

На правах рукописи

**АГИЕВ ХАСАН РУСЛАНОВИЧ**

**УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В  
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА - МОРСКОЙ  
ПОРТ" С УЧЕТОМ ИНТЕРЕСОВ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ**

Специальность 2.3.4 - управление в организационных системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
**Угольницкий Геннадий Анатольевич**

Официальные оппоненты: **Баркалов Сергей Алексеевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
декан факультета экономики, менеджмента  
и инновационных технологий,  
заведующий кафедрой управления  
ФГБОУ ВО "Воронежский государственный  
технический университет"

**Мамаев Энвер Агапашаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой "Логистика и управление  
транспортными системами"  
ФГБОУ ВО "Ростовский государственный  
университет путей сообщения"

Защита состоится 29 ноября 2024 года в 13.30 на заседании диссертационного совета ЮФУ 801.02.01 на базе Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А, а. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 21Ж, и на сайте [www.sfedu.ru](http://www.sfedu.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета, д.т.н.

Горбанёва  
Ольга Ивановна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Проблема организации взаимодействия железной дороги и морских портов остается актуальной уже в течение нескольких десятилетий. Чрезвычайно важно подчеркнуть, что это не только и не столько техническая задача, сколько организационно-экономическая проблема учета и согласования интересов активных участников логистического взаимодействия.

При разработке математических моделей, описывающих управление в сложных системах с участием людей, основное место принадлежит теории активных систем, предложенной В.Н. Бурковым и развиваемой как теории управления организационными системами Д.А. Новиковым и их учениками в ИПУ РАН. Важную роль играют также информационная теория иерархических систем (Ю.Б. Гермейер, В.А. Горелик, Ф.И. Ерешко, А.Ф. Кононенко, Н.С. Кукушкин), теория контрактов, дизайн механизмов (Л. Гурвиц, Р. Майерсон, Э. Маскин, Ж. Тироль, Ж.-Ж. Лаффон).

При описании мультимодальных перевозок сохраняют свое значение традиционные модели и методы исследования операций. Особенно полезна теория массового обслуживания, изучающая поведение очередей (в данном случае на примере подвижного состава). Здесь следует отметить работы Э.А. Мамаева (РГУПС) и его соавторов по мультимодальным перевозкам.

Однако, остаётся недостаточно исследованным применение задач управления организационными системами к проблемам организации логистического взаимодействия при грузовых перевозках. Используя как основу для описания мультимодальных перевозок теорию массового обслуживания, следует обязательно применить методы теории управления организационными системами для учёта и согласования интересов активных агентов в этом процессе.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является взаимодействие железной дороги и морских портов при грузовых перевозках. Предмет исследования составляет построение и исследование математических моделей массового обслуживания и управления поведением активных агентов логистического взаимодействия при грузовых мультимодальных перевозках.

**Цель** диссертационной работы: осуществить развитие методов и разработку комплекса моделей массового обслуживания и управления поведением активных агентов логистического взаимодействия и провести анализ на основе аппарата исследования операций и метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- построить концептуальную и математическую модели взаимодействия железной дороги с морским портом как системы массового обслуживания;
- провести идентификацию данной модели и ее спецификацию на основе дискретно-событийного механизма;

- построить динамические модели стимулирования активных агентов логистического взаимодействия и исследовать их с помощью метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования;
- разработать информационно-аналитическую систему поддержки решений;
- на основе предложенных моделей сформулировать и обосновать рекомендации по организации мультимодальных перевозок.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) построены и идентифицированы модели массового обслуживания грузовых железнодорожных составов на подходе к морским портам, основанные на дискретно-событийном механизме моделирования и позволяющие учесть специфику грузовых мультимодальных перевозок;
- 2) проведено комплексное аналитическое и численное исследование динамических моделей стимулирования активных агентов логистического взаимодействия, отличающееся использованием метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования и дающее возможность оптимизации поведения агентов;
- 3) разработана информационно-аналитическая система поддержки решений, использующая удобный GUI интерфейс и тем самым позволяющая привлечь к управлению непрофессиональных пользователей;
- 4) сформулированы выводы по управлению активными агентами логистического взаимодействия, основанные на математическом анализе динамических моделей стимулирования и тем самым обеспечивающие научно обоснованные рекомендации.

**Теоретическая и практическая значимость.** Основная теоретическая ценность работы заключается в развитии метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования и дискретно-событийного механизма в моделях массового обслуживания. Практическая значимость состоит в разработке информационно-аналитической системы поддержки решений при управлении мультимодальными перевозками и выработке рекомендаций по управлению.

**Методика исследований.** Для решения поставленных выше задач использовались:

- методы теории массового обслуживания;
- методы теории управления организационными системами;
- метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования;

Использован высокоуровневый язык программирования общего назначения C# и диаграммы информационного моделирования.

Содержание диссертационного исследования **соответствует** следующим пунктам паспорта специальности 2.3.4 - Управление в организационных системах: п.3 - Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах; п.4 - Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в

организационных системах; п.9 - Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Наиболее адекватным способом моделирования взаимодействия железной дороги и морского порта как системы массового обслуживания выступает дискретно-событийный механизм.

2. Для эффективного решения задач управления грузовыми мультимодальными перевозками необходимо трактовать организацию логистического взаимодействия как задачу управления организационной системой с использованием механизмов стимулирования.

3. Метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования обеспечивает эффективное решение динамических задач стимулирования активных агентов логистического взаимодействия.

4. Реализованная на базе динамических моделей стимулирования информационно-аналитическая система поддержки решений позволяет формулировать рекомендации по организации взаимодействия железной дороги с морскими портами.

**Достоверность** полученных в диссертационном исследовании результатов основывается на подтверждении теоретических выкладок результатами численного моделирования, апробации полученных результатов на научных семинарах и конференциях.

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационного исследования, полученные выводы и рекомендации использованы в работе Ингушского отделения СКЖД, а также внедрены в учебный процесс Ингушского государственного университета. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (№2024613167 от 08.02.2024).

**Апробация диссертации.** Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Вузовское образование и наука" (Ингушский госуниверситет, 2022), XXX Международной конференции "Математика. Экономика. Образование" и XIV Международном симпозиуме "Ряды Фурье и их приложения" (ЮФУ, 2024), семинарах кафедры прикладной математики и программирования ЮФУ и кафедры математики и ИВТ Ингушского госуниверситета (2022-2024).

**Публикации.** Основная часть результатов диссертационного исследования опубликована в 6 печатных работах. Статьи [1-4] опубликованы в журналах из списка ВАК (категория К2). В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад Х.Р. Агиева заключается в следующем. В работе [2] автору принадлежит построение и аналитическое исследование моделей. В работах [3,4,5] соискателем выполнено аналитическое и численное исследование моделей.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы (106 наименований) и приложения. Полный объём диссертации без приложений составляет 179 страниц, включая 52 рисунка, 19 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определены актуальность тематики диссертации, цель работы, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту.

В **главе 1** описана методология диссертационного исследования. Первый параграф посвящен моделям исследования операций и их транспортным приложениям. Дан обзор транспортных и распределительных задач, задач регулирования парка вагонов, задач о максимальном потоке и кратчайшем пути, задач согласования и теории массового обслуживания. Во втором параграфе дана краткая характеристика теории управления организационными системами, информационной теории иерархических систем, теории контракта и дизайна механизмов, теории управления устойчивым развитием активных систем, приводятся сведения о моделях стимулирования активных агентов.

**Глава 2** посвящена моделированию логистического взаимодействия в системе "железная дорога - морской порт". Дано краткое описание предметной области, приведены концептуальная модель системы массового обслуживания, ее математическая формализация и идентификация, представлено применение дискретно-событийного механизма с помощью диаграмм информационного моделирования. Предложена следующая схема взаимодействия морского и железнодорожного транспорта через грузовой порт (рис. 1).

При формализации концептуальной модели будем рассматривать исходную систему «станция-порт» в рамках двух взаимосвязанных подсистем массового обслуживания: 1) система «вагон-порт» и 2) система «судно-порт».

Рассмотрим сначала систему «вагон-порт». Каждый вагон будем характеризовать набором

$$\beta = \langle y, g, s, j, m, b, \omega \rangle, \quad y \in Y, g \in G, s \in S, j \in J, m \geq 0, b \in B, \quad (1)$$

где  $y$  – тип вагона,  $Y$  – множество типов вагонов, рассматриваемых в рамках данной модели;  $g$  – род груза,  $G$  – множество родов грузов;  $s$  – тип груза (наименование),  $S$  – множество разных типов грузов;  $j$  – номер партии,  $J$  – множество номеров партий груза;  $b$  – признак, указывающий на тип грузовой операции с данным вагоном ( $1$  – погрузка,  $0$  – выгрузка, т.е.  $B = \{0,1\}$ );  $m$  – масса нетто груза в вагоне, если вагон поступает на выгрузку, либо масса нетто требуемого к погрузке груза, если вагон поступает на погрузку;  $\omega$  – тип поезда, с которым прибыл вагон,  $\Omega$  – множество рассматриваемых типов поездов.

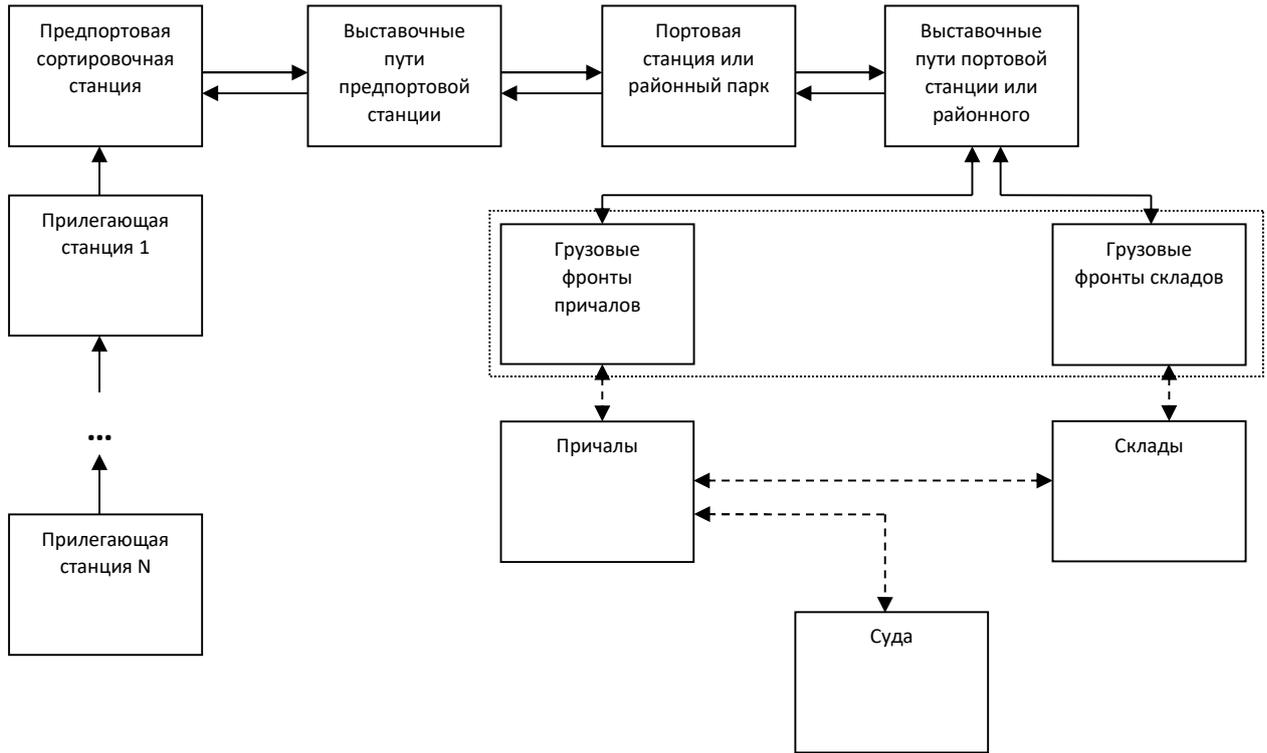


Рис. 1. Схема взаимодействия при осуществлении грузовых операций в порту. Сплошной линией показано движение вагонов, в т.ч. и груженых; пунктирной – движение груза отдельно от вагонов

Общее время  $t_{ij}^b$ , затрачиваемое данным грузовым фронтом  $\Gamma$  на осуществление грузовых операций  $b$  с данной партией вагонов  $\tilde{\beta}$ , содержащих груз  $i$ -го рода  $j$ -го типа, будет определяться суммарной производительностью всех единиц техники, направленных на осуществление грузовых операций с данным грузом и общей массой этого груза во всех вагонах подачи:

$$t_{ij}^b = \frac{\sum_{\beta \in \tilde{\beta}} (m_{\beta}^{ij} + \hat{m}_{\beta}^{ij})}{\sum_{k \in \Gamma} v_{kij}^b}, \quad (2)$$

где  $m_{\beta}^{ij}$  - масса груза  $i$ -го рода  $j$ -го типа в вагоне  $\beta$ ;  $\hat{m}_{\beta}^{ij}$  - масса тары груза  $i$ -го рода  $j$ -го типа в вагоне  $\beta$ ;  $k$  - номер погрузочно-разгрузочной машины.

Поскольку подаваемая на грузовой фронт партия вагонов обычно состоит из одного вида груза, то величина  $t_{ij}^b$  определяет время, затрачиваемое на обработку партии данным грузовым фронтом. Перенастройка машин на другой вид груза происходит один раз в начале процесса обработки данной подачи, но для разных машин может происходить с разной скоростью, поэтому производительность всего грузового фронта  $v(t) = \sum_{k \in \Gamma} v_k(t)$  будет уже не

постоянной величиной, а ступенчатой функцией со скачками в точках, когда происходит завершение перенастройки очередной машины и включение ее в работу. Следовательно, общее время в этом случае определяется выражением

$$t_{ij}^b = \frac{\sum_{\beta \in \tilde{\beta}} (m_{\beta}^{ij} + \hat{m}_{\beta}^{ij})}{\frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} v(t) dt}. \quad (3)$$

Здесь  $t_0$  и  $t_1$  - моменты начала и окончания обработки времени, соответственно. Учитывая ступенчатый характер функции  $v(t)$  и тот факт, что  $t_1 - t_0 = t_{ij}^b$ , получим

$$t_{ij}^b = \frac{t_{ij}^b \sum_{\beta \in \tilde{\beta}} (m_{\beta}^{ij} + \hat{m}_{\beta}^{ij})}{\sum_{r=2}^{N_{\Gamma}} (\tau_r - \tau_{r-1}) \sum_{h=1}^{r-1} v_{hij}^b + (t_{ij}^b - \tau_{N_{\Gamma}}) \sum_{h=1}^{N_{\Gamma}} v_{hij}^b}, \quad (4)$$

где  $\tau_r$  - время перенастройки  $r$ -й машины с груза рода  $i_0$  типа  $j_0$  на груз  $i$ -го рода  $j$ -го типа (эти индексы опущены для удобочитаемости). Машины здесь пронумерованы в порядке увеличения времени перенастройки, так что  $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_{N_{\Gamma}}$ ;  $N_{\Gamma}$  - число погрузочно-разгрузочных машин грузового фронта  $\Gamma$ . Отсюда можно явно выразить  $t_{ij}^b$ :

$$t_{ij}^b = \frac{\sum_{\beta \in \tilde{\beta}} (m_{\beta}^{ij} + \hat{m}_{\beta}^{ij}) - \sum_{r=2}^{N_{\Gamma}} (\tau_r - \tau_{r-1}) \sum_{h=1}^{r-1} v_{hij}^b}{\sum_{h=1}^{N_{\Gamma}} v_{hij}^b} + \tau_{N_{\Gamma}}. \quad (5)$$

Кроме того, в  $t_{ij}^b$  также входит время перемещения передвижной техники к грузовому фронту, если этого требует технологический процесс. Обозначим эту величину  $\tau_{\text{НГ}}^k$  - время, затрачиваемое на перемещение единицы передвижной техники  $k$  от грузового фронта  $\text{Н}$  к грузовому фронту  $\Gamma$ . Применяя рассуждения, аналогичные приведенным выше, получим

$$t_{ij}^b = \frac{\sum_{\beta \in \tilde{\beta}} (m_{\beta}^{ij} + \hat{m}_{\beta}^{ij}) - \sum_{r=2}^{N_{\Gamma}} (\tau_r + \tau_{\text{НГ}}^r - \tau_{r-1} - \tau_{\text{НГ}}^{r-1}) \sum_{h=1}^{r-1} v_{hij}^b}{\sum_{h=1}^{N_{\Gamma}} v_{hij}^b} + \tau_{N_{\Gamma}} + \tau_{\text{НГ}}^{N_{\Gamma}}. \quad (6)$$

Сведем в табл. 1 всю информацию о выделенных в рамках рассматриваемой системы массового обслуживания блоках.

Таблица 1

Блоки системы массового обслуживания

Номер блока	Название	Устройство	Число каналов	Очередь	Время обслуживания	Время занятости
1	Выставочные пути	Выставочный путь	$N_{\text{л}}$	Есть, на станции и в ПОРП	$\tau_1^i, \overline{i = 1, N_{\text{л}}}$	$\tau_1^i + t_1^0 + \tau_2^{ij}, \overline{i = 1, N_{\text{л}}}, \overline{j = 1, N_{dp}}$

Номер блока	Название	Устройство	Число каналов	Очередь	Время обслуживания	Время занятости
					$\tau_{15}^i,$ $i = \overline{1, N_{fl}}$	$\tau_{15}^i + \tau_{14}^{ji} + \tau_{16}^i,$ $i = \overline{1, N_{fl}},$ $j = \overline{1, N_{dp}}$
2.1.1, 2.2.1, ..., 2.N <sub>dp.1</sub>	Приемо-отправочный парк РП	ПОРП	1	Нет	$\tau_3^i,$ $i = \overline{1, N_{dp}}$	$\tau_3^i + \tau_2^{ji},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$
					$\tau_{13}^i,$ $i = \overline{1, N_{dp}}$	$\tau_{13}^i + \tau_{14}^{ji},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$
2.1.2, 2.2.2, ..., 2.N <sub>dp.2</sub>	Сортировочный парк РП	Сортировочные устройства	$N_{sp}^i,$ $i = \overline{1, N_{dp}}$	Есть, в ПОРП. Длина $q_{dp}^i$	$\tau_5^i, i = \overline{1, N_{dp}}$	$\tau_5^i + 2\tau_4^i,$ $i = \overline{1, N_{dp}}$
					---	---
3.1, 3.2, ..., 3.N <sub>dp</sub>	Выставочные пути РП	Выставочный путь	$N_{fl}^i,$ $i = \overline{1, N_{dp}}$	Есть, в ПОРП. Длина $q_{dp}^i$	$\tau_7^{ij},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$	$\tau_7^{ij} + \tau_6^{ij} + \tau_8^{jik},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$
					$\tau_{11}^{ij},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$	$\tau_{11}^{ij} + \tau_{10}^{kji} + \tau_{12}^{ij},$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$
4.1, 4.2, ...	Грузовые фронты	Грузовой фронт	По числу ГФ в блоке	Нет	$\tau_9,$	$\tau_9 + \tau_8^{jik} + \tau_{10}^{kji}$ $i = \overline{1, N_{dp}},$ $j = \overline{1, N_{fl}}$

Перейдем теперь к описанию второй подсистемы, условно названной «судно-порт». В качестве требований данной системы будем рассматривать суда, приходящие в порт для осуществления грузовых операций. Обслуживающими устройствами для них являются причалы, оборудованные погрузочно-разгрузочной техникой.

Введем набор характеристик для каждого судна:

$$\eta = \langle \tilde{G}, \tilde{S}, \tilde{J}, \Phi, l \rangle. \quad (7)$$

Здесь  $\tilde{G} \subset G$  - множество родов перевозимого груза;  $\tilde{S} \subset S$  - множество типов перевозимого груза;  $\tilde{J} \subset J$  - множество номеров партий груза;  $l$  - длина судна;  $\Phi: \tilde{G} \times \tilde{S} \times \tilde{J} \rightarrow R^+ \times B \times N$  - отображение, задающее структуру загрузки судна, т.е. сопоставляющее каждой тройке  $(g, s, j)$  тройку  $(m, b, d)$ , где  $m \in R^+$  - масса груза  $g$ -го рода  $s$ -го типа  $j$ -й партии на судне к выгрузке/погрузке,  $b \in B$  - тип

грузовой операции (погрузка или выгрузка),  $d \in \mathbb{N}$  - натуральное число, задающее порядок осуществления грузовой операции с данным грузом.

Поток судов в порт обозначим  $\{q_k, k \geq 1\}$ . Как и в случае поездов, для задания конкретного потока достаточно задать конечномерные распределения последовательности  $\{q_k, k \geq 1\}$ , или, когда  $\{q_k, k \geq 1\}$  - независимые в совокупности случайные величины – набор функций распределения  $\{F_{q_k}(t) = P(q_k < t), k \geq 1\}$ . Набор характеристик  $\eta$  для каждого судна определяется случайным образом в соответствии с законами распределения характеристик, вид которых будет определен на этапе идентификации модели.

Общее время осуществления грузовых операций типа  $b$  с судном по данному виду груза определяется выражением

$$t_{gs}^b = \frac{\sum_{j \in J} (m_j^{gs} + \hat{m}_j^{gs}) - \sum_{r=2}^{N_{\Gamma}^{ber}} (\tau_r + \tau_{\text{НГ}}^r - \tau_{r-1} - \tau_{\text{НГ}}^{r-1}) \sum_{h=1}^{r-1} v_{hgs}^b}{\sum_{h=1}^{N_{\Gamma}^{ber}} v_{hgs}^b} + \tau_{N_{\Gamma}^{ber}} + \tau_{\text{НГ}}^{N_{\Gamma}^{ber}}, \quad (8)$$

а общее время осуществления грузовых операций –

$$t_{car} = \sum_{b \in \tilde{B}} \sum_{g \in \tilde{G}} \sum_{s \in \tilde{S}} t_{gs}^b. \quad (9)$$

Для нахождения общего времени обслуживания судна необходимо добавить суммарное время ожидания груза у причала

$$t_{awt} = \sum_{j \in \tilde{J}} \sum_{g \in \tilde{G}} \sum_{s \in \tilde{S}} t_{awt}^{gsj} \quad (10)$$

и время перестановок между причалами  $t_{tr}$ . Результаты собраны в табл.2.

Таблица 2

Оценка вероятностных характеристик

Величина	Название	Оценка моды $c$	Примечания
$t_3^j, j = 1, \dots, N_{st}$	Время обработки группы вагонов в парке отстоя прилегающей станции	$c = \begin{cases} 0,5 \text{ ч, маршрутные,} \\ 0,33 \text{ ч, передаточные} \end{cases}$	
$t_2^j, j = 1, \dots, N_{st}$	Время уборки группы вагонов из парка отстоя прилегающей станции	$c = \begin{cases} 0,5 \text{ ч, маршрутные,} \\ 0,33 \text{ ч, передаточные} \end{cases}$	Равна $t_3^j, j = 1, \dots, N_{st}$
$t_6^0$	Время обработки группы вагонов в приемо-отправочном парке предпортовой станции	$c = \begin{cases} 0,33 \text{ ч, передаточный,} \\ 0,25 \text{ ч, маршрутный} \end{cases}$	
$t_o^j, j = 1, \dots, N_{st}$	Время транзитного проследования через прилегающую станцию	$c = 0,25$	
$t_2^0$	Время сортировки групп вагонов в сортировочном парке предпортовой станции	$c = t_n m_c$	$t_n = 0,05$ ч – время сортировки вагона; $m_c$ - число вагонов в группе

$t_1^0$	Время подачи группы на выставочные пути предпортовой станции	$c = 0,11$	
$\tau_1^j, j = 1, \dots, N_{fl}$	Время обработки (проследования) группы на выставочных путях предпортовой станции	$c = k_1 + k_2 m_c$	$k_1$ и $k_2$ - нормативные коэффициенты, зависящие от длины пути
$\tau_2^{ij}, i = 1, \dots, N_{fl}, j = 1, \dots, N_{dp}$	Время уборки группы с выставочных путей предпортовой станции	$c = 0,11$	Равно $t_1^0$
$\tau_3^j, j = 1, \dots, N_{dp}$	Время обработки группы в приемо-отправочном парке районного парка порта	$c = \frac{1}{60} m_c$	$m_c$ - число вагонов
$\tau_4^j, j = 1, \dots, N_{dp}$	Время подачи и уборки группы в сортировочный парк районного парка порта и обратно	$c = \frac{1}{6}$	
$\tau_5^j, j = 1, \dots, N_p$	Время сортировки групп вагонов в сортировочном парке районного парка порта	$c = 0,05 m_c$	$m_c$ - число вагонов
$\tau_6^{ij}, i = 1, \dots, N_{dp}, j = 1, \dots, N_{fl}^i$	Время подачи группы на выставочные пути районного парка порта	$c = 0,16$	
$\tau_8^{ijk}, i = 1, \dots, N_{dp}; j = 1, \dots, N_{fl}^i; k = 1, \dots, N_{la}$	Время обработки (проследования) группы на выставочных путях районного парка порта	$c = 0,083$	
$\tau_8^{ijk}, i = 1, \dots, N_{dp}; j = 1, \dots, N_{fl}^i$	Время уборки группы вагонов с выставочных путей районного парка порта	$c = 0,16$	
$\tau_{10}^{kij}, i = 1, \dots, N_{dp}; j = 1, \dots, N_{fl}^i$	Время уборки группы с грузового фронта на выставочные пути	$c = 0,16$	
$\tau_{11}^{ij}, i = 1, \dots, N_{dp}; j = 1, \dots, N_{fl}^i$	Время обработки группы на выставочных путях районного парка порта при обратном следовании	$c = 0,083$	
$\tau_{12}^{ij}, i = 1, \dots, N_{dp}; j = 1, \dots, N_{fl}^i$	Время уборки группы с выставочных путей районного парка порта при обратном следовании	$c = 0,16$	
$\tau_{13}^i, i = 1, \dots, N_{dp}$	Время обработки группы в приемо-отправочном парке районного парка порта при обратном следовании	$c = \frac{1}{90}$	

$\tau_{14}^{ij}, i = 1, \dots, N_{dp};$ $j = 1, \dots, N_{fl}$	Время подачи группы на выставочные пути станции при обратном следовании	$c = 0,11$	
$\tau_{15}^i, i = 1, \dots, N_{fl}$	Время обработки (проследования) группы на выставочных путях станции при обратном следовании	$c = k_1 + k_2 m_c$ $m_c$ - число вагонов	$k_1$ и $k_2$ - нормативные коэффициенты;
$\tau_{16}^i, i = 1, \dots, N_{fl}$	Время уборки группы с выставочных путей станции при обратном следовании	$c = 0,11$	

На основе дискретно-событийного подхода в структуре рассматриваемой системы было выделено 29 различных событий, наступление которых изменяет ее состояние: 1) прибытие новой группы вагонов в систему; 2) окончание подачи группы вагонов в парк отстоя вагонов прилегающей станции; 3) окончание обработки группы вагонов при поступлении его в парк отстоя вагонов прилегающей станции; 4) окончание подачи группы вагонов из парка отстоя; 5) окончание перегона группы вагонов к смежной станции; 6) окончание транзитного проследования группы вагонов через станцию; 7) окончание обработки группы вагонов в приемо-отправочном парке; 8) окончание переформирования группы вагонов в сортировочном парке; 9) окончание подачи группы вагонов на выставочные пути предпортовой станции; 10) окончание обработки (проследования) группы вагонов на выставочных путях; 11) окончание уборки группы вагонов с выставочных путей; 12) окончание обработки группы вагонов в приемо-отправочном парке районного парка порта; 13) окончание подачи групп в сортировочный парк; 14) окончание сортировочных работ с группой вагонов в сортировочном парке районного парка порта; 15) окончание уборки группы вагонов из сортировочного парка районного парка порта; 16) окончание подачи группы вагонов на выставочные пути; 17) окончание обработки (проследования) группы вагонов на выставочных путях; 18) окончание уборки группы вагонов с выставочных путей; 19) окончание погрузочно-разгрузочных операций с группой вагонов; 20) окончание подачи группы вагонов на выставочные пути при обратном следовании; 21) окончание обработки (проследования) группы вагонов на выставочных путях при обратном следовании; 22) окончание подачи группы вагонов в приемо-отправочный парк при обратном следовании; 23) окончание обработки группы вагонов в приемо-отправочном парке при обратном следовании; 24) окончание подачи группы вагонов на выставочные пути; 25) окончание обработки (проследования) группы вагонов на выставочных путях; 26) окончание уборки группы вагонов с выставочных путей; 27) прибытие нового судна в порт; 28) окончание грузовых операций с судном по складскому варианту; 29) окончание ожидания судном груза у причала.

На рис. 2 показан граф событий системы. Дуги на этом графе означают планирование одного события другим, взаимосвязь событий подробно описана в диссертации с помощью диаграмм информационного моделирования.

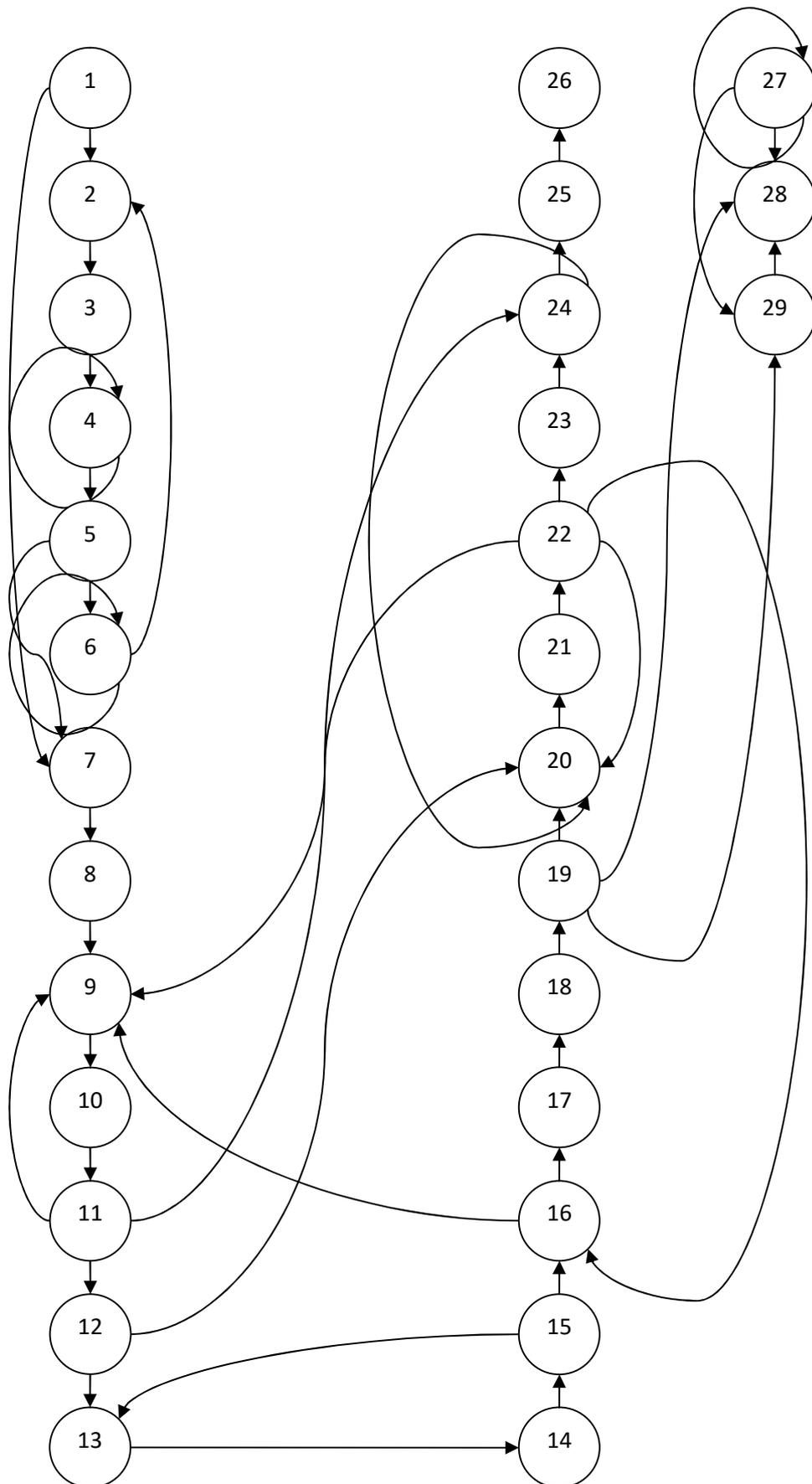


Рис. 2. Граф событий системы массового обслуживания

В главе 3 анализируются модели согласования интересов активных участников логистического взаимодействия, что составляет главную часть работы. При этом результаты предыдущей главы используются как основа для описания процесса перевозок. Модель включает трех игроков: Центр – обобщённая структура управления, включающая в себя функции министерства транспорта РФ и частично ОАО "РЖД"; Агент 1 – транспортная компания, выполняющая перевозки на железнодорожном транспорте; Агент 2 – транспортная компания, выполняющая морские перевозки.

В процессе исследования рассмотрены два случая взаимодействия между агентами 1 и 2.

1. Движение товаров происходит из ЖД станции в Порт. Значит, агент 1 определяет максимальный объем перевозимых товаров агента 2.

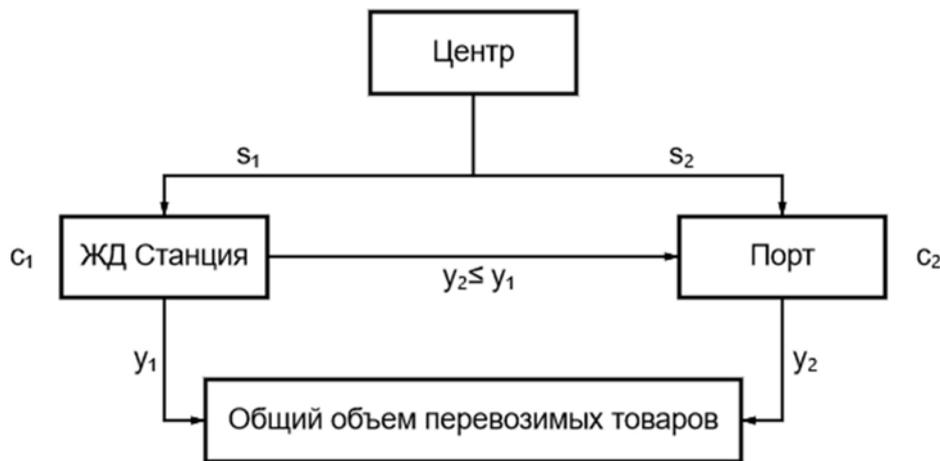


Рис. 3. Система взаимодействия ЖД Станция - Порт

2. Движение товаров происходит из Порта в ЖД станцию. Таким образом, агент 2 определяет максимальный объем перевозимых товаров агента 1.

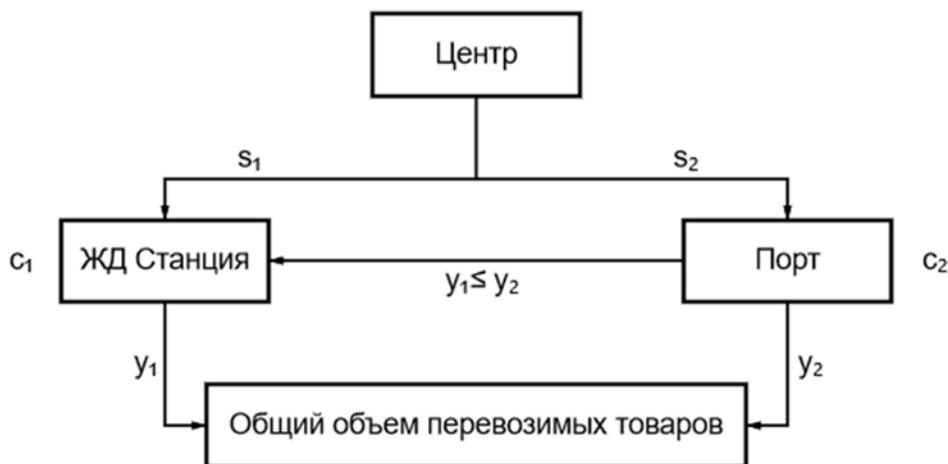


Рис. 4. Система взаимодействия Порт – ЖД Станция

Для первого случая модельные функции имеют вид:

$$H(s_1(t), s_2(t)) = \int_{t=1}^T [A(s_1(t), y_1(t)) + C(s_2(t), y_2(t)) - D_1(s_1(t)) - D_2(s_2(t))], \quad 1 \leq t \leq T; \quad (11)$$

$$s_1^{min} \leq s_1 \leq s_1^{max}; \quad s_2^{min} \leq s_2 \leq s_2^{max}; \quad (12)$$

$$y_1^{min} \leq y_1 \leq y_1^{max}; \quad y_2^{min} \leq y_2 \leq F(y_1); \quad (13)$$

где  $H$  – функция прибыли центра за время  $t$ ;

$s_1(t)$  – управление центра агентом 1 в момент времени  $t$ , т.е. цена аренды стыковочного места для клиентов РЖД;

$s_2(t)$  – управление центра агентом 2 в момент времени  $t$ , т.е. размер портового сбора, необходимый для уплаты при перевозке товаров;

$y_1(t)$  – управление агента 1 (Железнодорожная транспортная компания) в момент времени  $t$ , т.е. размер продукции, отправляемой со склада компании в порт;

$y_2(t)$  – управление агента 2 (Управление порта) в момент времени  $t$ , т.е. объем продукции, отправляемой в качестве поставки со склада порта;

$A(s_1, y_1)$  – функция дохода Центра от аренды стыковочных мест для перевозки грузов агента 1;

$C(s_2, y_2)$  – функция дохода Центра от портовых сборов при отправке товаров портом;

$D_1(s_1)$  – расходы Центра на содержание Ж/Д структуры;

$D_2(s_2)$  – расходы Центра на содержание портовой структуры.

Для агента 1 целевая функция принимает вид:

$$c_1(y_1, s_1) = \int_{t=1}^T [T_1(y_1(t)) - A(y_1(t), s_1(t)) - B_1(y_1(t)) - P]; \quad (14)$$

$$1 \leq t \leq T; \quad s_1^{min} \leq s_1 \leq s_1^{max}; \quad y_1^{min} \leq y_1 \leq y_1^{max}; \quad (15)$$

где:

$T_1(y_1)$  – доход компании от перевозки товара в момент времени  $t$ ;

$A(s_1, y_1)$  – расходы агента 1 на аренду стыковочных мест в момент  $t$ ;

$B_1(y_1)$  – неустойка по неотправленным товарам;

$P$  – расходы по амортизации транспортного оборудования.

Для агента 2 целевая функция принимает вид:

$$c_2(y_2, s_2) = \int_{t=1}^T [T_2(y_2(t)) - C(y_2(t), s_2(t)) - B_2(y_2(t)) - Z(y_2(t))]; \quad (16)$$

$$1 \leq t \leq T; \quad s_2^{min} \leq s_2 \leq s_2^{max}; \quad y_2^{min} \leq y_2 \leq F(y_1); \quad (17)$$

где:

$T_2(y_2)$  – доход компании от перевозки товара в момент времени  $t$ ;

$C(s_2, y_2)$  – расходы агента 2 на оплату портового сбора в момент времени  $t$ ;

$B_2(y_2)$  – неустойка по неотправленным товарам;

$Z(y_2)$  – расходы на оснащение кораблей для перевозки груза;

$F(y_1)$  – функция, определяющая влияние действий агента 1 на перевозимый объем товаров.

Приведем общую характеристику используемых функций.

1.  $T_1(y_1) = r_1 y_1^{\frac{1}{\alpha}}$  – функция дохода агента 1 от перевозок. Для больших объемов перевозок характерны скидки и уступки для удержания клиента, из-за чего рост функции нелинейный;  $r_1$  – коэффициент стоимости услуги за единицу товара,  $\alpha$  – коэффициент дисконтирования. При увеличении  $y_1$  функция возрастает.

2.  $T_2(y_2) = r_2 y_2^{\frac{1}{\beta}}$  – функция дохода агента 2 от перевозок. Аналогично для больших объемов перевозок характерны скидки и уступки для удержания клиента;  $r_2$  – коэффициент стоимости услуги за единицу товара,  $\beta$  – коэффициент дисконтирования. При увеличении  $y_2$  функция возрастает.

3.  $A(y_1, s_1) = k_1 s_1 V(y_1)$  – функция расходов на аренду подвижных составов для агента 1. Функция  $V(y_1)$  определяет количество вагонов, требуемых для перевозки объема грузов с учетом грузоподъемности  $w_1$ .

$$V(y_1) = \begin{cases} \text{div}\left(\frac{y_1}{w_1}\right), & \text{mod}(y_1, w_1) = 0 \\ \text{div}\left(\frac{y_1}{w_1}\right) + 1, & \text{mod}(y_1, w_1) > 0 \end{cases} \quad (18)$$

$k_1$  – коэффициент расходов. При увеличении управления центра и увеличении управления агента функция возрастает.

4.  $B_1(y_1) = c_3 (y_1^{\max} - y_1) p_1$  – функция расходов на уплату неустоек агента 1;  $c_3$  – коэффициент единицы товара,  $p_1$  – процент начисляемой неустойки в день.

5.  $B_2(y_2) = c_4 (y_2^{\max} - y_2) p_2$  – функция расходов на уплату неустоек агента 2;  $c_4$  – коэффициент единицы товара,  $p_2$  – процент дневной неустойки.

6.  $D_1(s_1) = d s_1$  – функция расходов на агента 1 для центра.

7.  $D_2(s_2) = d s_2$  – функция расходов на агента 2 для центра.

8.  $C(s_2, y_2) = k_2 s_2 y_2$  – функция расходов на оплату портовых сборов для агента 2;  $k_2$  – коэффициент расходов. При увеличении управления центра и увеличении управления агента функция возрастает.

9.  $Z(y_2) = k_2 Q(y_2)$  – функция расходов на оснащение кораблей (число контейнерных мест) для агента 2. Функция  $Q(y_2)$  определяет количество кораблей (контейнеров), требуемых для перевозки объема грузов с учетом грузоподъемности  $w_2$ .

$$Q(y_2) = \begin{cases} \text{div}\left(\frac{y_2}{w_2}\right), & \text{mod}(y_2, w_2) = 0 \\ \text{div}\left(\frac{y_2}{w_2}\right) + 1, & \text{mod}(y_2, w_2) > 0 \end{cases} \quad (19)$$

$k_2$  – коэффициент расходов. При увеличении управления Центра и управления агента функция возрастает.

При подстановке получаем вид функции прибыли Центра:

$$H(s_1, s_2) = \int_{t=1}^T [k_1 s_1 V(y_1) + k_2 s_2 y_2 - d s_1 - d s_2] , \quad 1 \leq t \leq T; \quad (20)$$

$$s_1^{\min} \leq s_1 \leq s_1^{\max}; \quad s_2^{\min} \leq s_2 \leq s_2^{\max}; \quad (21)$$

$$y_1^{\min} \leq y_1 \leq y_1^{\max}; \quad y_2^{\min} \leq y_2 \leq F(y_1). \quad (22)$$

Для агента 1:

$$c_1(y_1, s_1) = \sum_{t=1}^T [c_1 y_1^{\frac{1}{\alpha}} - k_1 s_1 V(y_1) - c_3 (y_1^{max} - y_1) p_1 - P]; \quad (23)$$

$$1 \leq t \leq T; \quad s_1^{min} \leq s_1 \leq s_1^{max}; \quad y_1^{min} \leq y_1 \leq y_1^{max}; \quad (24)$$

$$V(y_1) = \begin{cases} \frac{y_1}{w_1}, & mod(y_1, w_1) = 0 \\ \frac{y_1}{w_1} + 1, & mod(y_1, w_1) > 0 \end{cases} \quad (25)$$

Для агента 2:

$$c_2(s_1, y_1) = \int_{t=1}^T [c_2 y_2^{\frac{1}{\beta}} - k_2 s_2 y_2 - c_4 (y_2^{max} - y_2) p_2 - k_2 Q(y_2)]; \quad (26)$$

$$1 \leq t \leq T; \quad s_2^{min} \leq s_2 \leq s_2^{max}; \quad y_2^{min} \leq y_2 \leq F(y_1); \quad (27)$$

$$Q(y_2) = \begin{cases} \frac{y_2}{w_2}, & mod(y_2, w_2) = 0 \\ \frac{y_2}{w_2} + 1, & mod(y_2, w_2) > 0 \end{cases} \quad (28)$$

Рассматривается регламент игры Гермейера  $\Gamma_1$ , где Центр есть ведущий, выбирающий свое управление первым, а агенты являются ведомыми и обладают информацией о действии ведущего.

Для дальнейшего имитационного моделирования рассмотрим модель не в непрерывном виде, а в дискретном:

$$H^t(s_1^t, s_2^t) = k_1 s_1^t V(y_1^t) + k_2 s_2^t y_2^t - d s_1^t - d s_2^t; \quad (29)$$

$$c_1(y_1, s_1) = c_1 y_1^{\frac{1}{\alpha}} - k_1 s_1 V(y_1) - c_3 (y_1^{max} - y_1) p_1 - P; \quad (30)$$

$$c_2(y_1, s_1) = c_2 y_2^{\frac{1}{\beta}} - k_2 s_2 y_2 - c_4 (F^t(y_1) - y_2) p_2 - k_2 Q(y_2); \quad (31)$$

$$s_1^{min} \leq s_1 \leq s_1^{max}; \quad y_1^{min} \leq y_1 \leq y_1^{max}; \quad (32)$$

$$s_2^{min} \leq s_2 \leq s_2^{max}; \quad y_2^{min} \leq y_2 \leq F^t(y_1); \quad (33)$$

$$F^t(y_1) = y_1^t + (y_1^{t-1} - y_2^{t-1}) + \dots + (y_1^0 - y_2^0); \quad (34)$$

$$V(y_1) = \begin{cases} \frac{y_1}{w_1}, & mod(y_1, w_1) = 0 \\ \frac{y_1}{w_1} + 1, & mod(y_1, w_1) > 0 \end{cases} \quad (35)$$

$$Q(y_2) = \begin{cases} \frac{y_2}{w_2}, & mod(y_2, w_2) = 0 \\ \frac{y_2}{w_2} + 1, & mod(y_2, w_2) > 0. \end{cases} \quad (36)$$

Были разработаны программы вычисления оптимального управления ведущего и ведомых для упрощенной статической модели. Программы написаны на языке программирования C#.

Для поиска оптимального управления между агентами и Центром использован регламент игры Гермейера  $\Gamma_1$  по побуждению. Так как агенты не связаны друг с другом напрямую, а лишь ограничивают управление друг друга, то необходимости в поиске равновесия Нэша между игроками в данной модели

нет. При этом модель принимает вид трехуровневой иерархической игры, где после выбора управления центра управление выбирает первый агент, ограничивая множество управлений второго игрока (рис. 5). В ходе исследования были разработаны две программы поиска решения игры: без учета аналитического решения и с его учетом. Условием устойчивого развития в данной модели является  $y_2 > 0$ . Центр заинтересован в ненулевом обороте товаров на выходе из системы.

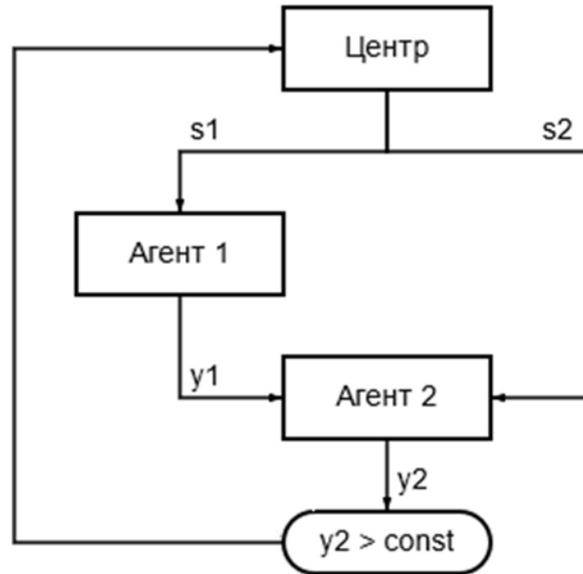


Рис. 5. Реальный вид взаимодействия при упрощенной схеме

В ходе аналитического решения были найдены оптимальные управления для агента 1 и агента 2:

$$y_1^* = \left( \frac{\alpha(k_1 s_1 - c_3 p_1 w_1)}{r_1 w_1} \right)^{-\frac{\alpha}{\alpha-1}}; \quad (37)$$

$$y_2^* = \left( \frac{\beta(k_2 s_2 w_2 + k_2 - c_4 p_2 w_2)}{r_2 w_2} \right)^{-\frac{\beta}{\beta-1}}. \quad (38)$$

Общий вид программы:

```

Цикл по управлениям s1 {
  Цикл по управлениям s2 {
    Поиск max_{y1^{min}, y1^*, y1^{max}} C1(s1, y1);
    Поиск max_{y2^{min}, y2^*, y2^{max}} C2(s2, y1, y2);
    Определение максимального значения функции H
  }
}
  
```

Таким образом, количество итераций циклов уменьшается до  $n^2$ . Рост также степенной, но скорость роста времени вычисления у данной программы меньше, чем без использования аналитики.

Для выбранных начальных параметров Центру выгодно повышение стоимости перевозок для первого агента, т.е. ЖД станции. Основной доход центра складывается именно из данных перевозок. Агент 1 даже при условии максимальной цены перевозки, установленной Центром, получает больший доход, что побуждает его к увеличению объемов перевозки для уменьшения выплат по неустойке. Тем самым ЖД станция в меньшей степени ограничивает управление Порта. При данных параметрах перевозка больших партий товара невыгодна порту. Центр настроен на уменьшение цены за аренду фрахтовых строений, но не уменьшает ее до 0, для получения минимальной прибыли. При увеличении значения Порт стремится остановить перевозки, тем самым нарушая условие устойчивого развития.

Динамическая модель имеет вид:

$$H(s_1, s_2) = \int_0^T [k_1 s_1(t) V(y_1(t)) + k_2 s_2(t) y_2(t) - ds_1^y(t) - ds_2^y(t)] dt ; \quad (39)$$

$$C_1(y_1, s_1) = \int_0^T [c_1 y_1^{\frac{1}{\alpha}}(t) - k_1 s_1(t) V(y_1(t)) - c_3 x_1(t) p_1 - P] dt ; \quad (40)$$

$$C_2(y_1, s_1) = \int_0^T [c_2 y_2^{\frac{1}{\beta}}(t) - k_2 s_2(t) y_2(t) - c_4 x_1(t) p_2 - k_3 Q(y_2(t))] dt ; \quad (41)$$

$$s_1 = (s_1(t_0), s_1(t_1), \dots, s_1(T)); s_2 = (s_2(t_0), s_2(t_1), \dots, s_2(T)); \quad (42)$$

$$c_1 = (c_1(t_0), c_1(t_1), \dots, c_1(T)); c_2 = (c_2(t_0), c_2(t_1), \dots, c_2(T)); \quad (43)$$

$$s_1^{\min}(t) \leq s_1(t) \leq s_1^{\max}(t); y_1^{\min}(t) \leq y_1(t) \leq y_1^{\max}(t); \quad (44)$$

$$s_2^{\min}(t) \leq s_2(t) \leq s_2^{\max}(t); y_2^{\min}(t) \leq y_2(t) \leq x_2(t); \quad (45)$$

$$x_1(t) = x_1(t-1) + y_1^{\max}(t) - y_2(t); \quad (46)$$

$$x_2(t) = x_2(t-1) + y_1(t) - y_2(t-1); \quad (47)$$

$$V(y_1(t)) = \begin{cases} \frac{y_1(t)}{w_1}, & \text{mod}(y_1, w_1) = 0 \\ \frac{y_1(t)}{w_1} + 1, & \text{mod}(y_1, w_1) > 0 \end{cases} \quad (48)$$

$$Q(y_2(t)) = \begin{cases} \frac{y_2(t)}{w_2}, & \text{mod}(y_2, w_2) = 0 \\ \frac{y_2(t)}{w_2} + 1, & \text{mod}(y_2, w_2) > 0. \end{cases} \quad (49)$$

Для решения поставленной задачи была разработана программа для поиска решения игры Гермейера с регламентом побуждения. Для данного регламента свойственно наличие ведущего и ведомых, причем ведущий воздействует на функции выигрыша ведомых. Для каждого игрока находится оптимальный ответ при фиксированном значении управления остальных игроков. Так как агент 1 имеет косвенное влияние на агента 2, то фактически модель трехуровневая и строится по схеме Ведущий – Агент 1 – Агент 2.

Несмотря на упрощенность модели, для расчета на большое число временных промежутков необходимы серьезные вычислительные мощности. Объясняется это геометрическим ростом числа итераций в циклах. Например,

для перебора  $T = 2$  с постоянным числом итераций для одной переменной, равным  $N$ , необходимо  $N^{2*4} = N^8$  итераций, а для  $T = 4$  уже  $N^{16}$  итераций.

*Пример 1.* Были проведены вычисления для  $T = 4$  условных временных промежутков. При  $k_1 = 50, k_2 = 50, k_3 = 100, d = 10000, c_1 = 1000, c_2 = 8000, c_3 = 50, c_4 = 100, p_1 = 0.02, p_2 = 0.04, P = 600, \alpha = 1.5, \beta = 1.2, w_1 = 68, w_2 = 1000, s_1^{min} = 0, s_1^{max} = 50, s_2^{min} = 0, s_2^{max} = 50, y_1^{min} = 0, y_1^{max} = 750, y_2^{min} = 0; y_2^{max} = 1000$ . Рассматривался случай доставки зерна из ж/д терминала в порт и последующая погрузка товара на корабль. Для управляющего шаг переменной был выбран 25, а для ведомых 250. Результатом работы программы стал план тарифов и поставок на 4 условных временных промежутка.

*Таблица 3. Результат работы программы для примера 1*

Переменная	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4
$s_1$	25	0	0	0
$s_2$	0	50	50	50
$y_1$	750	750	750	750
$y_2$	0	1000	1000	1000

*Значение функции ведущего: 6587298,02*

*Значение функции Агента 1: 313292,72*

*Значение функции Агента 2: 91166,38*

Можно сделать вывод о том, что при данных затратах на загрузку и содержание корабля порту выгодно в первый промежуток не загружать корабль, так как объемов, поставленных ж/д составом, не хватит на полную загрузку. Также отметим, что для органа управления выгодно повышение управления для первого агента лишь в первый промежуток. Последующее увеличение тарифов способствует уменьшению поставок из ж/д станции, а следовательно, из порта, который, в свою очередь, является основным источником дохода для ведущего. Неустойка по не поставленным товарам стимулирует конечного агента отправлять максимум товаров, несмотря на высокие тарифы от управляющего агента.

*Пример 2.* Для этого примера изменим значения некоторых переменных и рассмотрим их влияние на изменение решения:  $k_1 = 50, k_2 = 50, k_3 = 20000, d = 1500, c_1 = 1000, c_2 = 8000, c_3 = 50, c_4 = 100, p_1 = 0.02, p_2 = 0.02, P = 600, \alpha = 1.5, \beta = 1.2, w_1 = 68, w_2 = 1000, s_1^{min} = 0, s_1^{max} = 50, s_2^{min} = 0, s_2^{max} = 50, y_1^{min} = 0, y_1^{max} = 750, y_2^{min} = 0; y_2^{max} = 2000$ .

При увеличении затрат на перевозку груза кораблем  $k_3$  возникает равновесие между портом и руководящим органом. Влияние неустойки снижено, из-за чего портом выбирается один промежуток с максимальным объемом поставки, для которого управляющий агент определяет низкую стоимость аренды, зависящей от объемов поставляемой продукции. В остальные дни устанавливается максимальная цена аренды. Агент 2 перевозит небольшие партии товара для уменьшения значения задолженности при не

лучших условиях. Для Агента 1 равновесие менее стабильно, при увеличении стоимости перевозок ЖД транспортом сильно уменьшается рентабельность работы Агента 1, из-за чего ограничиваются и перевозки Агента 2.

Таблица 4. Результат работы программы для примера 2

Переменная	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4
$s_1$	0	0	0	0
$s_2$	50	50	50	25
$y_1$	750	750	750	750
$y_2$	500	250	250	2000

Значение функции ведущего: 4800132,67

Значение функции Агента 1: 3254527,25

Значение функции Агента 2: 2376133,32

Данный пример интересен тем, что фактически игроком, определяющим работу системы, является Агент 1, а не Агент 2 или Центр. В данной постановке и при данном регламенте игры Гермейера Центру необходимо удовлетворять условия для нормальной работы Агента 2, даже несмотря на то, что прибыль Центра будет меньше максимально возможной.

#### Модель центра смешанных перевозок

В данной модели рассматривается случай, когда Центр также платит неустойку по товарам. Изменена целевая функция ведущего, в которую добавлены расходы по неустойке:

$$H(s_1, s_2) = \int_0^T [k_1 s_1(t)V(y_1(t)) + k_2 s_2(t)y_2(t) - ds_1^y(t) - ds_2^y(t) - Lp_3] dt, \quad (50)$$

где  $L$  – функция, вычисляющая объем не доставленного товара,  $p_3$  – начисляемый процент по неустойки для управляющего центра. Для исследования были выбраны данные из Примера 2.  $k_1 = 50, k_2 = 50, k_3 = 20000, d = 1500, c_1 = 1000, c_2 = 8000, c_3 = 50, c_4 = 100, p_1 = 0.02, p_2 = 0.02, P = 600, \alpha = 1.5, \beta = 1.2, w_1 = 68, w_2 = 1000, s_1^{min} = 0, s_1^{max} = 50, s_2^{min} = 0, s_2^{max} = 50, y_1^{min} = 0, y_1^{max} = 750, y_2^{min} = 0; y_2^{max} = 2000$ .

Для выбранной модели было проведено исследование влияния коэффициентов на конечный результат. Так, при увеличении  $y_{2ma}$  наблюдается тенденция увеличения поставок в последний расчетный период для второго агента, несмотря на выплачиваемую неустойку. При увеличении коэффициента  $c_2$  наблюдается рост значения целевых функций как центра, так и агента 2. При последующем увеличении данного коэффициента объем поставок агента 2 стабилизируется и принимает максимальное значение с последующим согласованием цены с ведущим. Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  в данной постановке задачи в меньшей степени влияют на выбор стратегий ведущего. Так как центр несет убытки за неустойку, данные коэффициенты влияют лишь на конечный заработок ведущего и ведомого, но не стратегии.

Итак, для данной системы не характерна тактика побуждения к разовым большим перевозкам, как это было ранее. Центр в целом получает меньше

прибыли, чем в других примерах, но работа остальных агентов становится стабильнее и с меньшим объемом неустоек, что подтверждает теорию о большей эффективности данной системы для общественного благосостояния.

В ходе исследования были разработаны программные реализации для поиска численного решения на языке C#. Данные решения были использованы для создания программы для поддержки принятия решения и составления плана графика поставок с GUI интерфейсом (рис. 6).

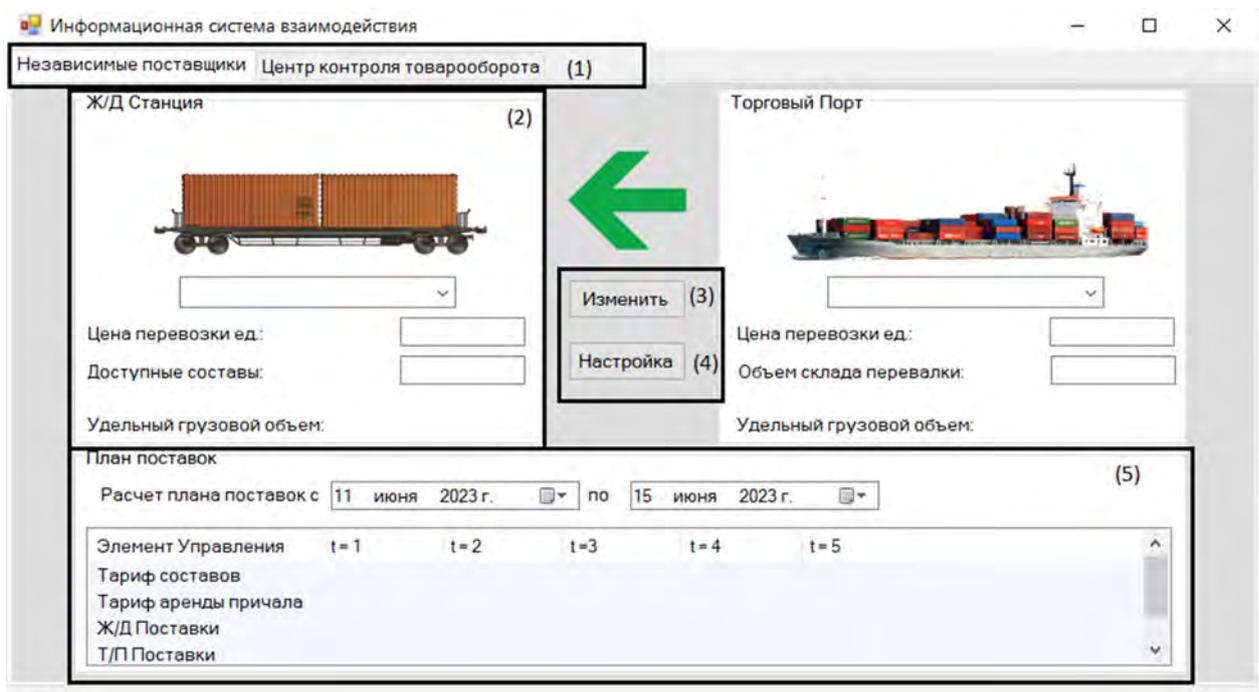


Рис 6. Начальный экран программы помощи принятия решений

В составе информационно-аналитической системы реализованы:

(1) Блок выбора типа модели. Реализован выбор между моделями с независимыми поставщиками и учетом свободных составов, а также объема склада перевалки и моделей центра контроля товарооборота с выплатой неустойки центром.

(2) Блок выбора основных коэффициентов для работы ж/д станции. Пользователю предлагается выбрать тип вагона из представленных программой, затем определить стоимость перевозки единицы товара, а также указать количество свободных составов. Удельный грузовой объем рассчитывается исходя из характеристик вагона, либо указывается в дополнительных настройках. Аналогичные настройки описаны для агента порта, за исключением того, что вместо свободных составов указывается объем перевалочного склада.

(3) Изменение направления поставок ЖД станция – Порт и наоборот.

(4) Вызов окна точной настройки коэффициентов.

(5) План-график поставок, в который записывается результат работы программы. Пользователь может выбрать, на какое количество дней разрабатывать план.

В **заключении** суммируются основные результаты работы:

1) показано, что наиболее адекватным способом моделирования взаимодействия железной дороги и морского порта как системы массового обслуживания выступает дискретно-событийный механизм;

2) обосновано, что для эффективного решения задач управления грузовыми мультимодальными перевозками необходимо трактовать организацию логистического взаимодействия как задачу управления организационной системой с использованием механизмов стимулирования;

3) продемонстрировано, что метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования обеспечивает эффективное решение динамических задач стимулирования активных агентов логистического взаимодействия;

4) показано, что реализованная на базе динамических моделей стимулирования информационно-аналитическая система поддержки решений позволяет формулировать рекомендации по организации взаимодействия железной дороги с морскими портами.

В **Приложении** приводится свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и справки о внедрении результатов работы, прилагаются дополнительные материалы по реализации программ.

### **Список публикаций по теме диссертации Публикации в изданиях из Перечня изданий ВАК**

1. **Агиев Х.Р.** Модель массового обслуживания в системе логистического взаимодействия железной дороги с морским портом // Инженерный вестник Дона. 2022. №6. <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7733> (ВАК К2).

2. **Агиев Х.Р.**, Деменский В.И., Мальсагов М.Х. Модель стимулирования активных агентов при взаимодействии железной дороги и морского порта // Инженерный вестник Дона. 2023. №7. <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8528> (ВАК К2).

3. **Агиев Х.Р.**, Мальсагов М.Х., Угольницкий Г.А. Динамические модели согласования интересов активных участников логистического взаимодействия. Ч.1 // Системы управления и информационные технологии. 2024. №1 (95). С.31-36. (ВАК К2)

4. **Агиев Х.Р.**, Мальсагов М.Х., Угольницкий Г.А. Динамические модели согласования интересов активных участников логистического взаимодействия. Ч.2 // Системы управления и информационные технологии. 2024. №3 (97). С.30-34. (ВАК К2)

**Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ**

Агиев Х.Р., Деменский В.И., Калачёв В.Ю., Мурзин А.Д., Угольницкий Г.А. Программная реализация поиска равновесий в системе взаимодействия ж/д станции и порта. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024613167 от 08.02.2024.

**Публикации в иных изданиях**

5. Агиев Х.Р., Агиева М.Т. Модель логистического взаимодействия в системе "железная дорога - морской порт" // Вузовское образование и наука. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ингушский государственный университет. 2022. С.189-195.

6. Агиев Х.Р. Логистическое взаимодействие железной дороги и морского порта // XXX Международная конференция "Математика. Экономика. Образование". XIV Международный симпозиум "Ряды Фурье и их приложения". Ростов н/Д, 2024. С.45.

Агиев Хасан Русланович

Управление логистическим взаимодействием в организационной системе "железная дорога - морской порт" с учетом интересов активных агентов

Автореф. дисс. на соискание учёной степени канд. техн. наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Заказ № \_\_\_\_\_  
Формат 60×84/32. Усл. печ. л. 0.7. Тираж \_\_\_\_\_ экз.  
Типография \_\_\_\_\_