

Коновалов Антон Владимирович
Konovalov Anton Vladimirovich
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
National Research University of Electronic Technology (MIET)
Аспирант/Postgraduate
E-Mail: Konovalov.miet@gmail.com

Федотова Елена Леонидовна
Fedotova Elena Leonidovna
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
National Research University
of Electronic Technology, Moscow
Доцент/assistant professor
кандидат педагогических наук, доцент
Candidate of pedagogical sciences, assistant professor
E-Mail: fedotova-e2007@yandex.ru

05.13.06 Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

Разработка имитационной модели для определения оптимальных параметров функционирования контейнерного терминала в условиях ограниченной транспортной инфраструктуры

Simulation model development for the container terminal operation optimal parameters determination under the conditions of insufficient transport infrastructure

Аннотация: В рамках решения задач оптимизации отдельных процессов функционирования контейнерного терминала была реализована имитационная модель, использующая в качестве логико-структурной основы аппарат сетей Петри. В структуре и алгоритмах работы модели были учтены особенности организации контейнерных грузоперевозок на контейнерных терминалах, обеспечивающих взаимодействие морского и железнодорожного видов транспорта в условиях недостаточной транспортной инфраструктуры регионов Крайнего Севера. Разработанная модель предназначена для определения отдельных параметров транспортного процесса, таких как: среднее время хранения контейнеров, средний уровень запасов на терминале, средняя загрузка судна контейнерами и др.

The Abstract: Within the scope of solving tasks regarding the optimization of certain container terminal operation processes a simulation model, logically and structurally based on Petri nets, has been implemented. In the model structure and functional algorithms a number of peculiarities associated with container transportation through container terminals with the interaction of sea and rail transportation modes in conditions of High North's insufficient transport infrastructure have been considered. The developed model is used to determine the individual transportation parameters, such as the average time of container storage, the average terminal inventory level, the average vessel container loading etc.

Ключевые слова: Контейнерные перевозки, контейнерный терминал, среднее время хранения контейнера, имитационное моделирование, математическое моделирование, сети Петри, метод наименьших квадратов.

Keywords: Container shipping, container terminal, the average container storage time, simulation modeling, mathematical simulation, Petri nets, the method of least squares.

По результатам проведенного обзора исследований в области контейнерных перевозок, осуществляемых при взаимодействии различных видов транспорта [1,4,9] было установлено, что большинство разработанных ранее имитационных моделей систем функционирования транспортного предприятия, на базе которого осуществляется взаимодействие между смежными видами транспорта – морского и железнодорожного, не являются универсальными и ориентированы на решение узконаправленного спектра задач. В связи с этим остается актуальной разработка специальной имитационной модели для исследования и оптимизации параметров функционирования контейнерных терминалов как основной составляющей современных транспортных систем.

Для описания и последующего исследования процессов функционирования контейнерного терминала при взаимодействии нескольких видов транспорта при взаимодействии смежных видов транспорта (при этом морской транспорт рассматривается в качестве основного, железнодорожный – в качестве вспомогательного или подвозящего) была разработана имитационная модель процесса работы грузового терминала, в качестве логической и структурной основы которой используется математический аппарат сетей Петри. Учет влияния стохастических факторов на транспортный процесс был реализован посредством указания интервалов прибытия транспортных средств и бесперебойной работы подъемно-транспортного оборудования (ПТО) в виде случайных величин с заданным законом распределения и коэффициентом вариации.

Основное назначение модели заключается в определении методом имитационного моделирования отдельных параметров функционирования транспортного процесса на контейнерном терминале, таких как: среднее время хранения контейнеров на контейнерной площадке с момента поступления до момента отгрузки, средний уровень запасов на контейнерном терминале, средняя загрузка судна контейнерами. В то же время разработанная модель может использоваться для проведения дополнительных имитационных экспериментов с целью дальнейшего качественного изучения характеристик процесса функционирования контейнерного терминала.

Специфические особенности функционирования контейнерного терминала позволяют использовать сети Петри для его описания и анализа [2,3]:

- контейнерный терминал имеет большое число взаимосвязанных подсистем со сложными структурными и функциональными взаимосвязями;
- многие подсистемы контейнерного терминала не являются самостоятельными, в результате изолированная оптимизация отдельных подсистем может приводить к конфликтным ситуациям;
- процесс обслуживания заявок является вероятностным вследствие вероятностного характера поступления транспортных средств под обработку.

Разработанная модель является событийно-ориентированной, имеет дискретный счетчик времени выполнения отдельных операций, а также включает набор параметров, описывающих текущую конфигурацию зоны хранения контейнеров, структуру и состояние парка ПТО, состояние очереди заявок на обслуживание и нормативную длительность их выполнения.

Задачей эксперимента является построение логической модели для изучения процессов функционирования контейнерного терминала с учетом влияния случайных факторов.

Целью планирования эксперимента является получение максимальной информации при минимальных затратах (включая затраты времени и ресурсов [7,8]). Полученная информация должна содержать только наблюдаемые величины.

В качестве закона распределения для моделирования случайных величин принят логарифмически-нормальный закон. Функция плотности вероятностей для указанного распределения имеет следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{(x-\theta) \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln(x-\theta) - \mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение (задается через коэффициент вариации); θ – смещение; μ – математическое ожидание.

Преимущества использования данного закона распределения для моделирования транспортно-логистических систем были подробно обоснованы в работах [5,6].

Случайные величины могут задаваться как непосредственно, так и посредством специальных коэффициентов, например, средний интервал поступления подвозящих транспортных средств в порт может быть определен через коэффициент N , обозначающий отношение средней интенсивности поступления грузов на терминал к провозной способности флота:

$$N = \frac{I_{\text{конт}}}{I_{\text{суд}}},$$

Где $I_{\text{конт}}$ – средняя интенсивность поступления контейнеров на терминал, конт/сут;
 $I_{\text{суд}}$ – резервная провозная способность судов, конт/сут.

Различия в грузоподъемности и грузовместимости между видами транспорта могут быть выражены через коэффициент D – отношение загрузки судна к загрузке подвозящего транспортного средства:

$$D = \frac{Q_{\text{суд}}}{Q_{\text{жд}}},$$

где $Q_{\text{суд}}$ – загрузка судна контейнерами, ед. конт; $Q_{\text{жд}}$ – загрузка подвозящего транспортного средства (вагона) контейнерами, ед. конт.

Также рассматриваются и анализируются следующие стохастические факторы: время поступления заявки; время обработки заявки; время безотказной работы ПТО; время ремонта ПТО при поломке.

На базе реализованной модели была проведена серия имитационных экспериментов с целью качественного изучения процесса накопления контейнеров в зоне хранения контейнерного терминала в ожидании дальнейшей отправки, а также проведено исследование основных параметров, которые, согласно проведенному исследованию, оказывают наиболее существенное влияние на данный процесс:

- 1) $\bar{t}_{суд}^{инт}$ – средняя величина интервалов прибытия судов в порт;
- 2) $V_{жд}^{инт}$ – коэффициент вариации интервала поступления вагонов в порт;
- 3) $V_{суд}^{инт}$ – коэффициент вариации интервала поступления судов в порт;

4) коэффициент N – отношение средней интенсивности поступления грузов на терминал к резервной провозной способности судов;

5) коэффициент D – отношение загрузки судна к загрузке подвозящего транспортного средства.

Полученные данные обеспечили возможность разработки предложений по совершенствованию существующих аналитических методов расчета времени накопления контейнеров на терминале с учетом влияния стохастических факторов, в частности, с помощью метода наименьших квадратов была получена формула для расчета среднего времени хранения контейнеров на контейнерной площадке:

$$\bar{t}_{хр}^{конт} = \frac{1}{2} \cdot \bar{t}_{суд}^{инт} \cdot \left(1 + \frac{N \cdot \left(\left(V_{жд}^{инт} \right)^2 + D \cdot \left(V_{суд}^{инт} \right)^2 \right)}{D \cdot (1 - N)} \right),$$

где $\bar{t}_{хр}^{конт}$ – среднее время хранения контейнеров на территории терминала в ожидании отправки, сут; $\bar{t}_{суд}^{инт}$ – среднестатистический интервал поступления судов в порт, сут; $V_{жд}^{инт}$ – коэффициент вариации интервала поступления вагонов; $V_{суд}^{инт}$ – коэффициент вариации интервала поступления судов в порт.

По вышеуказанной формуле были проведены контрольные расчеты с целью проверки корректности формулы, а также соотнесение результатов, полученных при помощи многократной реализации алгоритма имитационной модели и результатов, полученных при помощи рекомендуемой формулы. Сравнение результатов показало минимальные отклонения, подтверждая пригодность предложенной методики для расчета среднего времени хранения контейнеров на территории грузового терминала в ожидании отправки. Результаты проведенных исследований также способствуют решению научно-практических задач, связанных с организацией контейнерных перевозок, в частности, предложенные методы позволили выполнить автоматизацию прогнозирования уровня накопления контейнеров на терминале при различных параметрах путем разработки соответствующего программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутов А.С., Степанов А.Н., Щелканов Н.Г. Моделирование и оптимизация перевозочного процесса на ЭВМ. – М.: РАН, 1992;
2. Лескин А.А. Сети Петри в моделировании и управлении / А.А. Лескин, П.А. Мальцев, А.М. Спиридонов. - Л.: Наука, 1989;
3. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объективной структурой / И.А. Ломазова. – М.: Научный мир, 2004;
4. Пьяных С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта. – М.: Транспорт, 1998;
5. Рыжов Л.М., Уртминцев Ю.Н., Колдоркина Л.Р. Расчет характеристик системы грузовых линий методом имитационного моделирования. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ГИИВТ. - №16 – 1996;
6. Уртминцев Ю.Н. Комплексное обоснование оптимальных параметров группы взаимодействующих грузовых линий речного флота. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Нижний Новгород: ГИИВТ, 1994;
7. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента Ч.Р. Хикс. – М.: Мир, 1967;
8. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972;
9. Dunford F. Basis for simulation model of containers terminal. Transport. Eng. J. ASCE, 2002.

Рецензент: Лисов Олег Иванович доктор технических наук, профессор.