

На правах рукописи



Семёнов Константин Михайлович

**ПЛАНИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ГРУЗОВ В МОРСКИХ ПОРТАХ
И ТЕРМИНАЛАХ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.22.19 - «Эксплуатация водного транспорта, судовождение»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



005557975

Калининград 2014

Работа выполнена в «Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет».


- Научный руководитель -** кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор
Мойсеевко Сергей Сергеевич
- Официальные оппоненты -** доктор технических наук, профессор
Лукинский Валерий Сергеевич,
Санкт-Петербургский филиал ФГАУ ВПО
«Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», научный руководитель
Научной лаборатории исследований в области
логистики
- кандидат технических наук
Погодин Владимир Алексеевич,
ООО «Морское строительство и технологии»,
технический директор
- Ведущая организация -** ФГБОУ ВПО «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»

Защита диссертации состоится 18 декабря 2014 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 223.009.05 при ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова» по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, ул. Косая линия, 15-а, ауд. 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова:
<http://gumrf.ru/useruploads/files/dissevet/d22300905>

Автореферат разослан «...» 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 223.009.05
канд. техн. наук


О. А. Изотов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения эффективности работы и конкурентоспособности российских морских портов и терминалов. Эффективность их работы зависит, в свою очередь, от качества организации и управления процессами обработки грузов.

На практике управление обработкой грузов в морских портах (терминалах) часто осуществляется традиционными методами, основанными на опыте и интуиции, которых в настоящее время уже недостаточно для выработки и принятия эффективных решений. На современном этапе развития рынка стивидорных услуг в условиях обостряющейся конкурентной борьбы за грузопотоки морские порты и терминалы заинтересованы в поиске оптимальных решений, которые вырабатываются на основе математических методов. Тем не менее, их применение ограничено тем, что морской порт (терминал) практически невозможно полностью формализовать и представить в виде единой математической модели, особенно в условиях, когда на работу порта (терминала) существенно влияют случайные факторы.

С другой стороны, в настоящее время в связи с интенсивным развитием компьютерных технологий стало возможным широкое применение имитационных моделей, которые формируются на основе математических моделей отдельных процессов морского порта (терминала) и позволяют находить оптимальные решения в условиях неопределенности.

Степень разработанности темы

Вопросам имитационного моделирования работы морских портов и терминалов посвящены многие работы российских и зарубежных исследователей.

Среди зарубежных исследователей наибольший вклад в развитие методов оптимизации управления морскими портами и терминалами на основе имитационного моделирования внесли Henesey L., Legato P., Merkurjev Y., Merkurjeva G., Zeng Q., Yang Z., Park N.-K., Sacone S., Siri S., Dragović B., Zrnčić N., Boukachour J., Bruzzone A., Rizzoli A. E., Gambardella L. M., Zaffalon M., Mastrolilli M., Trunfio R., Arango C., Nicoletti L., Cortes P., Tremori A., Longo F., Shabayek A.A., Yeung W.W., Benghalia A., Boudebous D., Greenwood A., Dzieliński A., Sukienik J., Amborski K., Pawłowski A, Kowalczyk P., Najib M., El Fazziki A., Georgijević M., Bojanić V., Bojanić G. и другие.

В число наиболее выдающихся отечественных исследователей в области управления морскими портами входят Степанец А.В., Ветренко Л.Д., Ананьина В.З., Фролов А.С., Кузьмин П.В., Дерябин Р.В., Золотарев В.И. и другие. Следует отдельно упомянуть российских ученых и специалистов, в работах которых применительно к задачам управления портом используются имитационные методы, в частности: Кузнецова А.Л., Бондареву И.О., Ханову А.А., Спасского Я.Б.

Как зарубежные, так и отечественные исследователи чаще всего применяют имитационные методы и модели для решения частных задач управления, уделяя недостаточное внимание разработке методов оптимизации работы порта (терминала) в условиях, когда заранее неизвестны узкие места в его работе и параметры, за счет которых можно повысить ее эффективность.

Цель диссертационного исследования заключается в повышении эффективности планирования и управления обработкой грузов в морских портах и терминалах за счет применения имитационных методов оптимизации.

Научная задача исследования заключается в разработке и обосновании методов планирования обработки грузов в морских портах, основанных на применении имитационного моделирования и позволяющих выявлять резервы роста эффективности обработки грузов при большом количестве управляемых переменных.

Предмет исследования: производственные процессы морских портов и грузовых терминалов.

Объект исследования: модели и методы оптимального управления перегрузочными процессами морских портов

Исследование проводится в границах производственных систем морских портов общего пользования.

Задачи исследования:

1) разработать стохастические математические модели потоков грузов и транспорта, процессов перегрузки и хранения грузов и оценить их адекватность с использованием эмпирических данных;

2) сформировать структуру имитационной модели морского порта (терминала) за счет систематизации его процессов и параметров и оценить адекватность этой модели;

3) применить имитационную модель для решения задач оптимизации управления ресурсами, стратегического планирования и управления в условиях неопределенности;

4) разработать методiku планирования обработки грузов в порту (терминале) и исследовать пути интеграции этой методики в систему управления.

Научная новизна

1. Разработана математическая модель входящих в порт (терминал) и исходящих из него транспортных потоков. Отличительная особенность данной модели заключается в том, что она учитывает степень регулярности потока, позволяет оценить характер зависимости потока от времени и легко интегрируется в имитационную модель порта (терминала).

2. Предложена методика вероятностного исследования продолжительности стоянки транспорта в портах (на терминалах) и ее оценки в ходе имитационного испытания с помощью случайной функции.

3. Предложен и описан метод систематизации процессов обработки грузов в имитационной модели порта (терминала), обеспечивающий ее точность и адекватность.

4. Представлено решение задач оптимизации концентрации технологических линий, длины причала и вместимости склада с применением имитационного моделирования.

5. Разработан индикаторный подход к оптимизации обработки грузов в морском порту (терминале), основанный на выявлении отклонений конечного множества управляемых переменных от оптимальных значений и их последовательной корректировке с целью максимального приближения выбранного критерия эффективности к минимуму (максимуму). Для обозначения показателей, указывающих на необходимость корректировки управляемых параметров, введено понятие "индикаторная переменная".

Теоретическая и практическая значимость

Систематизированы методы решения задач управления работой портов и терминалов, основанные на имитационном моделировании. Впервые предложен индикаторный подход, обобщающий эти методы и применимый для нахождения резервов роста эффективности обработки грузов в портах (терминалах), а также раскрывающий способ использования этих резервов для достижения оптимальных значений всех управляемых переменных, для которых определены соответствующие индикаторы.

Использование изложенных в работе методов оптимизации позволяет повысить эффективность управления обработкой грузов в морских портах (терминалах), добиться улучшения основных экономических и эксплуатационных показателей, увеличить эффективность использования ресурсов и минимизировать непроизводительные расходы.

Результаты работы рекомендуются к применению в морских портах, а также на отдельных морских терминалах с различной интенсивностью и структурой грузопотоков.

Методология и методы исследования

Теоретико-методологическим фундаментом работы являются системный подход и теория систем, теория массового обслуживания и принятия решений, методы компьютерного моделирования и эконометрики. При исследовании портов (терминалов) применялись методы, основанные на теории вероятностей и математической статистике. В работе также использовались положения теории управления (менеджмента) и логистики, экономической теории для подкрепления ряда суждений и выводов.

На защиту выносятся

1. Вероятностные математические модели поступления транспортных и грузовых потоков в морской порт (терминал), а также процессов перевалки и хранения грузов, предназначенные для интеграции в имитационную модель.

2. Методы решения задач оптимизации концентрации технологических линий при планировании и организации погрузо-разгрузочных работ, оптимизации длины причала и площади склада, оптимизации стратегии развития перегрузочного комплекса в условиях неопределенности на основе имитационного моделирования.

3. Методика планирования обработки грузов в морском порту (терминале), основанная на индикаторном подходе и предназначенная для выявления внутренних резервов роста эффективности обработки грузов, а также способы ее внедрения в систему управления портом (терминалом).

Степень достоверности и апробация результатов работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на X Юбилейной международной конференции "Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона Балтийского моря: новые вызовы и ответы" 29-31 мая 2012 года (г. Светлогорск, Калининградская область), XI Международном форуме "Балтийский морской форум" (г. Светлогорск, Калининградская область), 15-й Международной конференции по имитационному моделированию в области портовой, морской и мультимодальной логистики (25-27 сентября 2013 года, г. Афины, Греция), 11-й Международной конференции по логистике и устойчивому транспорту (19-21 июня 2014 года, г. Целе, Словения).

Разработанная методика оптимизации работы порта (терминала), а также алгоритмическое и программное обеспечение для проведения имитационных экспериментов используются в учебном процессе при подготовке инженеров по организации перевозок и управлению на транспорте, а также бакалавров по управлению водными и мультимодальными перевозками в БГАРФ.

Положения, изложенные в работе, а также предложенные методы и модели прошли экспериментальную проверку в ООО "Балтийская стивидорная компания". Результаты свидетельствуют о возможности применения предлагаемых методов и моделей в практической деятельности терминала.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 4 в журналах, рекомендованных ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ "BaltInLog PortInvest" №2013614879 от 22.05.2013. Заявка №2013612260 от 22.03.2013.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, описана степень ее разработанности, сформулирована проблема, цель и задачи исследования, научная новизна, а также его теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена обзору литературы по имитационному моделированию портов и терминалов, описанию, систематизации и классификации задач управления портом (терминалом), которые решаются с применением компьютерных моделей. Рассмотрены подходы к решению данных задач и достигнутые результаты.

Выделено четыре группы задач, решаемых с помощью имитационных моделей морских портов и терминалов:

- 1) задачи управления ресурсами;
- 2) задачи стратегического планирования и инвестиционного проектирования;
- 3) задачи адаптивного управления портом в условиях нестабильной внешней среды;
- 4) задачи подготовки специалистов по организации перевозок и управлению на транспорте.

Для первых трех групп задач, связанных с планированием работы порта (терминала), описан ряд общих подходов к их решению. Изучены вопросы применения вспомогательных методов и моделей при решении данных задач с помощью имитационного моделирования.

Кроме того, рассмотрены особенности применения имитационного моделирования к решению тактических и стратегических задач управления морскими портами и терминалами.

В результате анализа, проведенного в первой главе, отмечено, что вопросы применения имитационных методов для решения отдельных задач управления портами и терминалами, прежде всего контейнерными, изучены достаточно глубоко. При этом мало внимания уделяется разработке методов повышения общей эффективности портов и терминалов на основе компьютерных моделей, которые позволили бы в ходе экспериментов определять "узкие места" и проблемы в их работе и планировать ее переход в лучшее состояние за счет корректировки ее параметров, алгоритмов выполнения некоторых операций и структуры.

Для проведения имитационных экспериментов нами применяется собственная среда имитационного моделирования BaltInLog PortInvest, написанная нами на языке C++.

Во второй главе описан общий алгоритм работы компьютерной программы при проведении имитационных экспериментов (рис. 1), состав входных и выходных данных, система показателей, используемых для оценки испытаний, способы интерпретации результатов. Большое внимание уделяется структуре имитационной модели порта (терминала) и методам систематизации отдельных событий и процессов для придания ей достоверности и адекватности. Рассматривается и решается проблема моделирования взаимодействия между смежными видами транспорта в порту (терминале) и влияние этого взаимодействия на поток грузов. Кроме того, приводятся методы анализа грузовых потоков порта (терминала), а также основных протекающих в нем процессов.

Имитационный эксперимент начинается с загрузки данных, затем модельное время t приравнивается ко времени начала имитации t_n , после чего программа переходит к инициализации стартовых процессов.

Следующие элементы блок-схемы формируют двойной цикл. После увеличения модельного времени на величину Δt , зависящую от определяемой пользователем скорости имитации, программа сравнивает модельное время с моментом завершения имитации t_k , заданном в настройках. Зная моменты завершения процессов t_i , программа выбирает наименьший из них $t_{i \min}$. Выполнение условия $t > t_{i \min}$ говорит о наступлении события, и программа переходит к его моделированию.

После каждого события, не связанного с постановкой процесса в очередь, выполняется процедура его переопределения в соответствии со значением типа процесса k_i :

- 0 — процесс прибытия транспорта;
- 1 — процесс погрузки (выгрузки);
- 2 — процесс хранения груза;
- 3 — процесс выгрузки (погрузки).

Перегрузочные процессы начинаются при соблюдении следующих условий:

— наличие достаточной длины причала, железнодорожных путей и доступность грузовых фронтов;

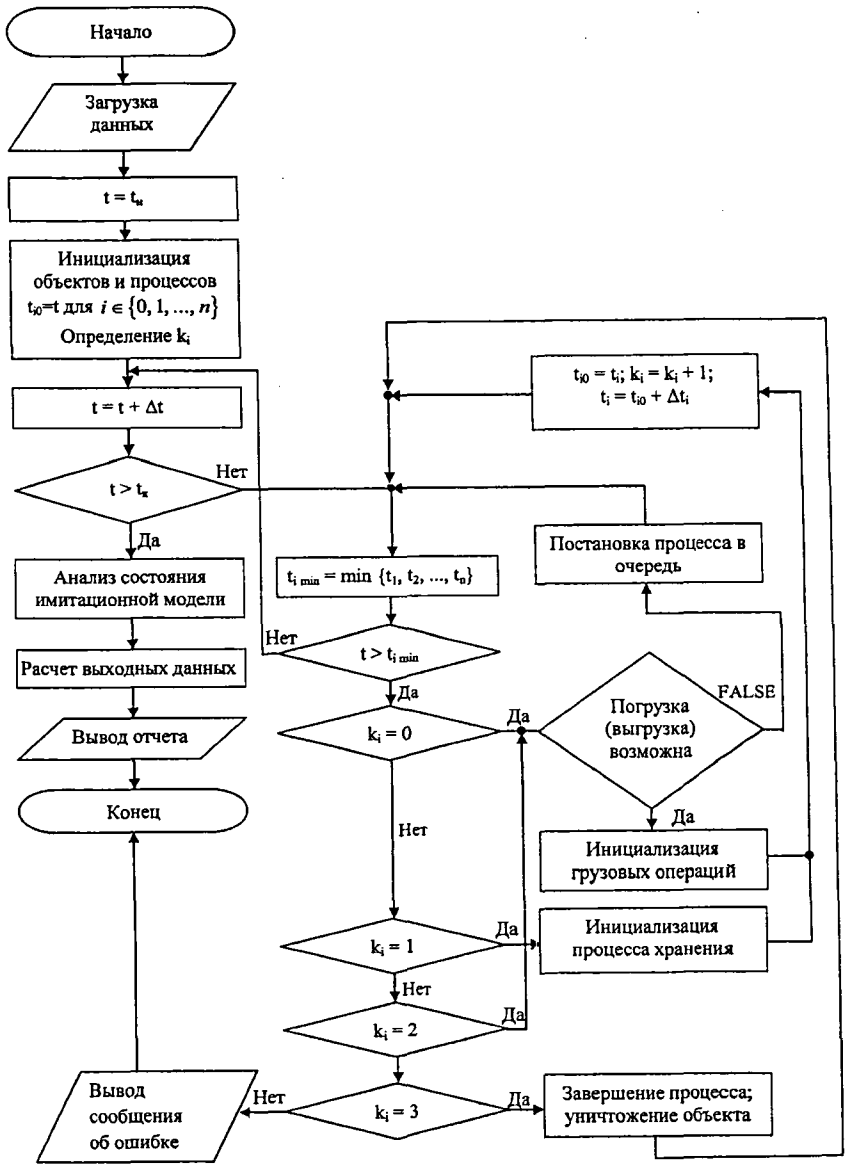


Рисунок 1 — Блок-схема алгоритма имитационного моделирования порта в программе PortInvest

— наличие свободного оборудования и рабочей силы в соответствии с применяемой технологией;

— наличие свободного места на складе.

Если хотя бы одно из условий не выполняется, процесс ставится в очередь.

Для обеспечения соответствия между реальным портом или терминалом и его имитационной моделью необходимо провести анализ протекающих в нем процессов и их параметров, разработать математические модели этих процессов и интегрировать их в компьютерную модель порта (терминала). Для определения параметров процессов, особенных для каждого порта (терминала), проводится статистический анализ эмпирических данных о протекающих процессах.

Если тот или иной процесс описывается случайными величинами, то характеризующие их распределения и их параметры необходимо отбирать и проверять с помощью критерия согласия Пирсона.

Определяющим для порта (терминала) фактором, влияющим на его функционирование и развитие, являются потоки грузов и транспорта. В предложенной нами математической модели потока судов интервалы между судозаходами подчиняются гамма-распределению, учитывающему последствие потока, с плотностью:

$$f(t_{c,n}) = \frac{\lambda \cdot (\lambda t_{c,n})^{r-1} e^{-\lambda t_{c,n}}}{\Gamma(r)}, \quad (1)$$

где $t_{c,n} \geq 0$ — интервал между заходами судов для потока с последствием;

r — параметр гамма распределения, характеризующий в данном случае последствие потока;

λ — масштабный параметр гамма-распределения;

$\Gamma(r)$ — гамма-функция.

Кроме того, для работы с нестационарными потоками судов используется «ведущая функция» $\Lambda(t)$, которая на промежутке $[t; t + \Delta t]$ выражается следующим образом:

$$\Lambda_{t, t+\Delta t} = \int_t^{t+\Delta t} \lambda(t) dt \quad (2)$$

Плотность распределения интервалов между судозаходами в нестационарном потоке с последствием выражается следующим образом:

$$f(\Delta t) = \frac{\lambda(t^* + \Delta t) \cdot (\Lambda_{t^*, t^* + \Delta t})^{r-1} e^{-\Lambda_{t^*, t^* + \Delta t}}}{\Gamma(r)} \quad (3)$$

где t^* — время предыдущего события

Для достоверного и адекватного имитационного моделирования потока судов необходимо оценить показатель последствия r и зависимость интенсивности потока от времени $\lambda(t)$ по эмпирическим данным (выборке). Параметры r и λ связаны формулой:

$$r = \lambda \bar{t}_c = const, \quad (4)$$

где \bar{t}_c — выборочное среднее (средний интервал между судозаходами).

Однако формула (4) не учитывает нестационарность потока. Поэтому ее можно использовать для анализа потока судов только после преобразования выборки данных с помощью функции интенсивности потока $\rho(t)$, которую можно оценить методом корреляционно-регрессионного анализа. Так как число судозаходов в единицу времени обратно пропорционально среднему интервалу между ними, то с учетом (4) можно вывести:

$$\rho(t) \approx \frac{\lambda(t)}{\bar{t}_c} \quad (5)$$

После этого можно устранить нестационарность потока, пересчитав интервалы между судозаходами t_{ci} в выборке по формуле:

$$t_{ci}' = \frac{t_{ci} \rho(t_0 + t_{ci})}{\rho(t_0)} \quad (6)$$

Из полученной выборки уже можно извлечь параметры гамма-распределения методом моментов, связав их с дисперсией гамма-распределения:

$$D(t_{ci}') = \frac{r}{\lambda^2} \quad (7)$$

Так как параметр λ является переменным, нам потребуется функция, описывающая его изменение с течением времени. Ее можно вывести, используя формулу (5) с учетом пропорциональности λ и ρ :

$$\lambda(t) = \hat{\lambda} \frac{\rho(t_0 + t)}{\rho(t_0)} \quad (8)$$

При моделировании потоков вагонов и автотранспорта предложенный метод необходимо скорректировать с учетом влияния на них потока судов.

Загрузка транспорта определяется в ходе компьютерного моделирования на основе лимитирующей грузоподъемности транспортных средств (чистая грузоподъемность для вагонов и автомашин; дедвейт для судов) с использованием бета-распределения и связанного распределения Джонсона (JSB):

$$Q_m = \begin{cases} Q_{m1} \sim \beta_1 D_s, \beta \sim \text{Beta}(\alpha_{11}, \alpha_{12}), \text{ если } Q_s = Q_m, Q_a = Q_m \\ Q_{m2} \sim \beta_2 W / \mu, \beta \sim \text{Beta}(\alpha_{21}, \alpha_{22}), \text{ если } Q_s = Q_m, Q_a = Q_m \\ Q_{m3} \sim \text{JSB}(\alpha_{31}, \alpha_{32}, 0, Dw), \text{ если } Q_c = Q_m \\ Q_{m3} \sim \text{JSB}(\alpha_{31}, \alpha_{32}, 0, Dw_{\max}), \text{ если } Q_c = Q_m \end{cases} \quad (9)$$

где Q_c — загрузка судна;

Q_s — загрузка вагона;

Q_a — загрузка автомашины;

Dw — дедвейт расчетного судна;

Dw_{\max} — максимальный дедвейт судна, заходящего в порт или на терминал.

Параметры бета-распределения и распределения Джонсона определяются по эмпирическим данным соответственно с помощью метода моментов и по процентилям. Первые два параметра распределения Джонсона рассчитываются по формулам:

$$\begin{cases} \hat{\alpha}_2 = (z_\gamma - z_\beta) / \ln \frac{x_\gamma (D_{v,\max} - x_\beta)}{x_\beta (D_{v,\max} - x_\gamma)}, \\ \hat{\alpha}_1 = z_\beta - \hat{\alpha}_2 \ln \frac{x_\beta}{D_{v,\max} - x_\beta} \end{cases} \quad (10)$$

где z_γ, z_β — соответственно γ -100-й и β -100-й проценти стандартного нормального распределения при $\beta, \gamma \in (0,1)$;

x_γ, x_β — соответствующие эмпирические проценти.

При дальнейшей проработке имитационной модели необходимо выяснить способ определения времени нахождения транспорта в порту (терминале), которое включает время грузовых $t_{гр}$, вспомогательных операций $t_{всп}$, а также время простоев и ожидания обработки $t_{пр}$.

Поскольку продолжительность грузовых операций зависит от загрузки транспортных единиц и интенсивности перегрузочных работ, с учетом неопределенности стояночного времени справедливо выражение:

$$\hat{t}_{ст} \approx \frac{Q_{т.г.}}{P_{т.г.} \cdot n_{т.г.}} + \overline{t_{всп}} + \overline{t_{пр}}$$

где Q_T — загрузка транспорта, т (ед., шт., TEU, м³);

$\frac{P_{т.л.}}{n_{т.л.}}$ — производительность одной технологической линии, т (ед., шт., TEU, м³)/ч;

$n_{т.л.}$ — среднее число одновременно работающих технологических линий.

Чтобы также учесть наблюдаемое на практике отклонение фактического стояночного времени от оцениваемого значения, введем случайную величину Ψ , равную отношению фактического стояночного времени (оцениваемого случайной функцией $T_{cm}(Q_T)$) к его регрессионной оценке для загрузки Q_T и инвариантную по отношению к этой загрузке:

$$\Psi = T_{cm}(Q_m) / \hat{t}_{cm}(Q_m) \quad (12)$$

Плотность распределения этой величины $f(\psi)$, очевидно, не является симметричной. Это объясняется тем, что она жестко ограничена снизу производительностью перегрузочного оборудования ($\psi > 0$), сверху же в общем случае ограничений нет, поскольку задержки в производстве грузовых операций всегда возможны. Поэтому данная случайная величина должна подчиняться распределениям Вейбулла, Пирсона V и VI (при $\alpha \geq 2$) типов, логнормальному или лог-логистическому, а также гамма- (при $\alpha = \tau \geq 2$) и треугольному распределению (приближенно при недостатке данных).

Из формулы (12) следует:

$$T_{cm}(Q_m) = \Psi \hat{t}_{cm}(Q_m) \quad (13)$$

Таким образом, $T_{cm}(Q_m)$ представляет собой случайную функцию, которую непосредственно можно использовать при моделировании грузовых работ.

При перегрузке по складскому варианту программа должна также определять случайную продолжительность хранения груза T_{xp} . Как показал проведенный нами статистический анализ работы Калининградского морского торгового порта, наиболее точно продолжительность хранения грузов в порту характеризуется гамма-распределением (реже логнормальным).

Для создания имитационной модели порта или терминала все процессы необходимо систематизировать и структурировать, определить основные связи между ними на уровне параметров, например так, как это показано на рис. 2.

Важную роль играет подход к моделированию взаимодействия различных транспортных потоков (рис. 3), при реализации которого мы опираемся на случайную величину Θ , характеризующую интервал времени от прибытия транспортной единицы, ввозящей груз, до появления транспортной единицы, вывозящего его. При этом:

1) продолжительность хранения считается от момента завершения стоянки транспорта при его выгрузке;

2) если период стоянки ввозящего груз транспорта пересекается с периодом стоянки вывозящего, то партия груза, передаваемая с одного транспорта на другой идет по прямому варианту, в противном случае отправляется на склад.

При складском варианте используется следующее соотношение:

$$\Theta = \Theta_0 + T_{cm,ex} \quad (14)$$

где $T_{cm,ex}$ — время стоянки в порту (терминале) транспорта, ввозящего груз, под грузовыми и вспомогательными операциями, часов.

Θ_0 — продолжительность хранения груза, часов.

Тогда плотность распределения Θ определяется зависимостью:

$$f(\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(z) \chi(\theta - z) dz \quad (15)$$

где $\varphi(z)$ и $\chi(\theta - z)$ — плотности распределения соответственно Θ_0 и $T_{cm,ex}$.

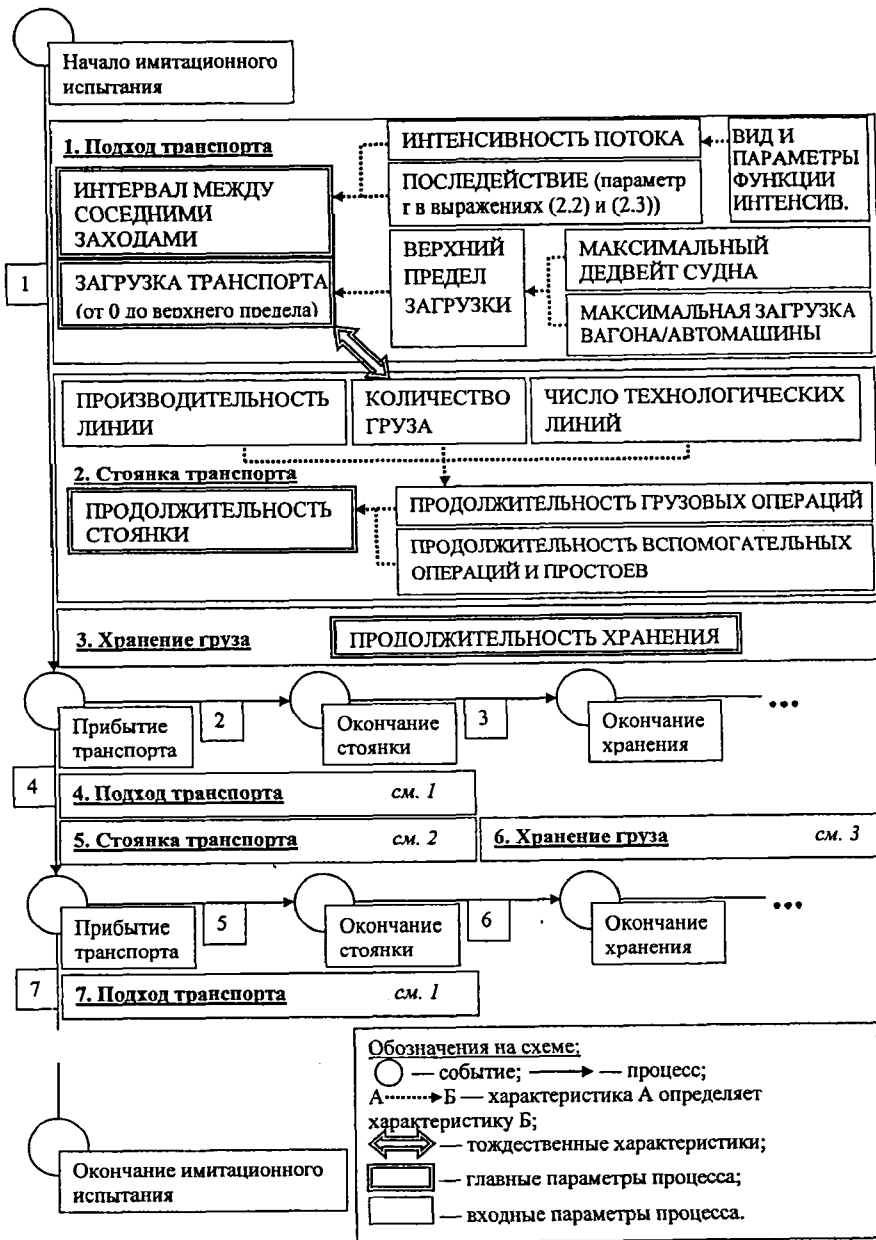


Рисунок 2 — Структура имитационной модели морского порта (терминала)

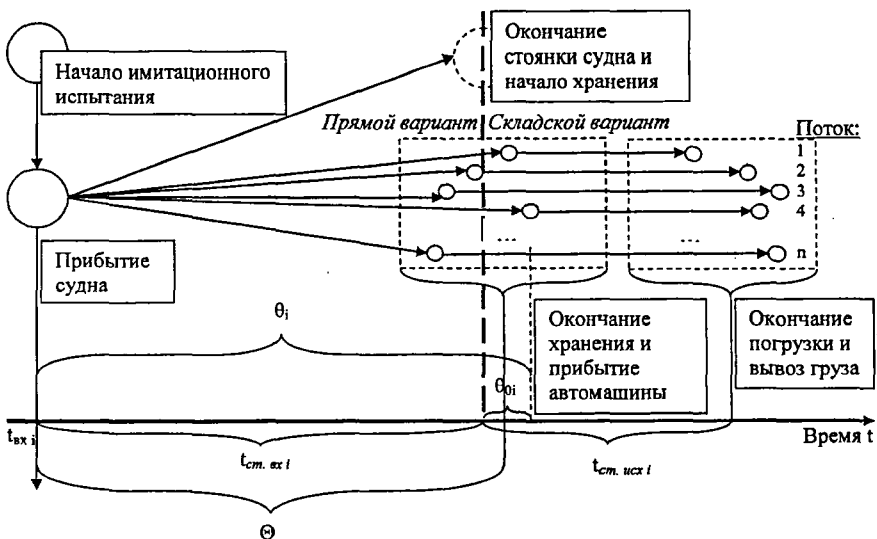


Рисунок 3 — Схема моделирования процессов и событий при взаимодействии ввозящего груз потока судов и вывозящего груз потока автомашин

В третьей главе описываются методы и приводятся примеры решения ряда практических задач порта (терминала) с помощью имитационной модели и рассматривается индикаторный подход к оптимизации функционирования и развития порта (терминала). Рассмотрены следующие задачи:

- определение оптимальной концентрации технологических линий при обработке судов;
- нахождение потребной длины причала и вместимости склада;
- оптимизация стратегии развития в условиях нестабильной внешней среды.

Результаты имитационных испытаний по определению оптимальной концентрации технологических линий представлены в табл. 1. Все экономические показатели здесь и далее измеряются в условных единицах (у.е.).

Таблица 1 — Определение оптимальной концентрации технологических линий

Концентрация линий на участках работ	Основные экономические показатели, тыс. у.е.			Средняя занятость, в процентах				ЧДЦ, тыс. у.е.
	доходы	расходы	прибыль	причала	рабочих	склада	кранов	
Низкая (по 1 линии)	1672	843	829	23,65	5,44	27,29	5,04	805
Средняя (по 2 линии)	1399	716	682	11,55	4,91	22,59	4,58	663
Высокая (по 3 линии)	1456	866	589	8,5	5,87	23,99	5,35	574
Равномерная	1627	886	740	24,35	5,34	26,36	4,96	717

По табл. 1 видно, что изменение только приоритетов комбинаций технологических схем повлияло на все выходные параметры. Так, низкая концентрация технологических линий обеспечивает прибыль порта примерно на 22% и 41% выше по сравнению со средней и высокой концентрациями соответственно.

Другой важной задачей является оптимизация стратегических планов и инвестиционных проектов. В качестве примера рассмотрен участок перегрузочного комплекса, используемый для перегрузки контейнеров. Допустим, нам необходимо найти оптимальную вместимость склада и длину причала при условии, что расширение складских площадей и причала потребует капиталовложений. При этом наличие достаточной длины причала и вместимости склада позволит порту (терминалу) избежать убытков связанных с простоем транспорта и невозможностью принять груз. Предположим также, что в данный момент в порту может одновременно храниться контейнеров общим объемом не более 3000 TEU, а длина причала составляет 210 м.

Результаты испытаний представлены в табл. 2 (текущие значения управляемых переменных выделены курсивом).

Таблица 2 — Результаты имитационного эксперимента

Показатель		Основные экономические показатели, тыс. у.е.			Средняя занятость, в процентах				ЧДД, тыс. у.е.
		доходы	расходы	прибыль	причала	рабочих	склада	кранов	
Длина причала, м	150	5020	4248	772	55,23	13,36	43,18	12,47	745
	180	4862	3722	1140	45,58	13,05	39,14	12,23	1099
	210	5039	3467	1572	40,72	13,55	40,60	12,71	1524
	240	4769	1608	3161	33,89	12,92	38,46	12,15	3065
	270	5245	1235	4010	32,49	13,34	42,34	13,23	3894
	300	5253	1155	4098	31,62	13,29	40,15	12,34	3979
Вместимость склада, TEU	2600	4278	5363	-1085	17,92	11,46	79,10	10,72	-1039
	2800	4377	3661	1172	18,45	11,75	75,36	11,02	1135
	3000	4489	2944	1545	18,83	12,00	72,33	11,23	1508
	3200	4435	1219	3216	18,85	11,94	66,33	11,20	3130
	3400	4170	999	3171	17,43	11,20	59,35	10,50	3083
	3600	4322	947	3375	18,05	11,57	58,23	10,83	3281

Однако увеличение длины причала требует значительных затрат, связанных с арендой, приобретением или строительством дополнительного участка причала. При этом стоимость приобретения или строительства следует распределить на весь период эксплуатации причала. Необходимые для этого расчеты приводятся в диссертационной работе и указывают на то, что оптимальная длина составляет 270 м.

Наконец, нами была рассмотрена задача оптимизации стратегии порта в условиях неопределенности внешней среды. Предположим, что в ближайшей перспективе может произойти два независимых совместимых события:

- 1) увеличение грузопотока на 20% с вероятностью 0,45;
- 2) рост цен на топливо, горюче-смазочные материалы и электроэнергию, приводящий к увеличению стоимости часа работы подъемно-транспортных машин в среднем на 30% с вероятностью 0,60.

Комбинации этих событий образуют сценарии S_1 , S_2 , S_3 и S_4 с вероятностями 0,22, 0,18, 0,33 и 0,27 соответственно.

В качестве возможных реакций на данные события нами были рассмотрены четыре стратегии порта. Результаты экспериментов приведены в табл. 3, а их оценка осуществляется ниже в соответствии с критериями оптимальности решений в условиях неопределенности.

Таблица 3 — Матрица значений чистого дохода $V(A,S)$ для сочетаний стратегий (A) и сценариев (S), тыс. у.е.

Сценарии внешней среды		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Среднее	Среднее арифметическое
Вероятности сценариев		0,22	0,18	0,33	0,27		
Стратегия	A ₁	3726	5097	3500	4730	4169	4263
Стратегия	A ₂	3954	4797	3806	3726	3995	4071
Стратегия	A ₃	4753	5646	4591	5515	5066	5126
Стратегия	A ₄	4320	5263	4553	5482	4880	4905

По критерию Вальда:

$$A^* \in \max_A \left\{ \min_{S_j} V(A, S_j) \right\} \quad (17)$$

Получим $\max(3500; 3726; 4591; 4320) = 4591$ тыс. у.е. Оптимальная стратегия — A₃.

По критерию Байеса:

$$A^* \in \max_A \left\{ M(V(A, S_j)) \right\} \quad (18)$$

Приняв во внимание вероятности сценариев, получим следующее: $\max(4169; 3995; 5066; 4880) = 5066$ тыс. у.е. Оптимальная стратегия — A₃.

По критерию Лапласа вероятности сценариев принимаются равными:

$$A^* \in \max_A \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V(A, S_j) \right\}, \quad (19)$$

где n — число сценариев.

Используя предварительно рассчитанные средние арифметические значения чистого дохода по стратегиям, получим: $\max(4263; 4071; 5126; 4905) = 5126$ тыс. у.е. Оптимальная стратегия — A₃.

Для использования критерия Сэвиджа необходимо сначала рассчитать матрицу потерь по формуле:

$$R(A, S_j) = \max_A \{V(A, S_j)\} - V(A, S_j) \quad (21)$$

После этого к матрице применяется максиминный критерий. В результате оптимальной стратегией снова оказалась A₃.

Критерий Гурвица учитывает степень оптимизма, определяемую параметром α ($0 \leq \alpha \leq 1$):

$$A^* \in \max_A \left\{ \alpha \max_{S_j} V(A, S_j) + (1-\alpha) \min_{S_j} V(A, S_j) \right\} \quad (22)$$

Примем $\alpha = 0,3$, тогда $\max(0,3 \cdot 5097 + 0,7 \cdot 3500; 0,3 \cdot 4797 + 0,7 \cdot 3726; 0,3 \cdot 5646 + 0,7 \cdot 4591; 0,3 \cdot 5482 + 0,7 \cdot 4320) = \max(3979; 4047; 4908; 4669) = 4908$ тыс. у.е. Оптимальная стратегия — A₃.

Когда речь идет о задаче оптимизации системы обработки грузов в целом, методы, ориентированные на поиск оптимальных значений отдельных управляемых переменных, обычно недостаточны для ее решения. Это связано с тем, что мы не можем знать заранее, значения каких (лимитирующих) параметров должны быть изменены для повышения эффективности морского транспортного узла.

Для решения этой проблемы нами было введено понятие индикаторных показателей (индикаторов), позволяющих судить о рациональности или оптимальности управляемых параметров системы обработки грузов. В общем случае они зависят не только от

соответствующих им управляемых параметров, но и от критерия эффективности, а также от уровня и объекта управления. Индикаторы определяются только по результатам имитационных испытаний, поэтому их точность зависит от количества повторений каждого испытания. Если индикатор показывает нерациональность выбранного значения управляемого параметра, задача его оптимизации решается отдельно.

В качестве основных критериев эффективности нами рассматривается прибыль порта (терминала) и чистый дисконтированный доход соответственно для оценки краткосрочных и долгосрочных мероприятий.

Для вывода индикаторов длины причала, количества перегрузочного оборудования и рабочих, а также вместимости склада предположим, что каждый метр причала требует инвестиций R_L и увеличивает годовые постоянные расходы на MFC_L , стоимость закупки единицы оборудования по видам задана вектором R_T , а прирост годовых постоянных расходов — вектором MFC_T , увеличение вместимости склада на 1т (м^3 , TEU) стоит R_W , но годовые постоянные расходы при этом возрастают на MFC_W . Содержание одного дополнительного рабочего обходится в MFC_D в год.

Нехватка всех указанных ресурсов приводит к задержкам перегрузочных работ и, как следствие, к убыткам порта (терминала) и судовладельца, которые при задержках из-за недостатка длины причала, перегрузочного оборудования, вместимости склада и рабочих соответственно равны P_L , P_T , P_W и P_D у.е. в год.

При использовании чистого дисконтированного дохода в качестве критерия эффективности расширение причала выгодно тогда, когда он положителен. Это позволяет выразить соответствующий индикатор следующим образом:

$$I_L = \frac{(P_L - MFC_L)(1+r)}{r \cdot R_L} - \Delta L_{\min} \geq 0 \quad (23)$$

где T — рассматриваемый период, в годах;

ΔL — прирост длины причала в результате его расширения, м;

r — ставка дисконтирования;

ΔL_{\min} — минимальный прирост длины причала, м.

Использование формулы (23) возможно при следующих допущениях:

— причалы используются в течение длительного периода времени;

— P_L и MFC_L , а также объем и структура грузопотоков в течение этого периода в среднем не меняются.

Положительные значения индикатора отражают дефицит длины причала, указывая, насколько его целесообразно расширить. Для индикации нерациональной вместимости складов используется аналогичная формула.

Количество оборудования — целочисленный параметр, причем приобретение даже одной единицы имеет смысл. Сначала выразим потребность в оборудовании:

$$N_W = \frac{(P_W - MFC_W)(1+r)}{r \cdot R_W} \quad (24)$$

Все элементы вектора N_W округляются до целого, в результате чего мы получаем вектор индикаторов I_W . Если выполняется условие $i_{W_i} > 0$, то целесообразно осуществить закупки соответствующего перегрузочного оборудования.

Для индикации нерационального числа рабочих применяется более простой индикатор, не учитывающий фактор времени:

$$I_D = P_D - MFC_D > 0 \quad (25)$$

При выводе индикатора концентрации технологических линий необходимо учесть, что при «распылении» портовых ресурсов на несколько участков работ общее стояночное время транспорта увеличивается, а при сосредоточении падает эффективность использования этих

ресурсов. Для индикации нерациональной концентрации введем сначала показатель эффективности организации перегруженного процесса:

$$E_{\text{орг}} = \frac{M_v(n_{\text{м.л.}})t_{\text{см}}}{KHB \cdot n_{\text{м.л.}}}, \quad (26)$$

где $t_{\text{см}}$ — продолжительность смены, час;

$n_{\text{т.л.}}$ — количество технологических линий;

$M_v(n_{\text{т.л.}})$ — чистая интенсивность грузовых работ (зависит от $n_{\text{т.л.}}$), т (ед., TEU)/час;

KHB — комплексная норма выработки, т/смену.

Уровень организации, в свою очередь, влияет на расходы, связанные с осуществлением перегруженных процессов. Поэтому переменные расходы на перегрузку по заданной технологии и варианту работ мы можем определить по формуле:

$$VC_n = \frac{Q \cdot C_{\text{эл. см}}}{KHB \cdot E_{\text{орг}}}, \quad \text{у.е.} \quad (27)$$

где Q — количество груза (загрузка транспорта), т (ед., TEU);

$C_{\text{эл. см}}$ — стоимость работы элементов технологической линии (рабочих, перегруженных машин, устройств) в течение смены, у.е./смену.

С другой стороны, убытки транспорта, связанные со стоянкой в порту (терминале), можно считать пропорциональными стояночному времени. При оптимальной концентрации сумма этих расходов и переменных расходов порта должна быть минимальной, т.е.:

$$C_{\text{общ}} = VC_n + C_{\text{ст}}t_{\text{см}} \rightarrow \min, \quad (28)$$

где $C_{\text{ст}}$ — издержки стоянки транспорта в порту, у.е./час.

В качестве второго слагаемого в формуле (28) можно использовать и сумму демереджа.

Теперь подставим формулу (26) в (27) и с помощью полученного выражения перепишем выражение (28) для перегруженного процесса, в течение которого не меняется число работающих технологических линий. Раскроем также стояночное время $t_{\text{ст}}$. В результате получим следующее:

$$\frac{Q \cdot C_{\text{эл. н.м.л.}}}{M_v(n_{\text{м.л.}})} + C_{\text{ст}} \left(\frac{Q}{M_v(n_{\text{м.л.}})} + t_{\text{ст}} \right) \rightarrow \min, \quad (29)$$

где $C_{\text{эл. н.м.л.}}$ — стоимость работы элементов технологической линии в течение часа, у.е./час.

Так как $n_{\text{т.л.}}$ есть натуральное число, способное принимать малое количество значений, при нахождении минимума можно опираться на эффект от прироста $n_{\text{м.л.}}$ на единицу:

$$\begin{aligned} E_{\Delta n_{\text{м.л.}}} &= \frac{Q(C_{\text{эл. н.м.л.}} + C_{\text{эл. см}} + C_{\text{ст}})}{M_v(n_{\text{м.л.}} + 1)} - \frac{Q(C_{\text{эл. н.м.л.}} + C_{\text{эл. см}})}{M_v(n_{\text{м.л.}})} = \\ &= Q \left(\frac{M_v(n_{\text{м.л.}})C_{\text{эл. н.м.л.}} - (M_v(n_{\text{м.л.}} + 1) - M_v(n_{\text{м.л.}}))(C_{\text{эл. н.м.л.}} + C_{\text{эл. см}})}{M_v(n_{\text{м.л.}} + 1)M_v(n_{\text{м.л.}})} \right) \end{aligned} \quad (30)$$

Если функция $M_v(n_{\text{м.л.}})$ является монотонной и разность $M_v(n_{\text{м.л.}} + 1) - M_v(n_{\text{м.л.}})$ уменьшается с ростом $n_{\text{м.л.}}$, нетрудно приравнять выражение в числителе к нулю и найти близкое к оптимальному значение $n_{\text{м.л.}}$, а также путем подстановки в выражение (29) ближайших натуральных чисел и оптимальное значение $n_{\text{м.л.}}^*$, в противном случае $n_{\text{м.л.}}^*$ определяется путем перебора всех допустимых значений $n_{\text{м.л.}}$.

Тогда в качестве индикаторного показателя следует рассматривать:

$$I_{\text{м.л.}} = \left| \overline{n_{\text{м.л.}}} - n_{\text{м.л.}}^* \right|, \quad (31)$$

где $\overline{n_{\text{м.л.}}}$ — средняя концентрация технологических линий.

Индикаторный параметр соотношения между прямым и складским вариантом можно рассчитывать следующим образом:

$$I_{\text{п.п.}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{п.п.}}} \Delta C_i$$

где $n_{\text{п.п.}}$ — количество перегрузочных процессов за один прогон имитационной модели;

$$\Delta C_i = \begin{cases} C_{\text{д}} - C_{\text{м}}, & \text{если } C_{\text{д}} > C_{\text{м}} \text{ и выбран складской вариант} \\ 0, & \text{если } C_{\text{д}} \leq C_{\text{м}} \text{ и выбран складской вариант} \\ 0, & \text{если } C_{\text{д}} \geq C_{\text{м}} \text{ и выбран прямой вариант} \\ C_{\text{м}} - C_{\text{д}}, & \text{если } C_{\text{д}} < C_{\text{м}} \text{ и выбран прямой вариант} \end{cases}, \quad (33)$$

где $C_{\text{д}}$, $C_{\text{м}}$ — общие издержки, связанные со стоянкой транспорта и производством перегрузочных работ в i -ом перегрузочном процессе соответственно при использовании складского и прямого варианта.

Для расчета данных издержек следует использовать формулы (27) и (28).

Таким образом, поставив в соответствие каждому управляемому параметру параметр-индикатор и отслеживая его значения, мы можем непосредственно корректировать состояние модели, обеспечивая постепенное движение к оптимальному плану. Общая блок-схема оптимизации по индикаторам показана на рис. 4.

В диссертации нами была рассмотрена и решена задача оптимизации обработки грузов в порту на основе индикаторного подхода. Результатом решения подобных задач является ряд рекомендаций порту (в нашем примере приобретение 3 ричстакеров, увеличение числа рабочих в смене на 8 человек и расширение причала на 97,4 м).

В результате последовательного определения наиболее близких к оптимальным (при доступной вычислительной мощности и продолжительности испытаний) значений управляемых переменных в демонстрационном примере нам удалось добиться увеличения прибыли в 3,81 раз, хотя эффект в общем случае зависит от того, насколько эффективно используются ресурсы порта (терминала) до оптимизации.

Алгоритм, раскрывающий технологию практического применения индикаторного подхода (рис. 4), может использоваться на каждом уровне и цикле управления. При этом необходимо учитывать следующие факторы:

- 1) набор управляемых параметров;
- 2) методы их оптимизации;
- 3) критерии эффективности и целевая функция (при этом в рамках уровня управления он должен оставаться неизменным);
- 4) методы расчета индикаторов (также зависят от критерия эффективности).

Индикаторный подход легко интегрируется в систему непрерывного планирования работы портов и терминалов, что позволяет оценивать эффективность имитационных моделей в управлении ими и создает условия для развития систем автоматизированного управления. Среды имитационного моделирования в подобных системах выполняли бы ключевую роль при реализации функций прогнозирования и планирования, оптимизации плановых показателей, выборе рационального поведения в условиях неопределенности.

В заключении приведены выводы и рекомендации по результатам проведенных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработан комплекс математических моделей и имитационных методов оптимизации управления обработкой грузов в морских портах и терминалах, в том числе в условиях неопределенности. Данный комплекс позволяет существенно повысить качество управленческих решений, эффективность работы и конкурентоспособность порта (терминала).

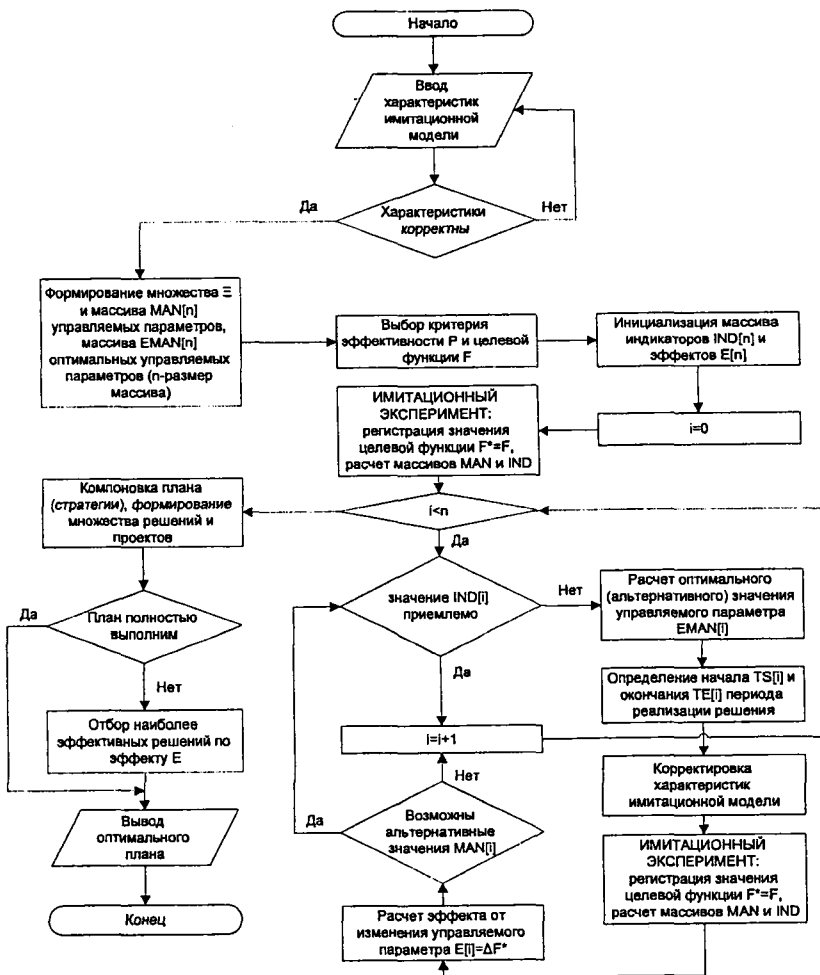


Рисунок 4 — Укрупненная блок-схема методики планирования обработки груза в порту (терминале) на основе имитационной модели с применением индикаторного подхода

В качестве основного инструмента выступает методика обеспечения оптимального режима обработки грузов в порту (терминале) на основе разработанного нами индикаторного подхода. Данный подход предполагает последовательное нахождение и корректировку лимитирующих управляемых переменных, значения которых относительно далеки от оптимальных. Это позволяет существенно сократить объем работы по имитационному исследованию всего порта (терминала) и выделить основные проблемные участки, требующие более глубокого изучения. На основе анализа этих "узких мест" разрабатывается комплекс

наиболее действенных мероприятий, направленных на максимизацию или минимизацию заданного критерия эффективности.

Применение этого подхода на практике позволит добиться значительного роста прибыли порта (терминала) за счет снижения себестоимости перевалки единицы груза без увеличения стивидорных тарифов, а также будет способствовать развитию технологий автоматизированного планирования и управления. Такие технологии приведут к сокращению потребности портов и терминалов в административно-управленческих кадрах и снижению роли человеческого фактора в процессе принятия решений.

К другим значимым результатам можно отнести:

1) Систематизированы основные задачи управления морскими портами и терминалами, при решении которых применяются имитационные методы и модели. Выделены конкретные методы их решения и полученные результаты, а также критерии эффективности.

2) Разработана методика систематизации процессов обработки грузов, входящих в имитационную модель морского порта (терминала). Данная методика позволяет обеспечить высокую точность и адекватность моделирования, так как учитывает главные факторы, оказывающие влияние на тип и параметры процессов морского порта (терминала) и характер движения сквозных грузопотоков (в их числе вариант работ и перегрузки, вид и характеристики транспорта, ввозящего и вывозящего груз). Поскольку при использовании данной методики всегда требуется меньше информации, чем можно взять из статистических данных моделируемого порта (терминала), то избыточная информация может применяться для проверки точности и адекватности модели.

3) Разработаны стохастические модели основных процессов портов и терминалов (поступления транспорта, перегрузочных процессов и хранения) на основе анализа теоретического и практического материала. Эти модели позволяют четко обозначить параметры процессов и основные факторы, оказывающие на них влияние. Модели представлены в достаточно формализованном виде для интеграции их в любую имитационную модель порта (терминала) вне зависимости от используемого средства моделирования, поэтому они могут без доработки использоваться в других научных работах и компьютерных моделях.

4) Решен ряд отдельных задач оптимизации работы порта (терминала), недостаточно изученных в литературе по имитационному моделированию:

— задача оптимизации управления трудовыми и техническими ресурсами порта (терминала) путем определения необходимой концентрации технологических линий при проведении перегрузочных работ; решение этой задачи позволило повысить экономическую эффективность порта на 41%;

— задача определения оптимальной длины причального фронта и вместимости склада с учетом одновременности эффекта от мероприятий по увеличению длины или вместимости и затрат, связанных с реализацией этих мероприятий;

— задача оптимизации стратегии порта в условиях неопределенности на основе критериев теории принятия решений;

— задача системной оптимизации порта с выявлением отклонений управляемых переменных от оптимальных значений и формированием плана мероприятий по их корректировке, решение которой позволило в 3,81 раза увеличить прибыль порта.

Методы и приемы решения этих задач, а также многих других задач, рассмотренных в литературе по имитационному моделированию портов и терминалов, позволяют существенно дополнить индикаторный подход и расширить его возможности.

Дальнейшее развитие предложенного в работе индикаторного подхода возможно за счет расширения множества управляемых переменных, совершенствования планирования и организации имитационных экспериментов, а также за счет создания и развития форм интеграции индикаторного подхода в систему непрерывного планирования работы порта (терминала). Для этого необходимо провести ряд дополнительных исследований в области математического моделирования транспортно-технологических процессов и процессов управления, исследовать и систематизировать наиболее эффективные алгоритмы принятия

решений в порту (терминале) и интегрировать данные модели и алгоритмы в имитационную модель порта (терминала).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1) Семенов, К.М. Вероятностная математическая модель поступления транспортных потоков в морской порт / К. М. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2013. — Вып. 1. — С. 175-180.

2) Семенов, К.М. Методика систематизации процессов в дискретно-событийной модели морского порта / К. М. Семенов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология. — Астрахань: Издательство АГТУ, 2013. — №2. — С. 184-192.

3) Мойсеенко, С.С. Имитационное моделирование в подготовке специалистов по организации перевозок / С.С. Мойсеенко, К.М. Семенов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки (теория и методика профессионального образования): научный журнал. — 2013. — №4. — С. 77-82.

4) Семёнов, К. М. Стохастическое исследование продолжительности стоянки судов в порту / К. М. Семенов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология. — Астрахань: Издательство АГТУ, 2014. — №1. — С. 100-108.

В других изданиях:

5) Семенов, К.М. Имитационное моделирование взаимодействия элементов в системе «порт-флот» / К. М. Семенов // Материалы межвузовской научно-технической конференции курсантов и студентов, посвященной 45-летию БГАРФ «День науки» (18 апр. — 5 мая 2011). — Калининград: Издательство БГАРФ, 2011. — С. 110-115.

6) Семенов, К.М. Исследование работы порта как саморегулирующейся системы в рыночной среде / К. М. Семенов // Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона Балтийского моря: новые вызовы и ответы. — Материалы X Юбилейной международной конференции, 29-31 мая 2012 г. — Ч. 2. — Калининград: Издательство БГАРФ, 2012. — С. 290-296.

7) Семенов, К.М. Методы имитационного моделирования потоков грузов в транспортных узлах / К. М. Семенов // Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров. Материалы 13-й межвузовской научно-технической конференции аспирантов, докторантов, соискателей и магистрантов (19-26 октября 2012 г.). — Калининград: Издательство БГАРФ, 2013. — С. 33-38.

8) Семенов, К.М. Комплекс задач и методов оптимизации управления работой порта / К.М. Семенов, С.С. Мойсеенко // Балтийский морской форум: материалы международного морского форума, 28-31 мая 2013 г. — Калининград, Изд-во БГАРФ, 2013. — С. 191-198.

9) Мойсеенко, С.С. Имитационное моделирование работы портовых терминалов / С.С. Мойсеенко, К.М. Семенов // Балтийский морской форум: материалы международного морского форума, 28-31 мая 2013 г. — Калининград, Изд-во БГАРФ, 2013. — С. 191-198.

10) Semyonov, C. An integrated resource-based approach to port and terminal simulation modelling / C. Semyonov // Proceedings of The 15th International Conference on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation HMS, 2013. P. 13-17.

11) Semyonov C. Port performance optimisation by simulation using efficiency indicators / C. Semyonov // Proceedings of The 11th International Conference on Logistics and Sustainable Transport, 2014. 1 CD-ROM.

Семёнов Константин Михайлович

**ПЛАНИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ГРУЗОВ В МОРСКИХ ПОРТАХ И
ТЕРМИНАЛАХ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Автореферат

Лицензия № 021350 от 28.06.99 г

Подписано в печать 15.10.2014 г.

Объем 1,5 п.л. Тираж 80 экз.

Издательство БГАРФ

Формат 60 x 84/16

Печать офсетная. Заказ №810-14

*Балтийская государственная
академия рыбопромыслового
флота*

*236029, Калининград,
ул. Молодежная, 6*