

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛА

Запропоновано математичну формалізацію процесу функціонування термінального комплексу та розроблено модель, що враховує особливості роботи вантажного терміналу і всі можливі стани системи.

*Ключові слова:* математична модель, термінальний комплекс, вантажний термінал

Предложена математическая формализация процесса функционирования терминального комплекса и разработана модель, учитывающая особенности работы грузового терминала и все возможные состояния системы.

*Ключевые слова:* математическая модель, терминальный комплекс, грузовой терминал

The mathematical formalization of operation process for a terminal complex is proposed and a model taking into account characteristics of a freight terminal and all the possible states of a system is developed.

*Keywords:* mathematical model, terminal complex, freight terminal

### Введение

Значение такого вида транспортировки как терминальные перевозки в современных системах чрезвычайно возросло, что определено, прежде всего, интегрированием в грузовых терминалах большого числа логистических активностей.

Тем не менее, основной проблемой развития терминальных перевозок в мире, как и раньше, остается то, что грузовой оборот растет намного быстрее, чем мощность самих терминалов. В тоже время имеют место чрезмерные простои подвижного состава под погрузкой-разгрузкой, нерационально используются производственные ресурсы и т.д.

Эффективное функционирование логистических транспортно-распределительных систем осуществляется путем оптимизации управления и планирования товарно-материальных и связанных с ними информационных и финансовых потоков на основе системного подхода и согласования экономических интересов всех участников логистической системы.

Многофункциональная деятельность невозможна без использования современных информационных технологий и автоматизированных систем. Использование таких систем позволяет уменьшить сроки и улучшить качество обработки грузов. Этого можно достичь благодаря более полному контролю выполнения технологического цикла и уменьшению потерь и нарушений во время обработки груза [1].

### Анализ публикаций

Транспортный сервис в современных условиях включает не только перевозку грузов от поставщика потребителю, но и большое количество экспедиторских, информационных операций, услуг по грузопереработке, страхованию, охране и т.п. [2].

Исследованиям вопросов оптимизации технологических процессов транспортно-распределительных систем и повышения эффективности функционирования транспортно-складских комплексов посвящены работы ученых: Смехова А. А., Миротина Л. Б., Вельможина А. В., Лукинского В. С., Аникина Б. О., Нечаева Г. И., Нагорного Е. В., Бабушкина Г. Ф., Котенка А. Н., Губенко В. К., Прокофьевой Т. А., Николаичука В. Е. и др. [3–10].

Анализ работы различных терминальных комплексов показал, что уровень организации работы терминала не обеспечивает эффективного использования подвижного состава и других ресурсов, которые принимают участие во взаимодействии подсистем.

Современные условия (техническое развитие, конкуренция, рыночные отношения) требуют новых стандартов организации транспортного обслуживания с учетом интересов как производителей транспортных услуг, так и потребителей. Необходимо также учитывать, что для каждой отдельной среды присущи свои уникальные условия, которые накладывают отражение на характер функционирования всей системы [10].

## Цель и постановка задачи

Целью исследования является математическая формализация процесса функционирования грузового терминального комплекса.

Для достижения цели исследования процесс функционирования грузового терминала рассматривается как система массового обслуживания.

### Математическая формализация процесса функционирования грузового терминала

Основной задачей и показателем терминальных перевозок является обеспечение высокой скорости доставки груза при одновременном эффективном использовании подвижного состава.

Для эффективного функционирования терминала с точки зрения системного подхода, как основного принципа логистики необходимо рассматривать терминал как сложную иерархическую транспортную микросистему.

В такой системе входной поток требований образуют автомобили, которые прибывают на терминал в случайные моменты времени. Обслуживанием являются операции разгрузки, оформления документов, хранения груза и выдачи из склада, следовательно, система является четырехфазной. Входным параметром системы является интенсивность входящего потока автомобилей на грузовой терминал  $\lambda$ , а параметрами, которые оптимизируются, – интенсивности обслуживания (переработки) грузопотока в каждой фазе соответственно  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ .

Кроме того, такая система массового обслуживания как терминал, является разомкнутой системой с ожиданием, поскольку имеет огромное число источников требований, каждое из которых ждет обслуживания. Причинами возникновения очередей являются потребности в обслуживании, которые случайно изменяются, и (или) колебание времени, которое расходуется на удовлетворение отдельной заявки на обслуживание.

Функционирование терминала представлено как совокупность взаимодействия фаз: экспедиция приема, подготовительные операции, заключительные операции и экспедиция выдачи.

Во всех фазах терминала необходимо учитывать нестационарность протекания процессов, которые определяются факторами внешней среды, а также вероятностную их природу. Среди таких факторов можно выделить неравномерность поступления транспортных средств и грузов, изменение требований владельцев груза относительно комплекса транспортных услуг, отказы в работе погрузочно-разгрузочных механизмов, сменный уровень эксплуатационной надежности и др. Также необходимо учитывать внутритерминальное перемещение грузов.

Взаимодействие фаз терминала на втором уровне системы транспортного обслуживания должна обеспечивать высокое качество транспортного обслуживания и при установленной степени надежности, обеспечивать минимальное время задержек в каждой фазе и минимальное время пребывания грузопотока в целом на терминале:

$$t_{\text{об}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{об}i}^{\phi} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $t_{\text{об}}$  – общее время обработки груза на терминале, ч;

$t_{\text{об}i}^{\phi}$  – время нахождения грузопотока в  $i$ -й фазе, ч;

$n$  – количество фаз терминала, ед.

В результате анализа технологии переработки грузопотока на терминале разработана граф-модель состояний системы. Размеченный граф позволяет сформировать математическую модель процесса, т. е. найти вероятность всех состояний  $P_{ijklm}(t)$  как функции времени.

При довольно большом времени протекания процессов в системе (при  $t \rightarrow \infty$ ) могут устанавливаться вероятности состояний, не зависящие от времени, которые называются финальными вероятностями, т. е. в системе устанавливается стационарный режим. Если число состояний системы конечное, и из каждого из них за конечное число шагов можно перейти в любое другое состояние, то финальная вероятность существует, т.е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ijklm}(t) = P_{ijklm}. \quad (2)$$

Смысл финальной вероятности заключается в том, что они равняются среднему отношению времени нахождения системы в этом состоянии.

Система уравнений финальных вероятностей (3):

$$\begin{cases}
 -\lambda \cdot P_{00000} + \mu_4 \cdot P_{10001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{11000} - \mu_1 \cdot P_{11000} + \lambda \cdot P_{00000} + \mu_4 \cdot P_{21001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10100} - \mu_2 \cdot P_{10010} + \mu_1 \cdot P_{11000} + \mu_4 \cdot P_{21001} + \mu_4 \cdot P_{20101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10010} - \mu_3 \cdot P_{10010} + \mu_2 \cdot P_{10100} + \mu_4 \cdot P_{20011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10001} - \mu_4 \cdot P_{10001} + \mu_3 \cdot P_{10010} + \mu_4 \cdot P_{20011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21000} - \mu_1 \cdot P_{21000} + \lambda \cdot P_{11000} + \mu_4 \cdot P_{31001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{21100} + \lambda \cdot P_{10100} + \mu_1 \cdot P_{21000} + \mu_4 \cdot P_{31101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21010} - \mu_1 \cdot P_{21010} - \mu_3 \cdot P_{21010} + \lambda \cdot P_{10010} + \mu_2 \cdot P_{21100} + \mu_4 \cdot P_{31011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20110} - \mu_3 \cdot P_{20110} + \mu_2 \cdot P_{21100} + \mu_1 \cdot P_{21010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21001} - \mu_1 \cdot P_{21001} - 2 \cdot \mu_4 \cdot P_{21001} + \lambda \cdot P_{10001} + \mu_3 \cdot P_{21010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20101} - \mu_2 \cdot P_{20101} - \mu_4 \cdot P_{20101} + \mu_1 \cdot P_{21001} + \mu_3 \cdot P_{20110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20011} - 2 \cdot \mu_4 \cdot P_{20011} + \mu_2 \cdot P_{20101} + \mu_4 \cdot P_{30111} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31000} - \mu_1 \cdot P_{31000} + \lambda \cdot P_{21000} + \mu_4 \cdot P_{41001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{31100} + \lambda \cdot P_{21100} + \mu_1 \cdot P_{31000} + \mu_4 \cdot P_{41101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31010} - \mu_1 \cdot P_{31010} - \mu_3 \cdot P_{31010} + \lambda \cdot P_{21010} + \mu_2 \cdot P_{31100} + \mu_4 \cdot P_{41011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31110} - \mu_3 \cdot P_{31110} + \lambda \cdot P_{20110} + \mu_1 \cdot P_{31010} + \mu_2 \cdot P_{31100} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31001} - \mu_1 \cdot P_{31001} - \mu_4 \cdot P_{31001} + \lambda \cdot P_{21001} + \mu_3 \cdot P_{31010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31101} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{31101} - \mu_4 \cdot P_{31101} + \lambda \cdot P_{20101} + \mu_1 \cdot P_{31001} + \mu_3 \cdot P_{31110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31011} - \mu_1 \cdot P_{31011} - \mu_4 \cdot P_{31011} + \lambda \cdot P_{20011} + \mu_2 \cdot P_{31101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{30111} - \mu_4 \cdot P_{30111} + \mu_1 \cdot P_{31011} + \mu_2 \cdot P_{31101} + \mu_4 \cdot P_{41111} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41000} - \mu_1 \cdot P_{41000} + \lambda \cdot P_{31000} + \mu_4 \cdot P_{51001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{41100} + \lambda \cdot P_{31100} + \mu_1 \cdot P_{41000} + \mu_4 \cdot P_{51101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41010} - \mu_1 \cdot P_{41010} - \mu_3 \cdot P_{41010} + \lambda \cdot P_{31010} + \mu_2 \cdot P_{41100} + \mu_4 \cdot P_{51011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41110} - \mu_3 \cdot P_{41110} + \lambda \cdot P_{31110} + \mu_1 \cdot P_{41010} + \mu_2 \cdot P_{41100} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41001} - \mu_1 \cdot P_{41001} - \mu_4 \cdot P_{41001} + \lambda \cdot P_{31001} + \mu_3 \cdot P_{41010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41101} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{41101} - \mu_4 \cdot P_{41101} + \lambda \cdot P_{30101} + \mu_1 \cdot P_{41001} + \mu_3 \cdot P_{41110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41011} - \mu_1 \cdot P_{41011} - \mu_4 \cdot P_{41011} + \lambda \cdot P_{31011} + \mu_2 \cdot P_{41101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41111} - \mu_4 \cdot P_{30111} + \lambda \cdot P_{30111} + \mu_1 \cdot P_{41011} + \mu_2 \cdot P_{41101} + \mu_4 \cdot P_{51111} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51000} + \lambda \cdot P_{41000} = 0; \\
 -2 \cdot \mu_2 \cdot P_{51100} + \lambda \cdot P_{41100} + \mu_1 \cdot P_{51000} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51010} - \mu_3 \cdot P_{51010} + \lambda \cdot P_{41110} + \mu_2 \cdot P_{51100} = 0; \\
 -\mu_3 \cdot P_{51110} + \lambda \cdot P_{41110} + \mu_1 \cdot P_{51010} + \mu_2 \cdot P_{51100} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51001} - \mu_4 \cdot P_{51001} + \lambda \cdot P_{41001} + \mu_3 \cdot P_{51010} = 0; \\
 -2 \cdot \mu_2 \cdot P_{51101} - \mu_4 \cdot P_{51101} + \lambda \cdot P_{41101} + \mu_3 \cdot P_{51110} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51011} - \mu_4 \cdot P_{51011} + \lambda \cdot P_{41011} + \mu_2 \cdot P_{51101} = 0; \\
 -\mu_4 \cdot P_{51111} + \lambda \cdot P_{41111} + \mu_1 \cdot P_{51011} + \mu_2 \cdot P_{51101} = 0.
 \end{cases} \tag{3}$$

Для полученной модели существует система ограничений:

– интенсивности обслуживания в каждой фазе имеют следующую зависимость:

$$\mu_4 > \mu_2 > \mu_1 > \mu_3. \quad (4)$$

– интенсивность входящего потока и интенсивности обслуживания в каждой фазе должны быть строго положительными:

$$\lambda > 0; \mu_1 > 0; \mu_2 > 0; \mu_3 > 0; \mu_4 > 0. \quad (5)$$

– сумма всех вероятностей пребывания системы в разных состояниях равна единице. Условие нормировки:

$$\begin{aligned} &P_{00000} + P_{11000} + P_{10100} + P_{10010} + P_{10001} + \\ &+ P_{21000} + P_{21100} + P_{21010} + P_{20110} + P_{21001} + \\ &+ P_{20101} + P_{20011} + P_{31000} + P_{31100} + P_{31010} + \\ &+ P_{31110} + P_{31001} + P_{31101} + P_{31011} + P_{30111} + \\ &+ P_{41000} + P_{41100} + P_{41010} + P_{41110} + P_{41001} + \\ &+ P_{41101} + P_{41011} + P_{41111} + P_{51000} + P_{51100} + \\ &+ P_{51010} + P_{51110} + P_{51001} + P_{51101} + P_{51011} + \\ &+ P_{51111} = 1. \end{aligned} \quad (6)$$

При разработке модели сделаны следующие допущения:

– очередь автомобилей не превышает пяти единиц;

– состояние системы  $S_{00000}$  в расчетах технологических параметров участия не принимает, поскольку исключает возможность простоя автомобилей в очереди, а простой оборудования не является следствием очереди в предыдущем состоянии системы;

– переход из заданного состояния системы осуществляется в меньшее за номером состояние, только если один автомобиль прошел все фазы и оставил систему, во всех других случаях переход может быть осуществлен только в большее за номером состояние.

Предложенная модель учитывает все возможные состояния системы и переходы между ними, наглядно отображает движение груза внутри терминала и учитывает особенности работы грузового терминала.

### Выводы

Разработан граф состояний для терминала, который представляет собой четырехфазную сис-

тему массового обслуживания. Граф-модель отображает все возможные состояния системы, возможности перехода с одного состояния в другое и интенсивности переходов между ними.

Предложена математическая формализация процесса функционирования терминального комплекса с учетом особенностей работы грузового терминала и вероятностного характера отдельных его технологических процессов.

Разработанная модель дает возможность довольно точно спрогнозировать поведение системы при изменении любого ее параметра без особых затрат времени и средств, что делает модель наиболее востребованной при оперативном планировании на предприятии.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

– мониторинг рынка и определение закономерностей изменения входных параметров, прежде всего, интенсивности входящего потока автомобилей и интенсивностей обслуживания в каждой фазе терминала;

– формирование аналитических зависимостей для определения технологических параметров терминального комплекса;

– установление закономерностей изменения технологических параметров терминального комплекса и определение их оптимальных значений;

– выбор оптимальной технологии обработки грузопотока на терминальном комплексе в условиях ресурсосбережения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, А. А. Математическое моделирование транспортных процессов [Текст] : учеб. пособие / А. А. Абрамов. – М.: РГОТУПС, 2002. – 128 с.
2. Сервис на транспорте [Текст] / В. М. Николашин [и др.]; под ред. В. М. Николашина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
3. Миротин, Л. Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов [Текст] / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин. – М.: Феникс, 2009. – 416 с.
4. Житков, В. А. Планирование автомобильных перевозок вантажів малими партіями [Текст] / В. А. Житков. – К., Транспорт 2003. – 416 с.
5. Прокофьева, Т. А. Логистика транспортно-распределительных систем: Региональный аспект [Текст] / Т. А. Прокофьева, О. М. Лопаткин. – М.: РосКонсульт, 2003. – 400 с.

6. Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели [Текст] : учеб. пособие / В. С. Лукинский [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 280 с.
7. Николайчук, В. Е. Транспортно-складская логистика [Текст] / В. Е. Николайчук. – М.: Дашков и К<sup>о</sup>, 2007. – 452 с.
8. Нагорный, Е. В. Рационализация технологических параметров транспортного обслуживания грузовладельцев в транспортных узлах [Текст] / Е. В. Нагорный, Т. В. Столяр // Сб. науч. тр. «Автомобильный трансп.» – Х.: ХГАДУ, 2006. – Вып. 18. – С. 54-56.
9. Нагорный, Е. В. Методика визначення часу переробки тарно-штучних вантажів на терміналі [Текст] / Е. В. Нагорний, А. С. Самойленко // Автомобільний транспорт. – Х.: ХНАДУ, 2006. – Вип. 19. – С. 72-75.
10. Нечаев, Г. И. Основы организации работы и управления транспортно-складскими комплексами [Текст] / Г. И. Нечаев. – Луганск: ВУГУ, 1998. – 226 с.
11. Шраменко, Н. Ю. Розвиток та сучасний стан термінальних систем як ресурсозберігаючої технології доставки вантажів [Текст] / Н. Ю. Шраменко // Восточноєвропейський журн. передових технологій: сб. науч. тр. / редкол.: Д. А. Демин (гл. ред.) [и др.]. – 2010. – Вып. 2/4 (44). – С. 15-17.

Поступила в редколлегию 17.11.2010.

Принята к печати 12.01.2011.