

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

УДК 65.012.2"43":656.61.001.5(043.3)

**ШИБАЕВ Александр Григорьевич**

**ЭКОНОМИКО–МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ  
ФЛОТОМ МОРСКОГО ПАРОХОДСТВА**

Специальность 08.03.02  
"Экономико – математические методы и модели"

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора экономических наук

Одесса – 1996 год.



00757259 (Z)

380.4  
Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Одесском государственном морском университете (ОГМУ).

Научный консультант:

доктор экономических наук, профессор Воевудский Евгений Николаевич.

Официальные опоненты:

академик НАН Бакаев Александр Александрович  
(Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН);

доктор физико-математических наук, профессор Ляшенко Игорь Николаевич  
(Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко);

доктор экономических наук, старший научный сотрудник  
Алехин Алексей Борисович  
(МНП ЭКОС).

Ведущая организация — Институт проблем рынка и экономика-экологических исследований НАН.

Защита состоится "20" декабря 1996 г. на заседании специализированного совета Д 05.11.01 при Одесском государственном морском университете по адресу: 270029, Одесса, ул. Мечникова, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского государственного морского университета по адресу: 270029, Одесса, ул. Мечникова, 34.

Автореферат разослан "16" ноября 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат экономических наук, доцент

И. В. Морозова

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.

### 1.1. Актуальность проблемы.

Эффективное функционирование транспорта как базовой сферы материального производства во многом определяет темпы, ритмичность и результативность социально-экономического развития страны. Транспорт является общим условием развития общественного процесса производства и роста производительных сил. В настоящее время неудовлетворительна динамика экономических показателей развития и работы морского транспорта. В связи с этим, совершенствование системы управления приобретает особое значение. Одним из основных направлений, в котором оно ведется связано с моделированием транспортных процессов, применением экономико-математических методов и проектированием автоматизированных систем на базе новых информационных технологий. В условиях рыночных отношений субъектов транспортного процесса разработка и внедрение подобных систем существенно повысит экономическую эффективность производственных связей и улучшит конечные результаты производственной деятельности морских судоходных предприятий. Оснащение эксплуатационных подразделений и вычислительных центров пароходств современной электронно-вычислительной техникой, а также развитие математических теорий оптимизации управления таких как: теория игр, оптимальных дискретных процессов, иерархических многоуровневых систем и др., создали необходимые условия для разработки и внедрения в практику работы судоходных компаний автоматизированных систем и моделей принятия решений. Как показывает проведенный критический обзор литературы и исследований по проблеме

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

моделирования транспортного процесса и управления им все существующие достижения (выводы, положения, рекомендации) недостаточно полно учитывают основные системные принципы и не отражают условия рыночных отношений. Следовательно, для проведения исследований в области экономико-математического моделирования процессов перевозки грузов флотом морского пароходства имеются следующие основные предпосылки:

экономическая - переход Украины к рыночной экономике;  
техническая - приобретение и установка в эксплуатационных подразделениях пароходств локальных сетей персональных компьютеров;

технологическая - ориентация на современную схему распределенной обработки информации в локальной сети персональных компьютеров;

научная - необходимость полной реализации системного подхода в моделировании процессов управления перевозкой грузов и работой флота морского пароходства;

историческая - наличие опыта и позитивных результатов, достигнутых в отрасли при создании и эксплуатации автоматизированных систем управления.

Таким образом, одним из ведущих направлений обеспечения эффективного функционирования транспортного механизма в условиях рыночной экономики является адекватное экономико-математическое моделирование ее закономерностей, выраженных в конкуренции, эквивалентном обмене, равноправном партнерстве и взаимной выгоде. Это определяет актуальность исследований, теоретическое и практическое их значение.

### 1.2. Цель и задачи работы.

Основная цель диссертационного исследования состоит в разработке теоретических основ моделирования процессов перевозки и работы флота направленных на совершенствование и повышение эффективности производственной деятельности морского пароходства. Исходя из цели поставлены следующие основные задачи, которые представляют собой отдельные локальные проблемы:

дать анализ перевозочного процесса и системы управления на морском транспорте, литературы и исследований по теме диссертации;

сформулировать основные положения системы управления транспортным процессом;

разработать и исследовать комплекс алгоритмов распределения грузопотоков на бассейне и движения тоннажа в регионе деятельности флота морского пароходства;

разработать и исследовать комплекс моделей и методов моделирования загрузки судов морского пароходства;

разработать и исследовать комплекс моделей и методов оптимизации перевозок и работы флота при различных уровнях достоверности исходной информации;

сформулировать основные положения методического обеспечения принятия решений в автоматизированной системе управления перевозками и работой флота пароходства.

### 1.3. Объект исследования.

В качестве объекта исследования принята основная (эксплуатационная) деятельность морского судоходного предприятия.

#### 1.4. Предмет исследования.

Предметом исследования являются модели и методы описания процессов перевозки грузов флотом морского пароходства.

#### 1.5. Теоретическая и методологическая основа исследования.

Методологическую основу исследований составили законы, закономерности и принципы управления социально-экономическими объектами, а также системный подход и анализ процессов и явлений.

В ходе исследования изучены отечественные и зарубежные публикации по вопросам экономики и управления морским транспортом, а также разработки проектных и научно-исследовательских организаций. Теоретическим фундаментом исследования явились труды ведущих ученых и специалистов в области экономико-математического моделирования, эксплуатации и управления флотом. В диссертационной работе использованы методы: теорий игр, оптимального управления, вероятности, графов, линейного, динамического программирования и имитационного моделирования, а также эвристические методы.

Информационной базой исследования послужили материалы развития судоходства в мире, отдельных странах и отчетные данные о работе флота морских пароходств Украины.

#### 1.6. Научная новизна.

Научная новизна диссертационной работы выражается в том, что впервые проведено системное исследование процессов перевозки грузов флотом морского пароходства и предложен на его основе комплекс моделей и методов принятия решений адекватно отражающих современное состояние рыночных отношений субъектов транспортного процесса.

Характер новизны результатов исследования заключается в следующем:

проведенный анализ и синтез транспортного процесса позволяет оригинально по сравнению с имеющимися решениями установить и обосновать полный перечень задач в соответствии с особенностями объекта управления, а также реализовать связи между подсистемами и задачами;

сформулированные предпосылки и разработанная концептуальная модель автоматизированной системы управления транспортным процессом более полно реализует основные системообразующие принципы;

разработанные методологические основы моделирования процессов в системе перевозки грузов позволяют оригинально решить проблему оптимизации функционирования отдельных подсистем в условиях их конкуренции и равноправного партнерства;

предложенные методические положения функционирования автоматизированной системы управления перевозками и работой судов развивают отраслевые разработки в этой области для современных условий работы судоходных предприятий;

спроектированная деловая игра впервые для морского транспорта позволяет принимать решения на основе управленческой имитационно-игровой модели;

предложенная оптимизация загрузки морских судов при формировании графика работы флота с использованием математических моделей ранее не производилась. При этом, в зависимости от уровня достоверности исходной информации применяются имитационная и многокритериальная модели. Весовые коэф-

фициенты целевой функции многокритериальной модели устанавливаются на базе теории матричных игр, что позволяет учесть неопределенность информации о структуре грузопотоков;

разработанные модели оптимизации плана размещения грузов в грузовых помещениях судна и распределения грузов между судами оригинально по сравнению с имеющимися вариантами решают поставленные задачи;

распределение грузопотоков на бассейне впервые формализовано моделью кооперативной игры, характеризующей, через конфликт, конкуренцию субъектов транспортного процесса;

разработанная имитационная модель формирования с помощью ЭВМ схем движения и маршрутов работы морских судов развивает достоинства существующих решений в этой области;

сформулированная задача формирования графика работы флота на основе информации "декадного" уровня достоверности впервые для морских грузовых судов решена на основе модели и методов теорий бескоалиционных игр и оптимального управления. Это позволило: а) перейти от статических моделей к модели динамической, отвечающей существу рыночных отношений в транспортном процессе; б) эффективно решить вопрос выбора и реализации метода оптимизации графика работы флота на основе дискретного принципа максимума;

разработанный алгоритм закрепления судов на маршрутах на основе информации "месячного" уровня достоверности базируется на ранее не использовавшемся для решения этой задачи эвристическом методе;

разработанная детерминированная модель оптимальной расстановки грузовых судов на основе информации "квартально-

го" уровня достоверности отличается от известных более полным учетом особенностей исследуемого перевозочного процесса;

используемая для оптимизации перевозок и работы флота на основе информации "годового" и "пятилетнего" уровней достоверности, стохастическая модель впервые построена на базе теории матричных игр.

#### 1.7. Практическая ценность.

Практическая ценность результатов исследования состоит в адекватном моделировании в современных условиях процессов перевозки грузов флотом судоходного предприятия, что позволяет:

повысить эффективность и качество принимаемых на основе моделей и методов управленческих решений;

сократить затраты труда работников эксплуатационных подразделений пароходств за счет применения современных технологий в локальной сети персональных компьютеров.

#### 1.8. Апробация и реализация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на:

научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОГМУ в 1978-96 гг.;

Всесоюзном семинаре "Деловые игры и их программное обеспечение" научного совета ЦЭМИ АН СССР по комплексной проблеме "Оптимальное планирование и управление народным хозяйством" в 1979 г.;

Всесоюзной научно-технической конференции "Математические методы и модели в АСУ водного транспорта" в 1981 г.;

семинаре "Автоматизированные системы управления на

морском транспорте" научного совета НАН Украины по проблеме "Кибернетика" в 1981-86 гг.;

международной научной конференции "Рубинштейновские чтения" в 1992 г.;

международной научно-методической конференции "Новые информационные технологии обучения в учебных заведениях Украины" в 1994 г.;

производственно-технических совещаниях Советского Дунайского пароходства в 1980-82 гг. и Азовского морского пароходства в 1990 г.

Разработанные в ходе исследования:

комплекс программ и следующие документы: "Методические положения по оптимальной расстановке морского флота пароходства в системе ведения НГРФ", "Методические положения расчета графиков работы морского флота в системе АСВ НГРФ СДП", "Инструктивно-методические материалы по расчету проекта графика работы морского флота в системе ведения НГРФ СДП" внедрены в практику работы Советского Дунайского пароходства;

нормативно-технические документы: "Методические основы системы управления эксплуатационной деятельностью пароходства", "Модель системы управления" утверждены и приняты к использованию в Азовском морском пароходстве;

деловая игра по ведению непрерывного графика работы флота пароходства внедрены в учебный процесс факультета повышения квалификации при ОИИМФ;

отдельные положения и модели внедрены в учебный процесс факультета Управления морским транспортом ОГМУ и Одесского института управления.

Результаты диссертационного исследования также нашли свое отражение в хозяйственных и госбюджетных научно-исследовательских работах, выполненных по заказу Министерства морского флота и отдельных пароходств.

#### 1.9. Публикации.

Материалы диссертации освещены в 27 научных изданиях, из которых две монографии, а также представлены в восьми отчетах по хозяйственной НИР и начиная с 1985 г. ежегодных госбюджетных отчетах по НИР кафедры "Организация и методы управления морским транспортом" ОГМУ.

#### 1.10. Объем и структура работы.

Общий объем диссертации составляет 236 страниц машинописного текста и состоит из введения, семи глав, заключения, четырех таблиц, 17 рисунков, библиографий 139 наименований, приложений.

### 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.

В результате решения первой задачи диссертационного исследования, которая посвящена анализу перевозочного процесса и системы управления работой флота:

установлены особенности морского транспорта как объекта управления;

выполнена декомпозиция системы перевозки грузов флотом морского пароходства;

проведен синтез отдельных задач в систему управления транспортным процессом;

дана характеристика существующих подходов к созданию автоматизированных систем, как одному из ведущих направлений совершенствования управления на морском транспорте;

проведен анализ разработанных в настоящее время по теме диссертационного исследования моделей и методов их реализации на ЭВМ.

Морской транспорт Украины представлен тремя основными судоходными компаниями: "Бласко" (Черноморское морское пароходство), "Аско" (Азовское морское пароходство) и "Украинское Дунайское пароходство". Он имеет значительные преимущества по сравнению с другими видами транспорта.

Перевозочный процесс представляет собой экономическую систему, которая входит составной частью в более общую - морской транспорт. Подсистемами, оказывающими основное влияние на функционирование перевозочного процесса на море являются грузы и флот ("ГРУЗ", "СУДА"). Дальнейшая декомпозиция системы позволила получить полный перечень задач и связей между ними для обеспечения повышения эффективности транспортного процесса. Несмотря на большое число работ, которые посвящены этой проблеме до сих пор нет единого мнения (подхода) к декомпозиции системы. Это приводит к нарушению основного системного принципа - целостности, то есть принципиальной несводимости свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и невозможности из последних свойств получить целое.

Для проведения декомпозиции подсистем "ГРУЗ" и "СУДА" установлены признаки и последовательность ее выполнения, которые позволяют устранить отмеченные недостатки. Для обеих подсистем структурирование проведено в двух направлениях (разрезах): объекта и субъекта управления.

Каждая задача, входящая в подсистему представляет собой

элемент многомерного пространства управления, координатами которого являются признаки декомпозиции. Поставим ей в соответствие булеву переменную, принимающую значения 1, если в системе управления необходимо решать задачу, 0 - в противном случае. Тогда для формирования конкретного перечня задач в зависимости от условий работы флота судоходного предприятия необходимо и достаточно указать значение каждой из координат и булевой переменной. Идентичные признаки декомпозиции как объекта, так и субъекта управления в подсистемах "ГРУЗ" и "СУДА" дают возможность синтезировать систему управления транспортным процессом.

Анализ автоматизированных систем управления морским транспортом показал, что им присущи значительные недостатки. Попытка их преодолеть на базе локальных вычислительных сетей была предпринята в рамках "Многоуровневой системы оперативного управления перевозками грузов во взаимодействии с другими видами транспорта и клиентурой с использованием вычислительной техники" (АСУ "Оперплан"). Начатые 1 января 1983 г. разработки не получили своего завершения, как это предусматривалось техническим заданием на систему. Основными причинами этого послужили: структурные изменения в стране и, как следствие этого в отрасли; ошибки в организации и проектировании аналогичные тем, которые были допущены при создании АСУ "Морфлот", АСВ НРФ и прежде всего нарушение целостности системы.

Анализ литературы и исследований по вопросам моделирования транспортного процесса показал, что существующие модели, как правило, статичны, в совокупности не обеспечивают комп-

лексное решение проблемы и реализуют действующую на момент их создания централизованную систему управления перевозками и работой флота.

Как ранее отмечалось, вторая задача диссертационного исследования направлена на разработку основных положений системы управления транспортным процессом. В результате ее решения: сформулированы и обоснованы предпосылки построения модели системы управления; разработана концептуальная модель автоматизированной системы управления; сформулированы методические основы моделирования процессов в системе.

В основу исследований положены системобразующие принципы такие как: диалектическое единство и взаимозависимость системы и внешней среды; структурность и иерархичность; целостность; множественность описания системы. Результатом явились основные исходные предпосылки построения концептуальной модели системы управления транспортным процессом и моделей функционирования отдельных ее подсистем и конкретных объектов.

Поиск путей повышения эффективности транспортного процесса определяет цель создания автоматизированной системы управления основной (эксплуатационной) деятельностью пароходства (АСУ СЭДП). Концепция системности предполагает изучение проблемы проектирования АСУ СЭДП, как системы. Установлено, что она является большой и сложной. Первое определяется тем, что имеется значительное количество элементов и связей, второе - неоднородностью этих элементов и связей, многообразием их свойств и признаков выделения. Поэтому, описание модели системы дано в двух непосредственно несво-

димых к одному аспектам: морфологическом и функциональном.

Сложность системы управления перевозочным процессом определяет целесообразность ее рассмотрения с учетом иерархии, то есть в виде совокупности парных уровней с соответствующими им объектами управления и степенью агрегирования входных и выходных данных. Следовательно, возникает необходимость формирования задач в подсистемах таким образом, чтобы обеспечить оптимальное решение для системы в целом.

Моделирование взаимодействия субъекта управления с функционированием отдельных подсистем нижнего уровня (объекта управления) основано на реализации "жесткого" (прямого) и "нежесткого" способов.

"Жесткий" способ характеризуется тем, что распределение ресурсов системы и отдельных ее составляющих подсистем ведется на верхнем уровне управления. Установлено, что он реализуется на базе моделей линейного программирования.

"Нежесткий" способ взаимодействия элементов системы управления обеспечивает движение подсистем по траектории на основе внутренних стимулов в рамках общих и частных ограничений и выход каждой из них в свое оптимальное состояние. Композиция этих состояний определит оптимальное состояние всей системы. При этом учитывается взаимодействие подсистем. Сформированный в итоге проект решений будет не только оптимальным, но и в достаточной степени устойчивым. "Нежесткий" способ применяется при высокой степени достоверности исходной информации для выработки и принятия управленческих решений. Его реализация может быть проведена на основе двойственных оценок, теории игр, либо методов итера-

тивного агрегирования.

Третья задача диссертационного исследования посвящена проблеме распределения грузопотоков на бассейне и моделирования движения тоннажа. В результате ее решения: установлены достоинства, недостатки и основные направления исследований проблемы формирования транспортной сети и планирования перевозок; разработана модель распределения грузопотоков на бассейне на базе неантогонистической конфликтной ситуации в рамках кооперативной игры; предложена имитационная модель формирования схем движения, вариантов работы и маршрутов судов.

Анализ литературы и исследований по проблеме распределения грузопотоков и организации движения тоннажа показал, что, несмотря на значительное количество посвященных ей публикаций, она все еще остается актуальной. Прежде всего, это вызванное появлением рыночных отношений вопросы самоорганизации транспортных потоков и маршрутизации судов.

Известно, что генеральные грузы могут перерабатываться в большинстве портов бассейна. Экономическая самостоятельность портов позволяет им проводить погрузочно-разгрузочные работы на договорных условиях. Такого рода отношения грузопользователей и портов формализованы моделью кооперативной игры. Определены значения характеристической функции и множество платежей. В результате решения задачи установлены расходы грузопользователей и уровень ставок за переработку грузов в портах бассейна. При этом следует, что:

грузопотоки должны быть направлены в порты в пропорции, равной соотношению уровней ставок за переработку грузов;

уровень ставок и объем грузопотоков определяет ситуацию, которая является равновесной, то есть любое изменение одной из сторон уровня ставок, при условии, что все остальные придерживаются тех же самых, приведет к уменьшению выигрыша предпринявшей действия стороны.

Моделирование движения судов производится на базе сведений о структуре грузопотоков. Каждая пара портов отправления и назначения, между которыми должен быть выполнен определенный объем перевозок, служит основой для построения схем движения. Схемы движения в зависимости от грузоподъемности и грузоместимости судна, а также объема перевозок включают одну пару портов, две, три и большее количество пар портов. Схемы движения и соответствующая им загрузка судов определяют варианты их работы  $I_{ij}(k)$ , которые объединяются в маршруты  $M_j$ . Индекс  $k$  характеризует номер варианта работы в маршруте. На ряду с вариантами работы, связанными с перевозкой грузов, маршрут включает аренду судов, ремонт и т. д. В общем случае маршрут  $M_j$  определяется следующим образом:

$$M_j = (I_{ij}(0), \dots, I_{ij}(k), \dots, I_{ij}(T_c-1)) \quad (1)$$

$$I_{ij}(k) = \{a_i(k), a_j(k+1)\} \in L$$

$$a_i(k), a_j(k+1) \in A$$

где  $a_i(k)$ ,  $a_j(k+1)$  - порты захода, в которых судно свободно от обязательств предыдущего рейса;  $L$  - множество вариантов работы судна;  $A$  - множество портов;  $i, j$  - номера портов;  $T_c$  - количество рейсов судна, учитываемых в рассматриваемом периоде. При этом совокупность маршрутов для каждого судна с

описывается деревом  $Kc(A, L)$ .

К основным достоинствам данного подхода построения маршрутов относится то, что они имитируют работу судна в предстоящем периоде времени. Нет фиксированного закрепления за подпериодами грузопотоков и схем движения. Это позволяет учесть сроки поступления и вывоза грузов. Введение "шкалы" и варьирование ее элементами дает возможность исключить не- рациональные варианты схем движения и учесть положительный опыт их построения в пароходстве. Наряду с этим, система логических проверок позволяет выделить из всего множества вариантов работы те, которые отвечают требованиям их практической реализации. Это значительно снижает размерность задачи оптимизации работы флота.

В результате решения четвертой задачи разработан и исследован комплекс моделей и методов моделирования загрузки судов пароходства.

В работе установлено, что при широкой номенклатуре грузов возникает необходимость промежуточного агрегирования информации о грузопотоках для снижения размерности общей задачи оптимизации работы флота. Загрузка судов устанавливается в следующей последовательности:

агрегирование информации о грузопотоках и определение на ее основе допустимых вариантов загрузки тоннажа;

оптимизация решений по закреплению судов за маршрутами и уточнение их загрузки с учетом сроков, очередности подхода в порты и времени готовности грузов к отправке;

деагрегирование информации о загрузке судов.

Для определения вариантов загрузки судов на основе аг-

регированной информации о грузопотоках предложена имитационная модель. Деагрегирование информации о загрузке выполняется в границах отдельной схемы движения, либо по группе судов с учетом оптимального закрепления их за маршрутами.

Для первого случая предлагается следующая математическая модель задачи:

$$K1 \frac{\sum_{j=1}^{n1} \sum_{r=1}^{Rj} q_{jr} \cdot X_{jr}}{\tau-1 \cdot D_1} + K2 \frac{\sum_{j=1}^{n1} \sum_{r=1}^{Rj} u_{jr} \cdot q_{jr} \cdot X_{jr}}{W_k} +$$

$$+ K3 \frac{\sum_{j=1}^{n1} \sum_{r=1}^{Rj} f_{jr} \cdot q_{jr} \cdot X_{jr}}{\tau-1 \cdot K_{ap}} \longrightarrow \max \quad (2)$$

$$K1 + K2 + K3 = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n1} \sum_{r=1}^{Rj} q_{jr} \cdot X_{jr} \leq \frac{\tau-1}{D_1} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n1} \sum_{r=1}^{Rj} u_{jr} \cdot q_{jr} \cdot X_{jr} \leq W_k \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^{Rj} f_{jr} \cdot q_{jr} \cdot X_{jr} > F_{ja} \cdot Z_{ja} \quad (6)$$

(j = 1, 2, ..., n1; a = 1, 2, ..., A)

$$q_{jr} \cdot X_{jr} \leq Q_{jr} \quad (j = 1, 2, \dots, n_l; r = 1, 2, \dots, R_j) \quad (7)$$

$$X_{jr} = 0, 1, 2, \dots, P \quad (j = 1, 2, \dots, n_l; r = 1, 2, \dots, R_j) \quad (8)$$

В математической модели обозначено:

$Q_{jr}$  - масса груза  $r$ , заявленного к перевозке между парой портов  $j$ ;  $q_{jr}$  - масса грузового места  $r$ -го наименования груза пары портов  $j$ ;  $u_{jr}$  - удельный погрузочный объем груза  $r$  пары портов  $j$ ;  $f_{jr}$  - тарифная (фрахтовая) ставка за перевозку груза  $r$  между портами  $j$ ;  $R_{ar}^{\tau-1}$  - полные расходы судна за рейс, определяемые по результатам загрузки судна на итерации расчета  $\tau-1$ ;  $D_{ar}^{\tau-1}$  - чистая грузоподъемность судна на  $\tau-1$  итерации расчета;  $W_k$  - киповая грузоподъемность судна;  $F_{ja}$  - минимальная сумма фрахта, как условие захода в факультативный порт  $a$ , пары портов  $j$ ;  $K_1, K_2, K_3$  - весовые коэффициенты;  $Z_{ja}$  - переменный коэффициент, принимающий значения 1 или 0. Он определяется на этапе подготовки исходной информации и в расчете имеет конкретное значение.

$\tau_1$ , если пара портов  $j$  содержит факультативный  
|порт захода  $a$ ;

$Z_{ja} = < 0$ , если пара портов  $j$  не содержит факультативного  
|порта;

$X_{jr}$  - переменные, значения которых требуется определить в задаче. Они характеризуют количество грузовых мест  $r$ -го наименования груза, пары портов  $j$ . Все остальные обозначения те же, что и принятые выше.

Если задача решается с учетом предварительной загрузки судов, то вместо значения чистой грузоподъемности и грузоподъемности в правой части ограничений (4) и (5) соответс-

твенно указывается агрегированное значение количества груза для каждой пары портов  $q_j$  и занимаемый им объем  $W_j$ . В этом случае в неравенствах также исключается суммирование по парам портов.

Ограничения (4) и (5) предполагают, что количество грузов различных наименований не должно превышать величину грузоподъемности и грузовместимости судна. Неравенства (6) определяют требования выполнения условий захода в основные и факультативные порты схемы движения. Выражения (7) представляют ограничения по каждому роду груза, исходя из заявленного к перевозке его количества.

Выпуклая комбинация (2) - целевая функция, характеризует качество составляемой композиции грузов, причем, первое слагаемое является коэффициентом использования грузоподъемности по отправлению, второе - грузовместимости судна, а третье слагаемое характеризует уровень доходности от перевозки. В знаменателе третьей дроби записаны полные расходы судна в рейсе. Расчет времени рейса и эксплуатационных расходов производится по общеизвестным формулам на базе нормативов подсистемы "НОРМА".

Если груз мелкопартионный и большой номенклатуры, то такой грузопоток, как правило, характеризуется соотношением вида  $q_{jr} \cdot X_{jr} = Q_{jr}$ . Следовательно, партия груза должна входить в загрузку судна полностью, либо не входить вообще. В математических моделях это условие регулируется булевыми переменными, определяющими состояние  $X_{jr} = 1$ , когда партия груза  $r$  входит в оптимальный план загрузки и  $X_{jr} = 0$ , когда груз  $r$  к перевозке не принимается. Под значением  $q_{jr}$  при этом

понимает массу партии груза  $r$  пары портов  $j$ . Вместо условий (6) и (7) вводится ограничение:

$$\sum_{r=1}^{R_j} X_{jr} \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n_1) \quad (9)$$

с целью обеспечения грузом каждой пары портов схемы движения. В случае наличия грузов, требующих обязательной отправки, в математическую модель для них вводятся ограничения вида:

$$\sum_{j=1}^{n_1} X_{jr} = 1 \quad (r = 1, 2, \dots, R) \quad (10)$$

и задача сводится к оптимальному доукомплектованию судна грузами.

Коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  характеризуют долю каждого критерия в общем значении целевой функции (2). Задача определения значений этих коэффициентов формализована в виде математической модели принятия оптимальных решений в условиях антагонистического конфликта двух сторон - парходство и "внешняя среда", которая характеризуется структурой грузопотоков. Конфликт возникает ввиду того, что парходство часто не располагает точными сведениями о грузах, которые будут предъявлены к перевозке. "Внешнюю среду" в задаче целесообразно рассматривать как активного участника конфликта, который имеет диаметрально противоположные интересы. Результаты действия сторон задаются в виде матрицы  $A = [a_{ij}]$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ). Она формируется на базе прогнозных значений тарифных ставок, удельных погрузочных

объемов и зависимости, характеризующей целевую функцию (2).

Так как  $\sum_{i=1}^m \bar{K}_i = 1$ , то, естественно, рассматривать игру в

смешанных стратегиях. Известно, что при смешанных стратегиях всегда существует равенство:

$$\max_{k \in K} \min_{p \in P} Z(k, p) = \min_{p \in P} \max_{k \in K} Z(k, p) = V \quad (11)$$

где  $k$  и  $p$  - смешанные стратегии соответственно игрока 1 и 2,  $V$  - цена игры. Тогда игра сводится к решению следующих задач:

Математическая модель игрока 1.

$$\sum_{i=1}^m \bar{K}_i \longrightarrow \min \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \bar{K}_i \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

$$\bar{K}_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (14)$$

Математическая модель игрока 2.

$$\sum_{j=1}^n \bar{P}_j \longrightarrow \max \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{P}_j \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

$$\bar{P}_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

где  $\bar{K}_i = \frac{K_i}{V} \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad \bar{P}_j = \frac{P_j}{V} \quad (j = 1, 2, \dots, n);$

$$\sum_{i=1}^m \bar{K}_i = \frac{1}{V}; \quad \sum_{j=1}^n \bar{P}_j = \frac{1}{V}; \quad \frac{1}{V} = \bar{V}.$$

Задачи (12)-(14) и (15)-(17) являются двойственно-сопряженными. Следовательно, решения прямой задачи обеспечивает получение оптимальных значений переменных и двойственной задачи.

Деагрегирование информации о загрузке по группе судов выполняется на основе следующей разработанной математической модели линейного целочисленного программирования:

$$\sum_{M=1}^m \sum_{l=1}^{L_M} \sum_{j=1}^{n_l} \sum_{r=1}^{R_j} \Phi_{ljr}^M \cdot q_{ljr} \cdot X_{ljr}^M \longrightarrow \max \quad (18)$$

$$\sum_{r=1}^{R_j} q_{ljr} \cdot X_{ljr}^M \leq q_{lj} \quad (19)$$

(M = 1, 2, ..., m; l = 1, 2, ..., L\_M; j = 1, 2, ..., n\_l)

$$\sum_{r=1}^{R_j} u_{ljr} \cdot q_{ljr} \cdot X_{ljr}^M \leq W_{lj} \quad (20)$$

(M = 1, 2, ..., m; l = 1, 2, ..., L\_M; j = 1, 2, ..., n\_l)

$$\sum_{j=1}^{n_l} \sum_{r=1}^{R_j} f_{ljr} \cdot q_{ljr} \cdot X_{ljr}^M > F_{ja} \cdot Z_{lja}^M \quad (21)$$

(M = 1, 2, ..., m; l = 1, 2, ..., L\_M; j = 1, 2, ..., n\_l; a = 1, 2, ..., A)

$$\sum_{M=1}^m \sum_{l=1}^L q_{ljr} \cdot X_{ljr}^M \cdot Y_{lj}^M \leq Q_{jr} \quad (22)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n_l; r = 1, 2, \dots, R_j)$$

$$X_{ljr}^M = 0, 1, 2, \dots, P \quad (23)$$

$$(M = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, L_M; j = 1, 2, \dots, n_l; r = 1, 2, \dots, R_j)$$

Где  $\Phi_{ljr}^M$  - финансовый результат от перевозки судном груза  $r$  пары портов  $j$ , входящей в схему движения  $l$ , маршрута  $M$ ;  $q_{ljr}$  - масса грузового места  $r$ -го наименования (партии) пары портов  $j$ , схемы движения  $l$ , маршрута  $M$ ;  $Q_{jr}$  - масса груза  $r$ , заявленного к перевозке между парой портов  $j$ ;  $u_{ljr}$  - удельный погрузочный объем груза  $r$  пары портов  $j$ ;  $f_{ljr}$  - тарифная (фрахтовая) ставка за перевозку груза  $r$  между портами  $j$ ;  $q_{lj}$ ,  $W_{lj}$  - квоты грузоподъемности и грузовместимости пары портов  $j$  схемы движения  $l$ ;  $F_{ja}$  - минимальная сумма фрахта, как условие захода в факультативный порт  $a$ , парн портов  $j$ ;  $Z_{lja}^M$ ;  $Y_{lj}^M$  - переменные коэффициенты принимающие значения 0 или 1. Их значения устанавливаются на этапе подготовки исходной информации и в расчете имеют конкретное значение;

$r=1$ , если пара портов  $j$ , схемы движения  $l$ , маршрута  $M$ , содержит факультативный порт захода  $a$ ;  
 $Z_{lja}^M = <0$ , если пара портов не содержит факультативного порта захода.

$r=1$ , если пара портов  $j$  входит в состав схемы движения  $l$ , принадлежащей маршруту  $M$ ;

$Y_{lj}^M = <0$ , если пара портов  $j$  не входит в состав схемы движения  $l$ , принадлежащей маршруту  $M$ .

$X_{ljr}^M$  - параметр управления, характеризующий соответствующее количество грузовых мест в загрузке судна.

Целевая функция модели (18) определяет такое распределение грузов между судами, которое обеспечит максимум финансового результата от работы флота. Выражения (19), (20) и (22) характеризуют ограничения по количеству груза, а неравенства (21) определяют требование выполнения условий захода в основные и факультативные порты схемы движения.

Модель также применяется при реализации функции регулирования в случае изменения структуры грузопотоков.

Предложенная модель оптимизации размещения грузов в грузовых помещениях судна является основой составления грузовых планов при формировании их на судне и в порту. Для решения задачи все грузы предварительно разделены на три основные категории: 1, 2 - по транспортным характеристикам; 3 - по коммерческим условиям.

1). Грузы, размещение которых допустимо на палубе судна -  $Q_r^n$  ( $r = 1, 2, \dots, R'$ );

2). Грузы, погрузка которых возможна только во внутренние грузовые помещения -  $Q_r^B$  ( $r = R'+1, R'+2, \dots, R''$ );

3). Факультативные грузы, погрузка которых возможна после размещения основных грузов -  $Q_r^\Phi$  ( $r = R''+1, R''+2, \dots, R$ ).

Известны также: масса одного грузового места каждой партии груза -  $q_r$ , удельные погрузочные объемы  $u_{yr}$  груза  $r$  по грузовым помещениям  $y$  ( $y = 1, 2, \dots, Y$ ;  $r = R'+1, R'+2, \dots, R$ ), площадь палубы  $S_{yr}$  ( $y = 1, 2, \dots, Y$ ;  $r = 1, 2, \dots, R'$ ), которую займет одно грузовое место в случае если груз относится к первой категории. Тогда математическая модель задачи примет

следующий вид:

$$\sum_{y=1}^{Y'} \sum_{r=1}^{R'} K_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} + \sum_{y=Y'+1}^Y \sum_{r=R'+1}^R K_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} \longrightarrow \min \quad (24)$$

$$\sum_{r=1}^{R'} S_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} \leq S_y \quad (y = 1, 2, \dots, Y') \quad (25)$$

$$\sum_{r=R'+1}^R u_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} \leq W_y^{TB} \quad (y = Y'+1, Y'+2, \dots, Y'') \quad (26)$$

$$\sum_{r=R'+1}^R u_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} \leq W_y^{TP} \quad (y = Y''+1, Y''+2, \dots, Y) \quad (27)$$

$$\sum_{y=Y'+1}^Y \sum_{r=R'+1}^R u_{y,r} \cdot q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} = W_k \quad (28)$$

$$\sum_{y=1}^{Y''} \sum_{r=1}^R q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} \leq \frac{1}{3} D_1 \quad (29)$$

$$\sum_{y=Y''+1}^Y \sum_{r=R'+1}^R q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} \leq \frac{2}{3} D_1 \quad (30)$$

$$\sum_{y=1}^{Y'} q_r \cdot X_{y,r} = Q_r^n \quad (r = 1, 2, \dots, R') \quad (31)$$

$$\sum_{y=Y'+1}^Y q_r \cdot X_{y,r} \cdot Z_{y,r} = Q_r^B \quad (r = R'+1, R'+2, \dots, R'') \quad (32)$$

$$\sum_{y=Y'+1}^Y q_r \cdot X_{yг} \cdot Z_{yг} \leq Q_r^{\Phi} \quad (r = R''+1, R''+2, \dots, R) \quad (33)$$

$$X_{yг} = 0, 1, 2, \dots, P \quad (y = 1, 2, \dots, Y; \quad r = 1, 2, \dots, R) \quad (34)$$

где  $X_{yг}$  - количество грузовых мест грузовой партии  $г$ , которое необходимо разместить в грузовом помещении  $y$ ;  $K_{yг}$  - расходы порта по погрузке груза  $г$  в грузовое помещение  $y$ ;  $S_y$  - площадь палубы над грузовым отсеком  $y$ ;  $W_y^{TB}$  - грузоместимость твиндеков  $y$ ;  $W_y^{TP}$  - грузоместимость трюмов  $y$ ;  $R$  - общее количество грузовых партий;  $R'$  - количество грузовых партий, предназначенных для погрузки на палубу (первая категория);  $R''$  - количество грузовых партий второй категории;  $Y$  - общее количество площадок и грузовых помещений;  $Y'$  - количество площадок для размещения грузов на палубе;  $Y''$  - количество твиндеков;

$\tau_1$  - если груз  $г$  может быть размещен в грузовом

$Z_{yг} = <$  помещении  $y$ ;

$\tau_0$  - в противном случае.

Выражение (24) - целевая функция модели, которая определяет общие расходы по погрузке грузов. Их необходимо минимизировать. Неравенства (25) представляют собой ограничения по площади палубы над соответствующими грузовыми отсеками. Неравенства (26), (27) и уравнение (28) характеризуют ограничения по объемам твиндеков, трюмов и в целом по судну. Ограничение (28) введено в связи с тем, что грузы в рассматриваемых условиях генеральные и "легкие", то есть средневзвешенный удельный погрузочный объем превышает удельную грузом-

местимость судна. Если же грузы "тяжелые" (противоположный случай), вместо уравнения (28) вводится соответствующее ограничение по грузоподъемности.

Анализ грузовых планов (предварительных и исполнительных) позволил установить соотношение по количеству перевозимых грузов на палубе, в твиндеках и трюмах, обеспечивающее надлежащие мореходные качества - остойчивость судна (неравенства (29) и (30)).

Если необходимо дополнительно обеспечить заданный дифферент и общую прочность корпуса судна, то в математическую модель вводятся соответствующие ограничения. Уравнения (31) и (32) определяют обязательность погрузки грузов первой и второй категорий. Неравенства (33) представляют собой ограничения по массе факультативных грузов. Параметр управления в модели (34) является целочисленной переменной, что недопускает дробление грузовых мест в решении задачи.

Если какой-либо груз нельзя по каким-то причинам располагать в том или ином грузовом помещении, то это регламентируется до начала проведения расчетов на основе модели с помощью параметра  $Z_{ij}$ .

Приведенная постановка и математическая модель задачи ориентированы, в значительной мере, на партии грузов, по своим размерам, близким к размерам грузовых помещений судна. Если же груз мелкопартионный и большой номенклатуры, то партия груза должна быть погружена целиком в одно грузовое помещение. С этой целью в качестве параметра управления вводится булева переменная, принимающая значения 1, если партия должна быть погружена в грузовое помещение судна  $u$  и

0, когда груз к погрузке не принимается. При этом ограничения (31), (32) и (33) исключаются. Вместо них вводятся условия:

$$\sum_{y=1}^{Y'} X_{yг} = 1 \quad (г = 1, 2, \dots, R')$$

$$\sum_{y=Y'+1}^{Y} X_{yг} = 1 \quad (г = R'+1, R'+2, \dots, R'')$$

$$\sum_{y=Y'+1}^{Y} X_{yг} \leq 1 \quad (г = R''+1, R''+2, \dots, R)$$

Под  $qг$  в этом случае понимается масса партии груза  $г$ .

К основным достоинствам предложенных моделей относится то, что они комплексно решают проблему загрузки судов. При этом она производится непосредственно по схеме движения, учитываются пункты бункеровки, обеспечивается выполнение условий захода судов в основные и факультативные порты, исключается попадание в загрузку судна количества груза, не кратного массе грузового места, учитываются неоднородность и неопределенность информации о структуре грузопотоков.

Как ранее отмечалось, пятая задача диссертаций посвящена разработке и исследованию моделей и методов оптимизации перевозок и работы флота при различных уровнях достоверности исходной информации. В результате ее решения получены следующие основные результаты: теоретико-игровая постановка задачи управления работой флота; теоретические основы моделирования процесса работы флота; экономико-математические

модели, методы и алгоритмы решения задач оптимизации перевозок и работы флота судоходного предприятия при различных уровнях достоверности исходной информации.

Подход к разработке модели оптимизации графика работы судов при наличии информации, имеющей высокий уровень достоверности, основан на декомпозиции технологического процесса Р перевозки грузов флотом на ряд подпроцессов Рс по каждому конкретному судну. При этом судно рассматривается как самостоятельный экономический объект с присущими ему интересами. Ввиду ограниченности производственных возможностей портов и объемов перевозок на отдельно взятых линиях и направлениях, принятие решения с позиции судна представляет собой задачу выбора стратегии в условиях конфликта и неопределенности. Это позволяет рассматривать задачу формирования графика работы флота в рамках неантагонистической бескоалиционной игры нескольких лиц с полной информацией. Игра формально описывается системой вида:

$$\Gamma = \langle C, \{M_s\}, \{f_s\} \rangle \quad (38)$$

$C \in C \qquad C \in C$

где С - множество игроков (судов);  $\{M_s\}$  - множество стратегий (дерево маршрутов);  $\{f_s\}$  - функция выигрыша (финансовый результат работы).

Для учета взаимного влияния работы судов  $\theta_{ij}^c(k)$  осуществляется переход от чистых стратегий к смешанным на основе следующей зависимости:

$$\sum_{j=1}^{L_i(k)} x_{ij}(k) = 1 \quad (39)$$

где  $X_{ij}(k)$  - условная вероятность закрепления судна за вариантом работы  $I_{ij}(k)$ ;  $L_i(k)$  - совокупность вариантов работы в вершине  $a_i(k)$  дерева  $K_C(A, L)$ .

Тогда математическая модель оптимизации графика работы судов примет следующий вид:

$$\sum_{k=0}^{T_C-1} \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^{L_i(k)} \Phi_{ij}^C(\Theta_{ij}^C(k), k) \cdot X_i(k) \cdot X_{ij}(k) \longrightarrow \max \quad (40)$$

$$X_j(k+1) = X_i(k) X_{ij}(k) \quad (41)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_C-1; i = 1, 2, \dots, A(k); j = 1, 2, \dots, L_i(k))$$

$$\sum_{j=1}^{L_i(k)} X_{ij}(k) = 1 \quad (42)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_C-1; i = 1, 2, \dots, A(k))$$

$$X_{ij}(k) \geq 0 \quad (43)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_C-1; i = 1, 2, \dots, A(k); j = 1, 2, \dots, L_i(k))$$

$$X_i(0) = 1; (i=1) \quad (44)$$

В формулах (40)-(44) приняты следующие обозначения:  $\Phi_{ij}^C(\Theta_{ij}^C(k), k)$  - финансовый результат от работы судна с по схеме  $I_{ij}(k)$  на шаге  $k$ ;  $X_i(k)$  - вероятность состояния  $i$  подпроцесса  $F_C$  на шаге  $k$ ;  $A(k)$  - множество вершин дерева  $K_C(A, L)$  на шаге  $k$ ;  $X_{ij}(k)$  - управляющие переменные модели.

Целевая функция модели (40) определяет математическое ожидание финансового результата по всему множеству вариантов работы судна, реализуемых деревом  $K_C(A, L)$ . Уравнение движения (41) характеризует динамику изменения состояний

подпроцесса  $P_c$ . На управляющие переменные накладываются условие верхнего предела (42) и требование неотрицательности (43). Величина  $\theta_{ij}^c(k)$  характеризуется следующими соотношениями:

$$\theta_{ij}^c(k) = (\theta_{ij}^c(k, r), \theta_{ij}^c(k, A)) \quad (45)$$

где  $\theta_{ij}^c(k, r)$ ;  $\theta_{ij}^c(k, A)$  - степень взаимного влияния работы судов соответственно через количество груза и портовую составляющую.

$$\theta_{ij}^c(k, r) = \sum_{c' \in C_{ij}(k)} \theta_{ij}^{c'}(k, r) \quad (46)$$

где  $\{c'\}$  - множество судов, момент начала работы которых по схеме движения  $I_{ij}(k)$  предшествует времени работы судна  $c$ .

$$\theta_{ij}^{c'}(k, r) = q_{ij}^{c'}(k, r) \cdot \chi_i^{c'}(k) \cdot \chi_{ij}^{c'}(k) \quad (47)$$

где  $q_{ij}^{c'}(k, r)$  - загрузка судна  $c'$  по схеме движения  $I_{ij}(k)$  грузом  $r$ ;  $\chi_i^{c'}(k)$  - вероятность того, что начало работы судна  $c'$  на шаге  $k$  будет определяться вершиной  $a_i(k)$  дерева  $K_c(A, L)$ ;  $\chi_{ij}^{c'}(k)$  - вероятность работы судна  $c'$  по схеме движения  $I_{ij}(k)$ .

$$\theta_{ij}^c(k, A) = \sum_{A \in I_{ij}(k)} \min_{y \in \Gamma_A} t_{пч.}^{c'}(y, k) \cdot \chi_{ij}^{c'}(k) \quad (48)$$

где  $t_{пч.}^{c'}(y, k)$  - дата и время окончания грузовых работ по судам  $c'$ , находящимся в очереди у причала  $y$ ;  $\Gamma_A$  - множество причалов порта, у которых производятся грузовые работы по судам  $c'$ .

Рассмотренные зависимости позволяют также учесть изменения во времени структуры грузопотоков и внеочередную обработку отдельных судов в портах. Алгоритм решения задачи сводится к выполнению следующих основных этапов:

1. Определяются начальные значения управляющих переменных  $X_{ij}(k)$ ;
2. Устанавливаются с помощью уравнения движения (41) состояния  $X_j(k+1)$  подпроцесса  $P_c$ ;
3. Производится расчет взаимного влияния работы судов  $\Theta_{ij}^c(k)$  и финансового результата  $\Phi_{ij}^c(\Theta_{ij}^c(k), k)$ ;
4. Вычисляются множители Лагранжа на основе следующих сопряженных уравнений:

$$\begin{aligned}
 & \Gamma \\
 & | \lambda_i(T_c) = 0; (\lambda_i(k) = \lambda_j(k)) \\
 & < \quad \lambda_i(k) \quad (49) \\
 & | \lambda_i(k) = \sum_{j=1}^{L_i(k)} \{ \lambda_j(k+1) - \Phi_{ij}^c(\Theta_{ij}^c(k), k) \} \cdot X_{ij}(k)
 \end{aligned}$$

5. Фиксируются значения  $X_{ij}(k)$ ,  $\lambda_i(k)$  и устанавливаются оптимальные величины управляющих переменных  $X_{ij}(k)$  в каждой вершине  $\alpha_i(k)$  дерева  $K_c(A, L)$ , исходя из решения следующей задачи:

$$\begin{aligned}
 & \lambda_i(k) \\
 & \sum_{j=1}^{L_i(k)} \{ \Phi_{ij}^c(\Theta_{ij}^c(k), k) - \lambda_j(k+1) \} \cdot X_{ij}(k) \{ X_{ij}(k) + \delta X_{ij}(k) \} \rightarrow \max \quad (50)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \lambda_i(k) \\
 & \sum_{j=1}^{L_i(k)} \{ X_{ij}(k) + \delta X_{ij}(k) \} = 1 \quad (51)
 \end{aligned}$$

$$\{ X_{ij}(k) + \delta X_{ij}(k) \} \geq 0 \quad (52)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_c - 1; i = 1, 2, \dots, N(k); j = 1, 2, \dots, L_i(k))$$

6. Рассчитывается величина шага  $h_{\Gamma}(k)$ , исходя из номера итерации  $\Gamma$ ;

7. Определяются новые значения управляющих переменных, исходя из следующего рекуррентного соотношения:

$$X_{ij}^{\tau+1}(k) = X_{ij}^{\tau}(k) + h_{\tau}(k) \cdot X'_{ij}(k) \quad (53)$$

8. Выполняется расчет нового взаимного влияния работы судов и финансового результата, связанных с изменением значений управляющих переменных подпроцесса  $P_c$ .

9. Осуществляется переход к  $P_{c+1}$  подпроцессу.

После просмотра всех судов  $c \in C$  производится оценка близости полученного решения к оптимальному. Решение считается законченным, если после  $T$  итераций  $h_{\tau}(k) \leq B$  для всех  $c = 1, 2, \dots, m$  и  $k = 0, 1, \dots, T_c - 1$ , где  $B$  - заданное число.

Таким образом, в ходе решения задачи осуществляется просмотр всех судов и вариантов их работы в течение планового периода. При этом учитываются изменения величин загрузки и простоя судов в зависимости от времени и очередности прихода их в порты. Каждый вариант работы судна оценивается в тесной взаимосвязи с последующим его использованием, а также с позиции эффективности данного рейса для флота в целом. Следовательно, в ходе составления графика работы флота производится и прогноз его выполнения. Это дает возможность рассматривать основополагающую динамическую модель задачи, как модель функционирования экономической системы. Наряду с этим данный подход к составлению графика работы флота позволяет эффективно использовать для его оптимизации дискретный принцип максимума.

Оптимизация работы флота на основе информации, имеющей "месячный" уровень достоверности производится на базе следующей предложенной, в диссертации математической модели ли-

нейного целочисленного программирования:

$$\sum_{c=1}^m \sum_{M=1}^{nc} \Phi_c^M \cdot X_c^M \longrightarrow \max \quad (54)$$

$$\sum_{c=1}^m \sum_{M=1}^{nc} \varphi_{cyjr}^M \cdot X_c^M \leq Q_{yjr} \quad (55)$$

(y = 1, 2, ..., Y; j = 1, 2, ..., nc; r = 1, 2, ..., Rj)

$$\sum_{c=1}^m \sum_{M=1}^{nc} t_{ct.cya}^M \cdot X_c^M \cdot Z_{ya}^M \leq T_{ya} \quad (56)$$

(y = 1, 2, ..., Y; a = 1, 2, ..., Ay)

$$\sum_{M=1}^{nc} X_c^M = 1 \quad (c = 1, 2, \dots, m) \quad (57)$$

$$X_c^M \in \{0, 1\} \quad (c = 1, 2, \dots, m; M = 1, 2, \dots, nc) \quad (58)$$

где  $t_{ct.cya}^M$  - время стоянки в порту  $a$  маршрута  $M$  в подпериоде  $ty$ ;  $T_{ya}$  - бюджет времени работы причалов в порту  $a$  в подпериоде  $ty$ ;  $Z_{ya}^M$  - переменный коэффициент, принимающий значения 1 или 0. Он определяется на этапе подготовки исходной информации и в расчете имеет конкретное значение;  $X_c^M$  - управляющие переменные модели;

$\varphi_1$ , если порт  $a$  входит в подпериоде  $ty$  в маршрут  $M$ ;  
 $\varphi_0$ , в противном случае.

$\varphi_1$ , если судно  $c$  закреплено за маршрутом  $M$ ;  
 $\varphi_0$ , в противном случае.

Все остальные обозначения те же, что и принятые выше.  
 В приведенной математической модели целевая функция

(54) определяет такое закрепление судов за маршрутами, которое обеспечит получение максимального финансового результата от выполненной работы. Ограничения (55) устанавливают, что масса груза, перевозимого судами между двумя корреспондирующими портами не может превышать его заявленного количества. Неравенства (56) требуют, чтобы суммарное время грузовых работ по всем судам в порту не превышало выделенного для этого бюджета времени работы причалов. Уравнения (57) характеризуют недопустимость одновременного использования судна на нескольких маршрутах. Решение задачи выполняется разработанным в ходе исследования эвристическим методом. Проведенные экспериментальные расчеты по предложенной модели и методу показывают, что решение отличается от результатов расчета на основе строгих методов оптимизации в среднем на 5-10% при затратах времени в несколько десятков раз меньших.

Оптимизация работы флота с использованием информации, имеющей "квартальный" уровень достоверности производится на основе следующей модели расстановки типов морских судов по направлениям, которые объединены в маршруты:

$$\sum_{y=1}^Y \sum_{i=1}^{M_i} \sum_{M=1}^M \sum_{j=1}^{R_j} \sum_{r=1}^R \Phi_{yijr}^M \cdot X_{yijr}^M \cdot H_i \cdot Z_{yjr} \longrightarrow \max \quad (59)$$

$$\sum_{i=1}^{M_i} \sum_{M=1}^M \Phi_{yijr}^M \cdot X_{yijr}^M \cdot H_i \cdot Z_{yjr} \leq Q_{yjr} \quad (60)$$

(y = 1, 2, ..., Y; j = 1, 2, ..., R; r = 1, 2, ..., R<sub>j</sub>)

$$\sum_{M=1}^{m_i} \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{r=1}^{R_j} t_{pyijr}^M \cdot X_{yijr}^M \cdot H_i^M \cdot Z_{yjr}^M \leq T_{yi} \quad (61)$$

( $y=1,2,\dots,Y; i=1,2,\dots,M_y$ )

$$\sum_{M=1}^{m_i} \sum_{r=1}^{R_j} X_{yijr}^M \cdot H_i^M \cdot Z_{yjr}^M \geq N_{yij} \quad (62)$$

( $y=1,2,\dots,Y; i=1,2,\dots,M_y; j=1,2,\dots,n_M$ )

$$X_{yijr}^M = 0, 1, 2, \dots, P \quad (63)$$

( $y=1,2,\dots,Y; i=1,2,\dots,M_y; M=1,2,\dots,m_i;$

$j=1,2,\dots,n_M; r=1,2,\dots,R_j$ )

где  $t_{pyijr}^M$  - время рейса судов типа  $i$  при перевозке груза  $r$  на направлении  $j$  маршрута  $M$  в подпериоде  $ty$ ;  $T_{yi}$  - бюджет времени судов типа  $i$  в подпериоде  $ty$ ;  $N_{yij}$  - число отходов судов типа  $i$  в направлении  $j$  в подпериоде  $ty$ , исходя из объявленного квартального расписания;  $H_i^M, Z_{yjr}^M$  - переменные коэффициенты, принимающие значения 0 или 1. Они определяются на этапе подготовки исходной информации и в расчете имеют конкретное значение;

$H_i^M = \begin{cases} 1 & \text{если работа судна типа } i \text{ допустима на} \\ & \text{маршруте } M; \end{cases}$

$\begin{cases} 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$

$Z_{yjr}^M = \begin{cases} 1 & \text{если в подпериоде } ty \text{ на направлении } j \\ & \text{предполагается перевозка груза } r; \end{cases}$

$\begin{cases} 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

$X_{yijr}^M$  - управляющие переменные. Их значения характеризуют число рейсов в подпериоде  $ty$  судов типа  $i$  на перевозке груза

г направления  $j$ , входящего в маршрут  $M$ .

Все остальные обозначения те же, что и принятые выше.

Целевая функция математической модели (59) предполагает такую расстановку флота, которая позволит получить максимальное значение финансового результата от выполненной работы. Неравенства (60) представляют ограничение по каждому роду груза, исходя из его количества. Выражение (61) определяет требование не превышения бюджета времени наличного тоннажа. Ограничения (62) устанавливают необходимость выполнения квартального расписания по числу отходов судов в указанных в нем направлениях. К основным достоинствам рассмотренной модели относится то, что: учитываются сезонные грузопотоки и перевозки традиционной для парохозяйства номенклатуры грузов; маршруты формируются предварительно, что значительно сокращает объем работ по подготовке исходной информации и в целом время проведения расчета; учитывается соответствие технико-эксплуатационных характеристик судов условиям их предстоящей работы, а также опыт эксплуатации флота и требование обеспечения выполнения объявленного расписания; решение задачи является целочисленным. При этом не требуется дополнительной разработки оптимизационных алгоритмов, так как расстановка может быть проведена на основе методов стандартного пакета программ, который ориентирован на данный класс задач; варьирование значениями  $N_i^M$ ,  $Z_{ijr}$  - переменных коэффициентов модели позволяет значительно сузить в целом границы поиска оптимального решения задачи, отвечающего требованиям практической его реализации.

В случае, когда требуется установить показатели работы

флота пароходства на основе информации "квартального" и "годового" уровней достоверности, применяется стохастическая модель, в которой варианты структуры грузопотоков формируются на базе соответствующей морфологической матрицы. В ней строки характеризуют направления работы  $j$ , а столбцы имеют значения:

$$\begin{aligned} Q_{1j} &= Q_j - \Delta Q_j \\ Q_{2j} &= Q_j > \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ Q_{3j} &= Q_j + \Delta Q_j \end{aligned} \quad (64)$$

Величина  $Q_j$  генерируется датчиком случайных чисел, исходя из соответствующего закона распределения. Задача формализована и представлена в диссертации в виде матричной игры. Стратегии пароходства  $s$  ( $s = 1, 2, \dots, S$ ) - это варианты расстановки флота. Стратегии "внешней среды"  $k$  - структура грузопотоков, ( $k = 1, 2, \dots, K$ ). Матрица выигрышей

$$A = || \Phi_{sk} || \quad (s = 1, 2, \dots, S; k = 1, 2, \dots, K) \quad (65)$$

формируется на основе модели (59)-(63) с использованием метода ускоренного пересчета. Тогда имеют место равенства:

$$\Phi(y^{\wedge}, p^{\wedge}) = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \Phi_{sk} \cdot Y_s^{\wedge} \cdot P_k^{\wedge} = V \quad (66)$$

$$\sum_{s=1}^S Y_s^{\wedge} = 1; \quad \sum_{k=1}^K P_k^{\wedge} = 1, \quad (67)$$

где  $y^{\wedge}$ ,  $p^{\wedge}$  - оптимальные смешанные стратегии участников конфликта;  $V$  - значение игры.

Значение игры определяет математическое ожидание выигрыша первого игрока, то есть значение финансового результата, которое и следует принять за плановое. В итоге, получена точечная оценка плана, соответствующая реализации величины  $\Delta Q_i$ . Интервальная оценка устанавливается по совокупности реализаций описанной выше процедуры. Таким образом, план будет отражать производственные возможности предприятия и условия, в которых ему предстоит работать. Предложенный подход может использоваться и при "пятилетнем" уровне достоверности исходной информации. В этом случае дополнительно устанавливается план (программа) пополнения флота судоходного предприятия.

В результате решения шестой задачи диссертационного исследования сформулированы основные положения методического обеспечения и разработана управленческая игровая модель принятия решений в автоматизированной системе управления перевозками и работой флота морского пароходства.

Ведение информационной модели системы реализует формирование, сбор, накопление и корректировку данных, отражающих процессы производственной деятельности судов - перевозки грузов и обработки тоннажа в портах. Функционирование отдельных подсистем "ГРУЗ" и "СУДА" основано на раздельном, но взаимосогласованном ведении баз данных перечисленных процессов. При этом выполняется замещение плановых долгосрочных сведений о состоянии подсистем на уточненные - оперативные, документальные и фактические данные по мере развития процессов и поступления информации.

Предложенная управленческая игровая модель (деловая иг-

ра) моделирует взаимодействие участников системы управления перевозочным процессом. Заложенные правила взаимодействия позволяют использовать ее как лабораторный полигон для экспериментальных исследований и обучения производственного персонала. Результаты проведенных нами исследований, а также сведения о разработке и применении различных классов деловых игр в ведущих научных и учебных центрах страны дают возможность сделать следующий вывод. Управленческую деловую игру можно применять как: средство отладки проектных решений создаваемой АСУ, то есть в условиях игрового имитационного эксперимента выявляются неувяки и недостатки отдельных элементов системы; средство сопровождения завершенных разработок, то есть для обучения пользователей АСУ процедурам управления, заложенным во внедряемую систему; метод прогнозирования некоторых производственно - хозяйственных ситуаций, то есть игра при этом служит подсистемой АСУ и проводится на предприятии с определенной периодичностью; способ отработки на предприятии нововведений, то есть реорганизация производственной, организационной или функциональной структуры управления; метод обучения будущих специалистов управления на морском транспорте.

Как метод обучения, игра обладает следующими достоинствами: занятия проводятся в интересной, занимательной форме, что активизирует внимание обучаемых; приближение игровых ситуаций к реальным условиям позволяет использовать в обучении знания и опыт участников игры; многократное заполнение и использование форм АСУ развивают у обучаемых навыки работы с формализованными документами.

### 3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В результате решения поставленных в диссертационной работе задач получены следующие основные положения:

1. Теоретические разработки по созданию системы управления транспортным процессом, позволяющие:

выполнить анализ и синтез полного перечня задач для последующей их реализации в системе управления перевозками и работой морского флота парокходства;

предложить концептуальную модель автоматизированной системы управления транспортным процессом;

сформулировать методологические основы моделирования производственных процессов морского парокходства;

разработать методические положения функционирования автоматизированной системы управления перевозками и работой флота;

принимать решения на основе имитационно-игровой модели (деловой игры).

2. Модели и методы загрузки судов морского судокходного предприятия, позволяющие:

моделировать на базе имитационного подхода загрузку судна при оперативном управлении работой флота;

оптимизировать загрузку судна на участках схем его движения;

формировать оптимальный план размещения грузов в грузовых помещениях судна;

оптимизировать распределение грузов между судами при оперативном управлении работой флота морского парокходства.

3. Модели и методы оптимизации перевозок и работы флота

морского пароходства, позволяющие:

моделировать схемы движения и маршруты работы судов морского пароходства;

моделировать распределение грузопотоков на бассейне, реализуя рыночные отношения субъектов транспортного процесса;

оптимизировать работу флота с использованием теории игр и дискретного принципа максимума;

формировать график работы флота на базе эвристического алгоритма принятия решений;

оптимизировать перевозки и работу флота в условиях когда принимаемому решению известны все факторы, включая и не контролируемые;

оптимизировать перевозки и работу флота, когда известно лишь множество возможных (допустимых) вариантов условий, вероятности которых неизвестны или даже не имеют смысла.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:

1. Шibaев А. Г. Проблемы моделирование процессов перевозки грузов флотом морской судоходной компании. - Одесса, 1996, - 266 с. - моногр. деп. в ГНТБ Украины 28.02.1996, N 651 - Ук 96.

2. Капитанов В. П., Махуренко Г. С., Шibaев А. Г. Оптимальное оперативное планирование работы флота. - Одесса, 1985, - 78 с. - моногр. деп. в В/О "Муртехинформреклама" 13.03.85, N 442.

3. Капитанов В. П., Шibaев А. Г. Эвристический подход к оптимизации расписания движения судов // Экономика и эксплу-

атация морского транспорта, 1978. - Вып. 14. - С. 42-45.

4. Махуренко Г. С. , Шibaев А. Г. Дискретный принцип максимума в задаче календарного планирования работы флота //Экономика и эксплуатация морского транспорта, 1979. - Вып. 15. - С. 97-99.

5. Капитанов В. П. , Шibaев А. Г. , Казарян А. Н. Особенности оптимизации загрузки судна при оперативном управлении работой флота //Экономика и эксплуатация морского транспорта, 1979. - Вып. 15. - С. 51-54.

6. Капитанов В. П. , Шibaев А. Г. , Казарян А. Н. Имитационная модель загрузки судна для оперативного планирования на уровне парходства //Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М. , 1980. - С. 42-43.

7. Капитанов В. П. , Шibaев А. Г. , Казарян А. Н. Формирование множества технологических маршрутов использования судов в плановом периоде //Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М. , 1981. - С. 30-32.

8. Шibaев А. Г. Оптимальное распределение грузовых партий между судами при оперативном планировании работы флота //Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М. , 1981. - С. 52-54.

9. Капитанов В. П. , Шibaев А. Г. Моделирование динамики транспортного процесса в оперативном планировании работы флота //Проблемы экономики, организации и управления на морском транспорте: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М. , 1982. - С. 20-21.

10. Дидорчук Н. П., Шibaев А. Г. Система моделей оперативного управления работой флота и портов на бассейне //Экономико-математические модели и технологии обработки данных в планировании и управлении транспортом: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН УССР. - Киев, 1985. - С. 73-76.

11. Воевудский Е. Н., Дидорчук Н. П., Шibaев А. Г. Оптимизация плана производственной деятельности предприятия морского транспорта в условиях неопределенности //Машинные методы обработки информации для задач управления: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН УССР. - Киев, 1986. - С. 47-52.

12. Воевудский Е. Н., Шibaев А. Г. Об одном подходе к моделированию системы управления перевозочным процессом //Проблемы экономики и управления морским транспортом: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М., 1987. - С. 12-14.

13. Шibaев А. Г. Расчет весовых коэффициентов в целевой функции многокритериальной модели оптимизации загрузки судна //Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М., 1990. С. 23-25.

14. Шibaев А. Г. Анализ системы перевалки грузов флотом морского пароходства //Разработка информационных технологий на транспорте: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН Украины. - Киев, 1991. - С. 40-43.

15. Шibaев А. Г. Оптимизация плана размещения грузов в грузовых помещениях судна //Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. науч. тр. Одесского ин-та инж. морск. фл. - М., 1991. - С. 102-105.

16. Воевудский Е. Н., Шмбаев А. Г. К вопросу построения концептуальной модели системы управления транспортным процессом //Проблемы внедрения информационных технологий на транспорте: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН Украины. - Киев, 1992. - С. 15-19.

17. Шмбаев А. Г. Моделирование распределения грузопотоков на бассейне //Проблемы внедрения информационных технологий на транспорте: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН Украины. - Киев, 1992 - С. 29-33.

18. Шмбаев А. Г. Концептуальная модель автоматизированной системы управления транспортным процессом //Системы и средства поддержки решений в процессах управления на транспорте: Сб. науч. тр. ин-та Киберн. АН Украины. - Киев, 1993. С. 42-45.

19. Шмбаев А. Г. Теория игр в решении задачи оперативного планирования работы флота на уровне пароходства. - Одесса, 1981, - 8 с. - Деп. в ЦЕНТИ ММТ 21.04.81, N 98/8.

Шибаяев А. Г. Экономика - математическое моделирование процессов перевозки грузов флотом морского пароходства.

Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук по специальности 08.03.02 "Экономико-математические методы и модели", Одесский гос. морской университет, Одесса, 1996.

Выполнен анализ и синтез перечня задач в системе управления перевозками и работой флота морского пароходства. Сформулированы методологические основы моделирования транспортных процессов. Предложены модели и методы загрузки судов и оптимизации перевозок и работы флота при различных уровнях достоверности исходной информации.

Shibayev A. G. Economico - mathematical modelling of cargo transportation processes by a shipping company's fleet.

This is for doctoral degree - Doctor of Economics - on speciality 08.03.02 "Economico-mathematical methods and models", Odessa State marine University, Odessa, 1996.

Analysis and synthesis of a set of tasks has been fulfilled in the system of transport and shipping company fleet's operation and management. Methodological basis of transport processes modelling has been formulated. There have been elaborated models and methods for ships loading as well as for optimization of transportation and fleet operation at different level of adequacy of initial information.

Ключові слова: системний підхід, моделі, методи прийняття вирішень, перевезення та робота морського флоту.

---

Зак. 1043, тир. 100, подп. к печ. 13. 11. 1996г.  
Усл. печ. листов 3. ОГМУ КМП Одесса 270029,  
Мечникова, 34.

---



18. 38. 319

437432

**AB 36.319**