

УДК 656.212.5

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Н.Ю. Шраменко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Аннотация.* Предложена имитационная модель, позволяющая выявить закономерности изменения технологических параметров терминала и выбрать их оптимальные значения.

*Ключевые слова:* терминальный комплекс, модель, технологические параметры.

## РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ТЕРМІНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Н.Ю. Шраменко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Анотація.* Запропоновано імітаційну модель, що дозволяє виявити закономірності зміни технологічних параметрів терміналу та вибрати їх оптимальні значення.

*Ключові слова:* термінальний комплекс, модель, технологічні параметри.

## DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL OF FREIGHT TERMINAL HANDLER FUNCTIONING

N. Shramenko, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

*Abstract.* A simulation model is offered allowing to establish the regularities of the change of technological profiles of the terminal and to choose their optimum values.

*Key words:* terminal handler, model, technological parameters.

### Введение

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 не возможна без использования современных информационных технологий и автоматизированных систем. Использование таких систем позволяет уменьшить сроки и увеличить качество обработки грузов.

### Анализ публикаций

Недостаточная эффективность от применения экономико-математических моделей в управлении функционированием технологических, организационно-технических и других систем обусловлена следующими основными причинами:

- недостаточная адекватность экономико-математической модели реальному процессу, породившему оптимизационную задачу;
- недостаточная универсальность модели в смысле ее приспособленности к изменению параметров и структуры реальных процессов.

В связи с этим для оптимизации работы сложных транспортно-складских систем используют имитационное моделирование, ко-

торое проще и гибче, чем большинство других оптимизационных инструментов [1, 2].

Анализ работ [3–10] в области повышения эффективности перевозок в системе доставки грузов с использованием терминальных комплексов позволяет выделить следующие недостатки существующих подходов: большинство работ направлены на решение частных задач и описывают процесс функционирования лишь отдельных элементов технологического процесса доставки грузов. Большинство существующих моделей являются детерминированными, практически не учитывают особенностей рыночных отношений, необходимость достижения компромисса и баланса экономических интересов всех участников транспортного процесса.

В [6] предложена модель функционирования таможенного терминала в международных грузовых перевозках в классе сетей массового обслуживания, с учетом стохастического характера потока требований и дисциплины обслуживания с приоритетами. Однако терминал, который рассматривается, предусматривает выполнение преимущественно таможенных операций, в отличие от современных транспортно-распределительных терминальных комплексов.

Автором в [8] предложены подходы для повышения эффективности обслуживания грузовладельцев на терминале путем ускоренной переработки тарно-штучных грузов. Тот или иной вариант технологии переработки грузов на терминале выбирается с помощью векторной оптимизации, исходя из требований и финансовых возможностей потребителей. Преимуществом такого подхода является учет рыночных отношений, однако при оптимизации не учтено влияние рисков и возможные условия неопределенности. Существенным является также то, что терминал рассматривается как множество взаимосвязанных фаз, через которые проходит груз, и предложено оценивать их функционирование такими показателями как время переработки грузов и затраты на их переработку в каждой фазе.

В работе [9] рассмотрены вопросы оптимизации взаимодействия различных видов транспорта на морском терминальном комплексе в системе доставки грузов и доказано, что управление интенсивностью транспорт-

но-технологичных процессов в модулях (пунктах взаимодействия) системы доставки обеспечивает оптимальное функционирование системы с позиций минимизации общих расходов на транспортировку и времени доставки. Однако не учтены особенности функционирования пунктов взаимодействия (морских портов): оптимальная интенсивность выполнения погрузочно-разгрузочных работ, рациональное количество их ресурсов (погрузочных механизмов, складских площадей, количество персонала и др.). Не рассмотрена ситуация на складах отправителя. Предложенный подход учитывает преимущественно интересы наземных видов транспорта (определение числа отправок, единиц подвижного состава и графика движения), что не подтверждает комплексную реализацию системного подхода.

### Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка имитационной модели функционирования терминального комплекса и проведение эксперимента.

Для достижения цели исследования процесс функционирования грузового терминала целесообразно рассмотреть как систему массового обслуживания. Представление грузового терминала в виде системы массового обслуживания позволит получить более точные результаты моделирования и учесть большее количество факторов, которые влияют на работу системы, а также получить информацию о наиболее важных ее характеристиках с учетом вероятностных процессов.

При разработке модели используется система допущений:

- 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.

**Имитационная модель функционирования терминального комплекса**

Процесс обработки груза на терминале разделен на четыре фазы. Во всех фазах терминала необходимо учитывать не стационарность процессов, которые определяются факторами внешней среды, а вероятностную их природу.

Среди таких факторов можно выделить неравномерность поступления транспортных средств и грузов, изменение требований владельцев груза по поводу перечня транспортных услуг, отказы в работе погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ), сменный уровень эксплуатационной надежности, внутри-терминальное перемещение грузов и др.

В терминальной системе входящий поток требований образуют автомобили, которые прибывают на терминал в случайные моменты времени. Обслуживанием являются операции разгрузки, оформления документов, хранения груза и выдачи из склада, т.е. обслуживание является четырехфазным. Кроме того, такая система массового обслуживания как терминал является разомкнутой системой с ожиданием, поскольку имеет огромное число источников требований, каждое из которых ждет обслуживания.

Согласно проведенному обследованию выявлено, что грузовой терминал представляет собой систему массового обслуживания с ожиданием (очередью), функционирование которой является случайным процессом с дискретными состояниями и непрерывным временем. Кроме того, анализ статистических данных показал, что этот процесс является марковским.

Разработан граф состояний для терминала, который отображает все возможные состояния системы, возможности перехода из одного состояния в другое и интенсивности переходов между ними (рис. 1).

Предложен критерий эффективности функционирования терминального комплекса  $C$ , который основан на уменьшении суммарных затрат, связанных с обработкой груза.

$$C = f(r, N, M) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $r$  – количество автомобилей в очереди;  $N$  – количество персонала в подсистеме;  $M$  – количество ПРМ в подсистеме.

Через вероятности пребывания системы в каждом из состояний  $P_{gpr}$  определяются основные параметры подсистем и те, которые входят в критерий оптимальности:

- относительная пропускная способность  $q$ ;
- абсолютная пропускная способность  $A$ ;
- среднее количество авто в очереди  $r$ ;
- среднее время простоя первой фазы  $\bar{t}_1^{np}$ ;
- среднее время простоя второй фазы  $\bar{t}_2^{np}$ ;
- среднее время простоя третьей фазы  $\bar{t}_3^{np}$ ;
- среднее время простоя четвертой фазы  $\bar{t}_4^{np}$ ;
- среднее время пребывания автомобиля в очереди  $\bar{t}_{сист}$ ;
- среднее время ожидания обслуживания  $\bar{t}_{ож}$ ;
- среднее время простоя оборудования  $\bar{t}_{пр.обл}$ .

На базе основных технологических параметров подсистем грузового терминалу можно сделать выводы о влиянии интенсивностей обслуживания в каждой фазе на суммарные экономические расходы на основе критерия эффективности.

Алгоритм модели функционирования терминального комплекса при переработке мелкопартионных грузов приведен на рис. 2.

Расчитаны вероятности пребывания системы в каждом из состояний в конкретный момент времени, при такой комбинации значений величин интенсивности входного потока и интенсивности обслуживания в каждой фазе  $\lambda, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ , соответственно, которая при обследовании имела наибольшую частоту:  $\lambda = 1; \mu_2 = 2; \mu_3 = 2; \mu_4 = 0,5; \mu_5 = 7$ .

В результате имитационного моделирования определены технологические параметры функционирования терминала для фактического его состояния (табл. 1). Анализ результатов моделирования показал, что модель является адекватной и может быть применена в реальных условиях. С помощью разработанной модели определены основные технологические параметры работы терминала.

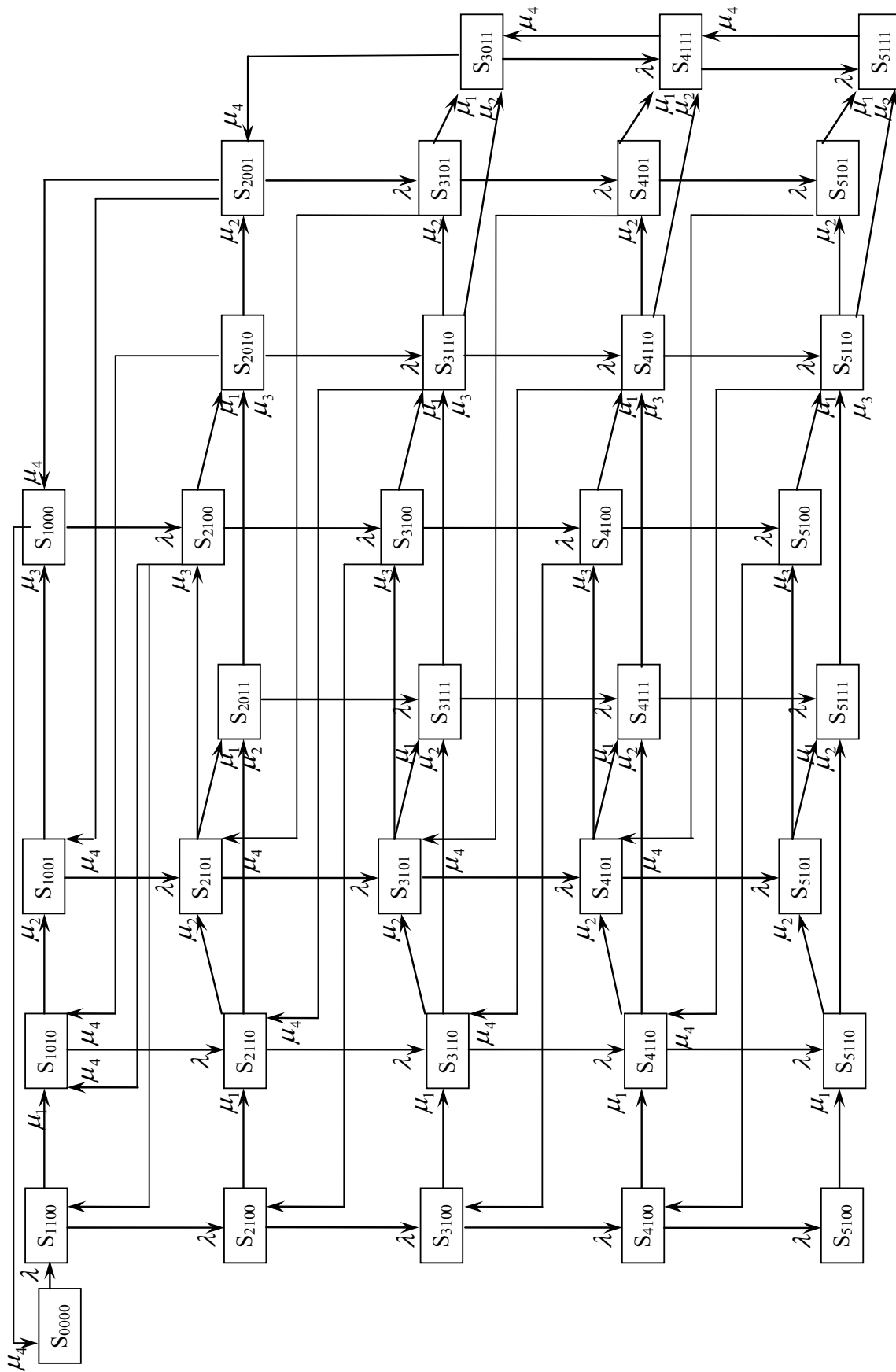


Рис. 1. Граф-модель функционирования грузового терминального комплекса

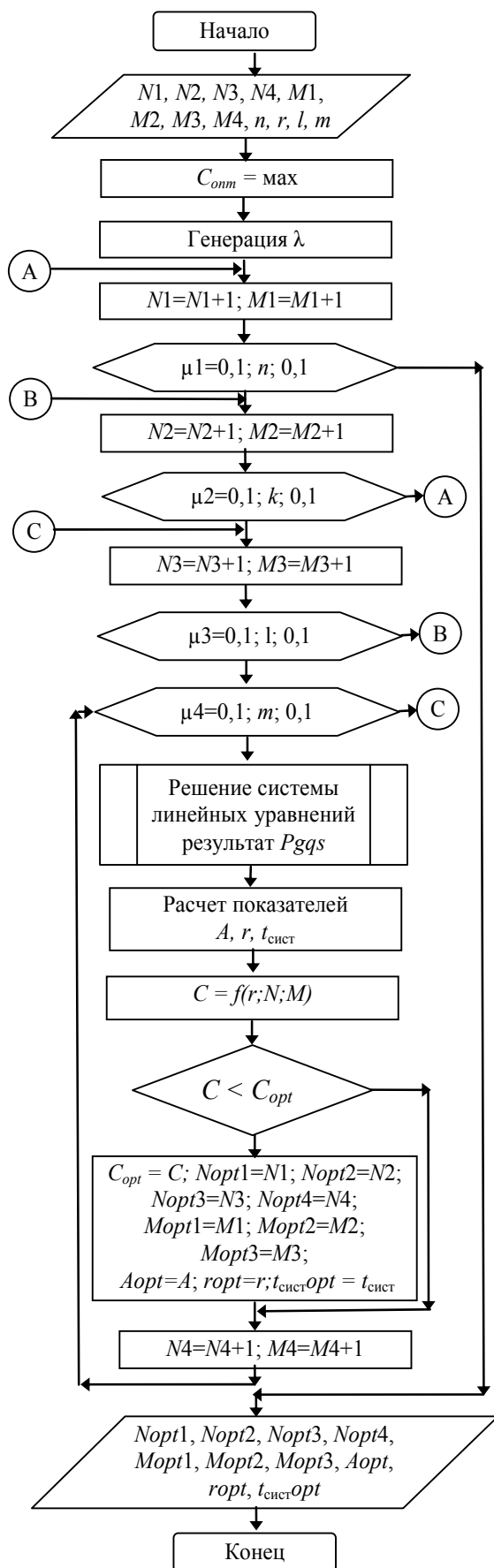


Рис. 2. Алгоритм имитационной модели

Таблица 1 Результаты расчета технологических параметров функционирования терминала

Показатель	Обозначение	Значение
Относительная пропускная способность, ед./ч.	$q$	0,58
Абсолютная пропускная способность, ед./ч.	$A$	0,58
Среднее количество автомобилей в очереди, ед.	$r$	1,06
Среднее время простоя первой фазы, ч.	$\bar{t}_1^{пр}$	0,15
Среднее время простоя второй фазы, ч.	$\bar{t}_2^{пр}$	0,17
Среднее время простоя третьей фазы, ч.	$\bar{t}_3^{пр}$	0,13
Среднее время простоя четвертой фазы, ч.	$\bar{t}_4^{пр}$	1,83
Среднее время ожидания обслуживания, ч.	$\bar{t}_{оч}$	1,66
Среднее время пребывания в системе, ч.	$\bar{t}_{сист}$	4,8
Среднее время простоя оборудования, ч.	$\bar{t}_{пр.обл}$	1,98

**Выводы**

Разработан граф состояний для терминала, который представляет собой четырехфазную систему массового обслуживания. Граф-модель отображает все возможные состояния системы, возможности перехода из одного состояния в другое и интенсивности переходов между ними.

Разработана имитационная модель функционирования грузового терминала, которая проста в использовании и дает возможность учесть различные вероятностные факторы и установить закономерности изменения технологических параметров, определить их оптимальные значения. Модель позволяет провести анализ и прогнозирование работы грузового терминала не по средним или нормативным, а по оперативно рассчитанным технологическим параметрам на каждый конкретный объект управления в конкретный момент времени.

Определено, что наибольшее влияние на технологические параметры работы терминала имеет интенсивность входящего потока автомобилей и интенсивности обслуживания первой и третьей фазы. Поэтому технология обслуживания в каждой фазе терминала должна быть построена таким образом, чтобы время на обслуживание не превышало нормативного времени, и при этом обеспечивалось минимальное время нахождения автомобиля на терминале.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- развитие имитационной модели в направлении, которое позволяет учитывать резервы времени на выполнение отдельных технологических операций;
- разработка моделей функционирования терминальной системы в условиях неопределенности и рисков;
- мониторинг рынка с целью определения законов распределения входных параметров для подтверждения выдвинутых гипотез;
- разработка универсального программного обеспечения для принятия решений при управлении процессом переработки грузопотока на терминале.

### Литература

1. Безель Б.П. Имитация на персональных компьютерах работы транспортно-производственных систем / Б.П. Безель, Л.Б. Миротин, Т.Б. Сулейменов. – М. : МАДИ, 1993. – 160 с.
2. Медведь Н.А. Моделирование и оптимизация автоматизированной транспортно-накопительной системы ГПС : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : 05.13.07 «Автоматизация процессов управления» / Н.А. Медведь. – Воронеж, 1991. – 16 с.
3. Витвицкий Е.Е. Разработка теоретических положений и моделей развозочно-сборных транспортных систем : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Е.Е. Витвицкий. – Омск, 1994. – 18 с.
4. Мочалин С.М. Методика планирования и анализа функционирования средних транспортных систем доставки грузов: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / С.М. Мочалин. – М., 1998. – 20 с.
5. Крыгина И. Е. Оптимизация региональных терминальных систем с помощью геоинформационных технологий (на примере Московского региона): автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : 05.22.01 «Транспортные системы» / И. Е. Крыгина. – М., 2002. – 21 с.
6. Куницька О.М. Підвищення ефективності роботи митного терміналу при виконанні міжнародних вантажних автомобільних перевезень : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : 05.22.01 «Транспортні системи» / О.М. Куницька. – К. : Національний транспортний ун-т, 2006. – 18 с.
7. Гронин Д.П. Повышение эффективности автомобильных перевозок в системе доставки грузов с использованием терминальных комплексов : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Д.П. Гронин. – Волгоград, 2006. – 18 с.
8. Самойленко А.С. Удосконалення технології прискореної переробки тарноштучних вантажів на терміналах в умовах ринку транспортних послуг : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : 05.22.01 «Транспортні системи» / А.С. Самойленко. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 22 с.
9. Заборський Л.О. Методичні основи організації транспортно-технологічних процесів у системах доставки вантажів : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : 05.22.01 «Транспортні системи» / Л.О. Заборський. – Одеса : ОНМУ, 2009. – 20 с.
10. Мирошник А.С. Логистические принципы построения и функционирования терминальной системы : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. экон. наук : 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / А.С. Мирошник. – Ростов н/Дону, 2010. – 24 с.

Рецензент: П.Ф. Горбачев, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 21 октября 2010 г.