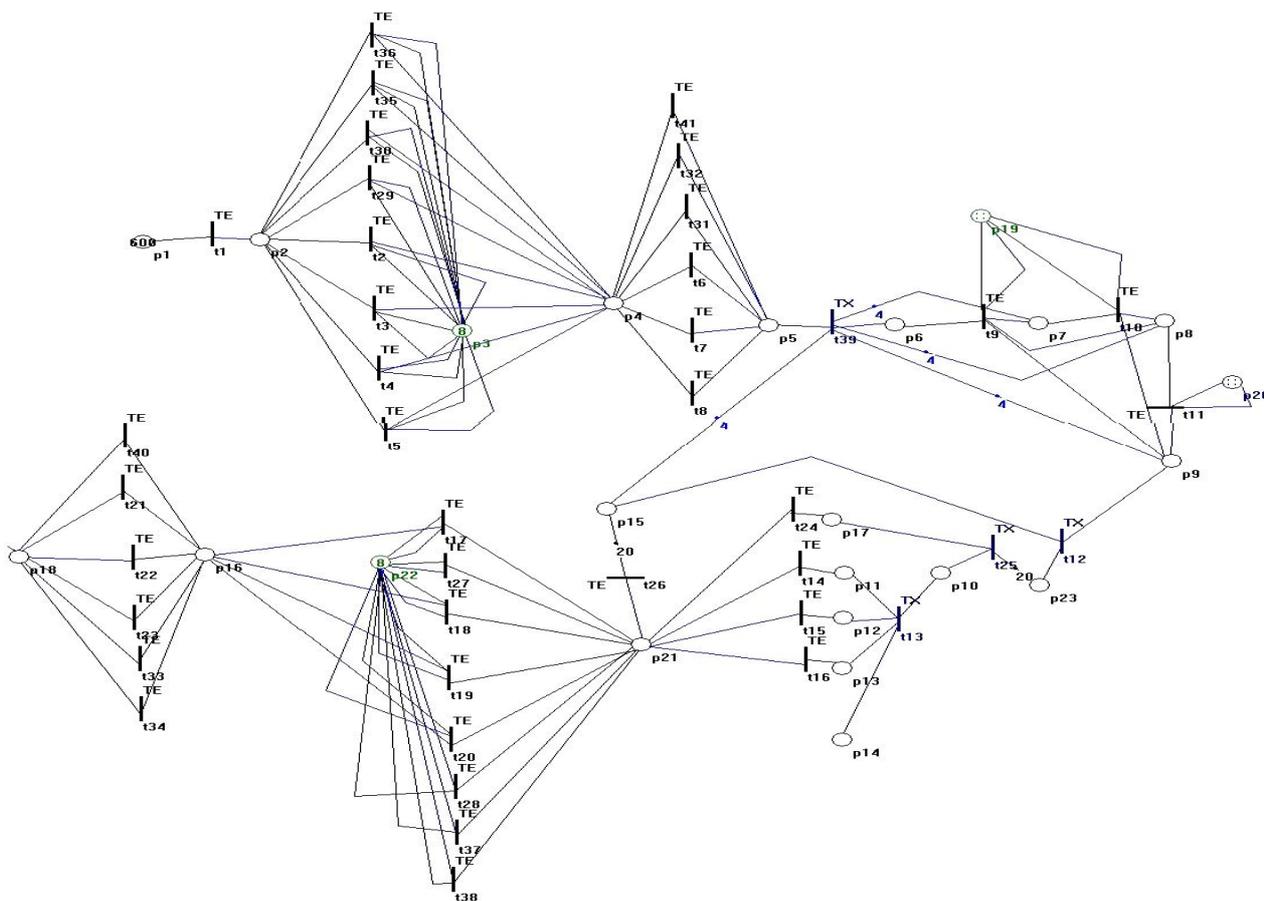


Рисунок 1 – Формализация функционирования терминального комплекса с использованием сетей Петри

Таким образом, совокупность переходов, позиций и дуг позволяет описать причинно-следственные связи, присущие системе, но в статике. Для того, чтобы сеть Петри «оживла», вводится еще один вид объектов сети – так называемые фишки, или маркеры позиций. Переход считается активным (событие может состояться), если в каждой его входной позиции есть хотя бы одна фишка.

Разработанная имитационная модель функционирования терминального комплекса отображает определенные характеристики системы и содержит 23 позиции и 40 переходов:

$$\begin{aligned} P &= \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{23}\}, \\ T &= \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{40}\} \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристики множества позиций P имитационной модели сети Петри: p_1 – наличие входного грузопотока; p_2 – нахождение в зоне разгрузки; p_3 – наличие свободных ПРМ в зоне разгрузки; p_4 – автомобили разгружены; p_5 – ожидание сортировки; p_6 – ожидание маркирования; p_7 – ожидание пакетирования; p_8 – груз подготовлен к хранению и дальнейшей отправке; p_9 – ожидание распределения; p_{10} – груз в зоне таможенного оформления; p_{11}, p_{12}, p_{13} – груз, задержанный для осмотра в зоне таможенного оформления; p_{14} – груз, задержанный таможенной; p_{15} – груз в зоне экспедиции; p_{16} – автомобили загружены; p_{17} – груз, прошедший таможенный осмотр без задержек; p_{18} – автомобили готовы к отправке; p_{19} – свободные рабочие в зоне сортировки; p_{20} – свободные бригады для складских работ; p_{21} – ожидание погрузки; p_{22} – свободные ПРМ для погрузки; p_{23} – груз, нуждающийся в таможенном осмотре.

Характеристики переходов T имитационной модели сети Петри: t_1 – поступление автомобилей; $t_2, t_3, t_4, t_5, t_9, t_{30}, t_{35}, t_{36}$ – разгрузка; $t_6, t_7, t_8, t_{31}, t_{32}, t_{41}$ – оформление документов; t_{39} – сортировка; t_9 – маркирование; t_{10} – пакетирование; t_{11} – складирование; t_{12} – распределение в зону экспедиции или таможенного оформления; t_{13} – распределение в зоне таможенного оформления; t_{14} – таможенное оформление с проверкой документов; t_{15} – таможенное оформление с проверкой документов и груза; t_{16} – таможенное оформление подозрительных грузов; $t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20}, t_{27}, t_{28}, t_{37}, t_{38}$ – погрузка; $t_{21}, t_{22}, t_{23}, t_{33}, t_{34}, t_{40}$ – оформление документов; t_{24} – таможенное оформление; t_{25} – распределение после таможенного оформления; t_{26} – перемещение в зону погрузки.

Результатом предыдущих исследований является разработка математической модели функционирования терминального комплекса, которая позволяет определить оптимальное количество производственных ресурсов при условиях минимизации затрат, связанных с обработкой груза и содержанием этих ресурсов.

Разработанная имитационная модель позволяет проверять работоспособность и бесперебойность системы. Моделирование с использованием сетей Петри дает возможность получать временные характеристики работы терминального комплекса, которые позволяют оценить адекватность разработанной математической модели.

Определение общего времени на обработку груза с наименьшими дополнительными затратами. В условиях современной рыночной экономики возникает необходимость минимизировать время полной обработки груза для более быстрого продвижения товаров от производителя до потребителя. Именно при таких условиях целесообразно задействовать дополнительные ресурсы, но это приводит к дополнительным расходам.

Предложено добавлять поочередно по одной механизированной бригаде сначала в зону разгрузки, а потом отгрузки. Проведено исследование временных характеристик при привлечении дополнительных ресурсов при разных объемах входящего грузопотока (табл. 1).

Таблица 1 – Общее время на выполнение полного комплекса работ по обработке груза

Входной грузопоток, Q , т	Общее время, мин			
	оптимальное количество бригад	1 дополнительная бригада	2 дополнительные бригады	3 дополнительные бригады
400	498	427	261	257
800	419	393	334	325
1200	442	428	317	316
1600	438	429	364	351
2000	450	441	412	408
2400	457	455	432	433

Таким образом, в зависимости от особых потребностей грузовладельцев относительно сроков выполнения работ можно определить необходимое дополнительное количество производственных ресурсов при разных объемах входящего грузопотока (рис. 2), а следовательно и дополнительные затраты на их содержание и эксплуатацию (рис. 3).

Полученная зависимость (рис. 2) свидетельствует, что при оптимальном количестве производственных ресурсов, время на обработку груза почти не изменяется независимо от объемов входящего грузопотока, что обусловлено уравновешенностью системы в целом. При минимальном количестве ресурсов, время на обработку уменьшается с увеличением объема входного грузопотока. При привлечении дополнительного количества ресурсов время на обработку уменьшается пропорционально объему входного грузопотока.

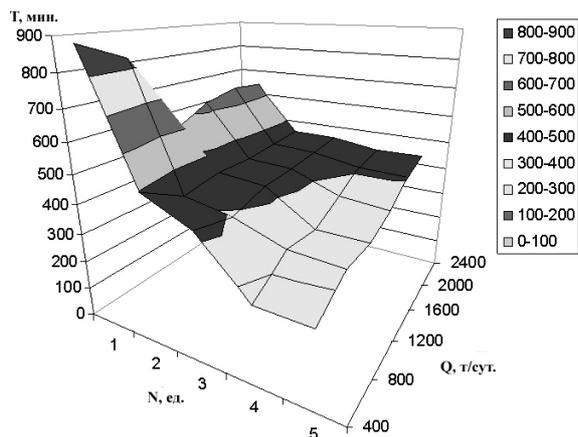


Рисунок 2 – Зависимость времени обработки груза на терминале от объема грузопотока и количества ресурсов: 1 – нормативное количество ресурсов; 2 – оптимальное количество; 3, 4, 5 – привлечение одной, двух, трех дополнительных бригад соответственно

Результаты моделирования (рис. 4) свидетельствуют, что для различных объемов грузопотока существуют оптимальные значения производственных ресурсов. При этом увеличение количества этих ресурсов приводит к увеличению удельных затрат независимо от объемов грузопереработки.

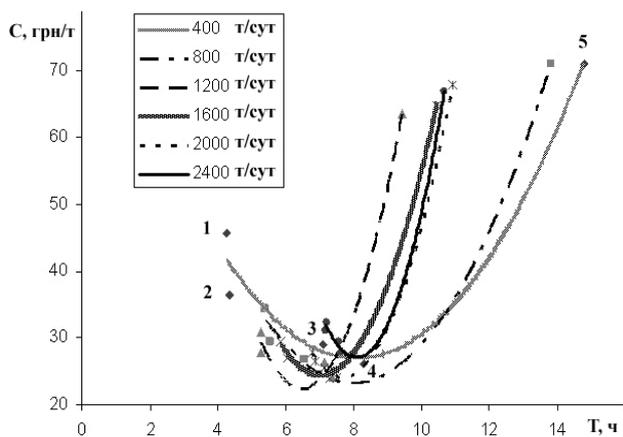


Рисунок 3 – Зависимость удельных затрат на обработку груза на терминале от времени обработки при разных объемах входящего грузопотока: 1, 2, 3 – привлечение одной, двух, трех дополнительных бригад соответственно; 4, 5 – оптимальное и нормативное количество ресурсов соответственно

Таким образом, используя оптимальное количество производственных ресурсов можно достигать логистических целей системы. На основе полученных результатов можно прогнозировать время выполнения работ при разных условиях функционирования терминального комплекса и определять затраты на обработку груза и содержание производственных ресурсов. Удовлетворение требований владельцев груза относительно времени грузопереработки обусловит установление определенного уровня тарифа со стороны терминала, обеспечивая рациональное взаимодействие этих субъектов.

ВЫВОДЫ. Предложена формализация процесса функционирования терминального комплекса с использованием аппарата сетей Петри в обычных условиях и в условиях привлечения дополнительных ресурсов с целью минимизации времени обработки груза. Предложенная модель позволяет проверять работоспособность и бесперебойность работы терминальной системы, а также исследовать влияние количества задействованных производственных ресурсов на временные характеристики системы, что позволяет прогнозировать суммарные затраты на содержание и эксплуатацию ресурсов терминального комплекса.

Определено оптимальное количество производственных ресурсов для различных характеристик грузопотока, обусловленное минимальными удельными затратами. При наличии особых требований грузовладельцев возможно уменьшение времени обработки за счет увеличения количества ресурсов, что приводит к увеличению удельных затрат, а соответственно и тарифа.

Получены зависимости удельных затрат и времени обработки груза на терминале от количества привлеченных ресурсов и объема грузопотока, которые позволяют учесть особые требования грузовладельцев относительно сроков выполнения работ и установить определенный уровень тарифа со стороны терминала.

Полученные результаты обуславливают рациональное взаимодействие терминальных комплексов и грузовладельцев, позволяя достичь логистические цели системы и удовлетворить маркетинговые потребности грузовладельцев.

Дальнейшие исследования следует направить на: рассмотрение терминальной системы в целом и определение влияния времени доставки груза на стоимость доставки; исследование вопросов ресурсосбережения терминальной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. – Л.: Наука, 1989. – 133 с.
3. Данько М.І. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій при організації вантажних залізничних перевезень: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Харківська національна академія міського господарства.. – Х., 2005. – 40 с.
4. Розробка моделі функціонування пунктів переробки контейнерних вантажів з використанням мереж Петрі / С.С. Альшинський, Д.В. Ломотько // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2008. – № 1/2 (31). – С. 29–31.
5. Шраменко Н.Ю. Разработка имитационной модели функционирования грузового терминального комплекса // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2010. – Вып. 27. – С. 77–82.

**RATIONALIZATION OF THE INTERACTION BETWEEN THE TERMINAL COMPLEXES
AND FREIGHT OWNERS**

N. Shramenko

Kharkiv National Automobile and Highway University

vul. Petrovsky, 25, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: nshramenko@gmail.com

The author has offered the formalization procedure of the terminal complex's operation with usage of the Petri net's instrument. The imitation model elaborated by the author allows studying the influence of the amount of the manufactory resources involved on the timing characteristics of the system studied. The dependences of the costs per unit and the cargo operation time at a terminal complex upon the cargo traffic and the amount of manufactory resources are obtained by the authors, which allow taking into the consideration the special demands of the freight owners according due date of work and the tariff level setting of the terminal complex. The optimum amount of manufactory resources and the costs per unit of the cargo operation in dependence of the income cargo traffic are defined. The results obtained allow forecasting the time of work performance for the different conditions of terminal complex functioning.

Key words: terminal facilities, Petri nets, simulation, resource.

REFERENCES

1. Piterson, J. (1984), *Petri net theory and system modeling*, Mir, Moscow, Russia.
2. Leskin, A.A., Mal'cev P.A., Spiridonov A.M. (1989), *Seti Petri v modelirovanii i upravlenii* [Modeling and control of Petri nets], Nauka, St-Petersburg, Russia.
3. Dan'ko M.I. (2005), "Scientific basis of resource-saving technologies in railway freight transportation", Thesis abs., Doc.Sc. (engineering), spec. 05.22.01, Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Kharkiv, Ukraine.
4. Alshinskii E.S., Lomot'ko, D.V. (2008), "The development of operation model of intermodal terminals using Petri nets", *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*, iss. 1/2 (31), pp. 29–31, Kharkiv, Ukraine.
5. Shramenko, N. (2010), "Development of simulation model of freight terminal handler functioning", *Avtomobil'nyi transport*, no. 27, pp. 77–82, KhNAHU, Kharkiv, Ukraine.

Стаття надійшла 05.03.2013.