

Научная статья
УДК 004.942:519.876.5
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-125-136>
EDN OHZACZ

Дискретно-событийная имитационная модель управления рисками грузового порта

Ирина Олеговна Бондарева^{1✉}, Данила Андреевич Заварзин²

¹*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, i.o.bondareva@mail.ru*[✉]

²*Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Описана необходимость использования технологии имитационного моделирования как основной составляющей концепции риск-ориентированного управления основными процессами грузового порта. Приведено подробное поблочное формализованное описание структуры разработанной дискретно-событийной имитационной модели, являющейся базовым элементом многоподходного имитационного моделирования. Формализованная в виде множеств, включающих различные элементы модели, структура позволяет получить максимально точное представление о взаимосвязи различных составляющих дискретно-событийной имитационной модели, проследить взаимное влияние каждого элемента, а также получить общую картину осуществления различных процессов, в том числе логистических, реализуемых в рамках портовой деятельности. В качестве структурных элементов модели выделены следующие: модули, позволяющие проследить логику выполнения всех процессов, протекающих в порту; агенты дискретно-событийной имитационной модели, являющиеся объектами выполнения исследуемых процессов порта; события имитационной модели, отражающие конкретные операции, осуществляемые в порту; ресурсы, с помощью которых данные операции реализуются; переменные и параметры модели как вспомогательные элементы, предназначенные для проведения необходимых расчетов и связи различных составных элементов модели, а также показатели оценки деятельности порта, рассчитываемые с помощью дискретно-событийной модели. Каждый из вышеперечисленных элементов представлен также в виде множества, подробно детализирован и описан. Разработанная дискретно-событийная имитационная модель позволила реализовать концепцию риск-ориентированного управления основными процессами грузового порта, сформулированную в данной работе и включающую необходимость расчета показателей оценки деятельности порта с целью прогнозирования наступления возможных рисков ситуаций. Приведен пример осуществления эксперимента с данной имитационной моделью, а также описана технология ее дальнейшего использования для выдачи рекомендаций по недопущению (минимизации) рисков грузового порта.

Ключевые слова: имитационное моделирование, дискретно-событийная модель, управление рисками, логистические процессы, грузовой порт, сбалансированная система показателей

Для цитирования: Бондарева И. О., Заварзин Д. А. Дискретно-событийная имитационная модель управления рисками грузового порта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2025. № 2. С. 125–136. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-125-136>. EDN OHZACZ.

Original article

Discrete event simulation model of cargo port risk management

Irina O. Bondareva^{1✉}, Danila A. Zavarzin²

¹*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, i.o.bondareva@mail.ru*[✉]

²*Saint Petersburg State University,
Saint Petersburg, Russia*

Abstract. The necessity of using simulation technology as the main component of the concept of risk-based management of the main processes of a cargo port is described. A detailed block-by-block formalized description of the structure of the developed discrete-event simulation model, which is the basic element of multi-approach simulation, is given. Formalized in the form of sets that include various elements of the model, the structure allows you to get the most accurate representation of the relationship between the various components of a discrete-event simulation model, to trace the mutual influence of each element, as well as to get an overall picture of the implementation of various processes, including logistics, implemented within the framework of port activities. The following are identified as structural elements of the model: modules that allow tracing the logic of execution of all processes occurring in the port; agents of the discrete-event simulation model, which are objects of execution of the studied processes of the port; events of the simulation model, reflecting specific operations carried out in the port; resources with which these operations are implemented; variables and parameters of the model as auxiliary elements intended for carrying out the necessary calculations and linking the various components of the model, as well as indicators for evaluating port activity calculated using a discrete event model. Each of the above-mentioned elements is also presented in the form of a set, detailed and described in detail. The developed discrete-event simulation model made it possible to implement the concept of risk-oriented management of the main processes of a cargo port, formulated in this paper and including the need to calculate indicators for evaluating port activity in order to predict the occurrence of possible risk situations. An example of an experiment with this simulation model is given, and the technology of its further use is described to develop recommendations for avoiding (minimizing) the risks of a cargo port.

Keywords: simulation modeling, discrete event model, risk management, logistics processes, cargo port, balanced scorecard

For citation: Bondareva I. O., Zavarzin D. A. Discrete event simulation model of cargo port risk management. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2025;2:125-136. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-125-136>. EDN OHZACZ.

Введение

Традиционно Астраханская область является центром российского присутствия в Каспийском регионе, в связи с этим активное развитие сотрудничества с партнерами из прикаспийских стран является уже привычной задачей. Наряду с этим в современных геополитических реалиях все ярче проявляется тенденция нарастающего полномасштабного взаимодействия со странами Ближнего Востока, а также Южной и Восточной Азии [1]. Именно поэтому особое внимание уделяется развитию региона как транспортно-логистического узла, принимающего на себя функции транзитного центра товарообмена. Для выполнения данной задачи продлевается огромная работа по формированию логистической инфраструктуры Международного транспортного коридора «Север – Юг», привлекаются инвестиции, проводится работа по развитию Каспийского кластера, включая формирование портовой особой экономической зоны в п. Оля. Все вышеперечисленные меры направлены в первую очередь на повышение конкурентоспособности российских портов на Каспии и, как следствие, привлечение дополнительного грузопотока. Однако возможности повышения конкурентоспособности портов связаны не только с модернизацией их технического оснащения и созданием специфических экономических условий, но и с изменениями организационного характера, направленными на повышение эффективности стратегического управления деятельностью порта. В частности, для достижения конкурентных преимуществ необходимо большое внимание уделять оценке наступления возможных риско-

вых ситуаций и учитывать различного рода факторы влияния – как внешнего, так и внутреннего характера [2, 3]. Для решения этой задачи предлагается использовать технологии имитационного моделирования, позволяющие осуществлять эксперименты с построенной моделью-аналогом реальной организационной системы (в данном случае порта) с целью выработки рекомендаций по управлению деятельностью порта, ориентированных на минимизацию возможных рисков [4, 5].

Описание дискретно-событийной имитационной модели

Наиболее распространенным методом имитационного моделирования, максимально приближенно имитирующим поведение и производительность реального объекта или системы, является дискретно-событийное моделирование [6]. Рассмотрим его применение для оценки рискованных угроз грузового порта, а также возможности управления ими на примере разработанной имитационной модели.

Множество элементов дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта DES_{CPRM} можно представить набором следующих множеств:

$$DES_{CPRM} = \{SMod_{DES}, Ag_{DES}, E_{DES}, R_{DES}, V_{DES}, P_{DES}, I_{DES}\},$$

где $SMod_{DES}$ – субмодели, на которые условно разделена дискретно-событийная модель для удобства выстраивания логики всех процессов порта; Ag_{DES} – множество агентов (транзактов) дискретно-событийной имитационной модели; E_{DES} – множество

событий дискретно-событийной имитационной модели; R_{DES} , V_{DES} и P_{DES} – множества ресурсов, переменных и параметров дискретно-событийной имитационной модели соответственно; I_{DES} – множество показателей оценки деятельности порта, рассчитываемых в дискретно-событийной модели. Последовательно рассмотрим подробнее каждое из представленных множеств:

$$SMod_{DES} = \{SMS_{DES}, SMT_{DES}, SMW_{DES}, SMR_{DES}, SMLUO_{DES}, SMBSC_{DES}\},$$

где SMS_{DES} – субмодель «Судно»; SMT_{DES} – субмодель «Грузовик»; SMW_{DES} – субмодель «Склад»; SMR_{DES} – субмодель «Заявка (запрос на оказание логистических услуг порта)»; $SMLUO_{DES}$ – субмодель «Погрузочно-разгрузочные работы»; $SMBSC_{DES}$ – субмодель «Сбалансированная система показателей»;

$$Ag_{DES} = \{Ag_{DES1}, Ag_{DES2}, \dots, Ag_{DESn}\},$$

где n – количество агентов, представленных в дискретно-событийной модели. В данном конкретном случае $n = 7$, т. е. $Ag_{DES} = \{Ag_{DES1}, Ag_{DES2}, \dots, Ag_{DES7}\}$. В качестве элементов этого множества представлены следующие агенты (транзакты): Ag_{DES1} – приходящее в порт судно, Ag_{DES2} – приходящий в порт грузовик, Ag_{DES3} – конвой грузовиков, Ag_{DES4} – приходящий в порт груз, Ag_{DES5} – приходящая в порт партия грузов, Ag_{DES6} – приходящая в порт заявка клиента, Ag_{DES7} – запрос на судно, т. е. заявка (комплекс заявок) для погрузки груза на судно;

$$E_{DES} = \{E_{DES}^{SMS}, E_{DES}^{SMT}, E_{DES}^{SMW}, E_{DES}^{SMR}, E_{DES}^{SMLUO}\}.$$

Элементы множества E_{DES} представляют события различных модулей дискретно-событийной модели. Рассмотрим подробнее каждое из них.

Описание событий субмодели «Судно»

Субмодель «Судно» SMS_{DES} описывают 9 событий:

$$E_{DES}^{SMS} = \{E_{DES1}^{SMS}, E_{DES2}^{SMS}, \dots, E_{DES9}^{SMS}\},$$

где E_{DES1}^{SMS} – событие генерации агентов (транзактов) Ag_{DES1} ; E_{DES2}^{SMS} – событие, имитирующее процесс прохождения судном пути до порта; E_{DES3}^{SMS} – событие, имитирующее процесс выбора причала (пирса) для подхода судна; E_{DES4}^{SMS} – событие, имитирующее процесс захвата агентом необходимого количества ресурсов; E_{DES5}^{SMS} – событие, имитирующее перемещение агента (транзакта) Ag_{DES1} к выбранному причалу (пирсу); E_{DES6}^{SMS} – событие, имитирующее процесс нахождения судна в порту; E_{DES7}^{SMS} – событие, имитирующее процесс освобождения ранее захваченных ресурсов; E_{DES8}^{SMS} – событие, имитирующее процесс выхода судна из порта (перемещения судна на выход из порта); E_{DES9}^{SMS} – событие, имитирующее процесс уничтожения отработавшего агента (транзакта) «Судно» Ag_{DES1} . Субмодель «Судно» как составная часть имитационной модели представлена на рис. 1.

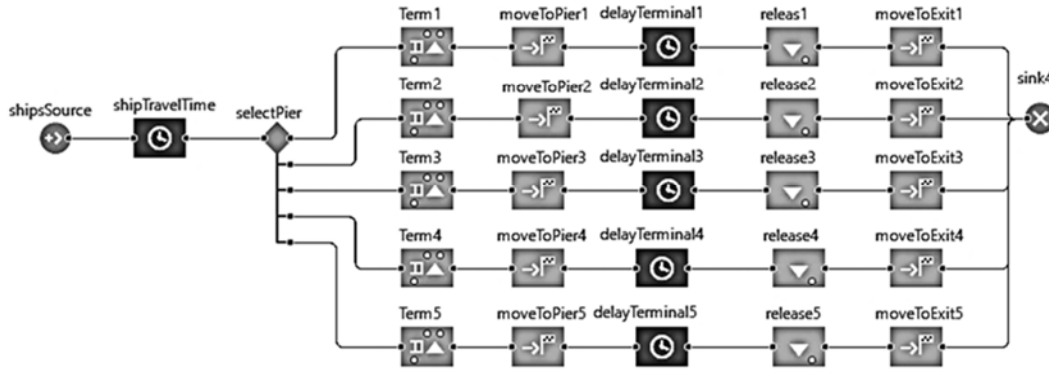


Рис. 1. Субмодель «Судно» дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта

Fig. 1. The Ship submodel of the discrete-event simulation model of cargo port risk management

Описание событий субмодели «Грузовик»

Следующую субмодель дискретно-событийной модели «Грузовик» SMT_{DES} описывают 14 событий:

$$E_{DES}^{SMT} = \{E_{DES1}^{SMT}, E_{DES2}^{SMT}, \dots, E_{DES14}^{SMT}\},$$

где E_{DES1}^{SMT} – событие, имитирующее процесс прибытия агентов (транзактов) Ag_{DES2} ; E_{DES2}^{SMT} – событие, имитирующее процесс накопления шести гру-

зовиков и сбора их в один конвой (формирование из шести агентов Ag_{DES2} одного агента Ag_{DES3} ($Ag_{DES3} = 6 \cdot Ag_{DES2}$)); E_{DES3}^{SMT} – событие, имитирующее процесс прохождения конвоя грузовиков до порта; E_{DES4}^{SMT} – событие, имитирующее процесс извлечения единичных агентов (транзактов) Ag_{DES2} из составного агента (транзакта) Ag_{DES3} ; E_{DES5}^{SMT} – событие, имитирующее процесс удаления из модели

агента (транзакта) Ag_{DES3} ; E_{DES6}^{SMT} – событие, имитирующее процесс создания агентов (транзактов) Ag_{DES2} и направления их в указанную точку дорожной сети; E_{DES7}^{SMT} – событие, имитирующее процесс выбора места для парковки; E_{DES8}^{SMT} – событие, имитирующее процесс управления движением грузовика в место назначения; E_{DES9}^{SMT} – событие, имитирующее процесс захвата для агента (транзакта) Ag_{DES2} необходимого заданного количества ресурсов (1 ресурс); E_{DES10}^{SMT} – событие, имитирующее процесс перемещения грузовика к месту разгрузки;

E_{DES11}^{SMT} – событие, имитирующее процесс разгрузки грузовика; E_{DES12}^{SMT} – событие, имитирующее процесс перемещения грузовика на выезд из порта; E_{DES13}^{SMT} – событие, имитирующее процесс освобождения ресурсов, ранее захваченных агентом (транзактом) Ag_{DES2} на этапе E_{DES9}^{SMT} ; E_{DES14}^{SMT} – событие, имитирующее процесс удаления отработавшего агента (транзакта) Ag_{DES2} из модели. Субмодель «Грузовик» как составная часть имитационной модели представлена на рис. 2.

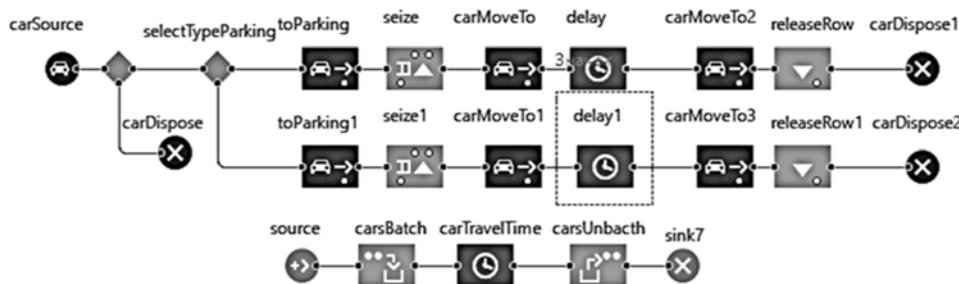


Рис. 2. Субмодель «Грузовик» дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта

Fig. 2. The Truck submodel of the discrete-event simulation model of cargo port risk management

Описание событий субмодели «Склад»

Субмодель «Склад» SMW_{DES} описывают 9 событий:

$$E_{DES}^{SMW} = \{E_{DES1}^{SMW}, E_{DES2}^{SMW}, \dots, E_{DES9}^{SMW}\},$$

где E_{DES1}^{SMW} – событие, имитирующее процесс генерации агентов (транзактов) Ag_{DES4} ; E_{DES2}^{SMW} – событие, имитирующее повреждение или потерю груза (или его части); E_{DES3}^{SMW} – событие, имитирующее процесс размещения агента (транзакта) Ag_{DES4} на территории порта; E_{DES4}^{SMW} – событие, имитирующее процесс извлечения агентов (транзактов) из диаграммы процессов; E_{DES5}^{SMW} – событие, имитирующее процесс интеграции агента (транзакта)

Ag_{DES4} в диаграмму процесса; E_{DES6}^{SMW} – событие, имитирующее процесс извлечения необходимого количества груза (агент Ag_{DES4}) и перемещения его со склада; E_{DES7}^{SMW} – событие, имитирующее процесс повреждения (потери) груза или его части с заданной долей вероятности; E_{DES8}^{SMW} – событие, имитирующее процесс накопления 30 единиц груза и формирования из них партии грузов Ag_{DES5} ($Ag_{DES5} = 30 \cdot Ag_{DES4}$); E_{DES9}^{SMW} – событие, имитирующее процесс извлечения агентов Ag_{DES5} из диаграммы процессов и передачи их в событие модуля $SMLUO_{DES}$. Субмодель «Склад» как составная часть имитационной модели представлена на рис. 3.

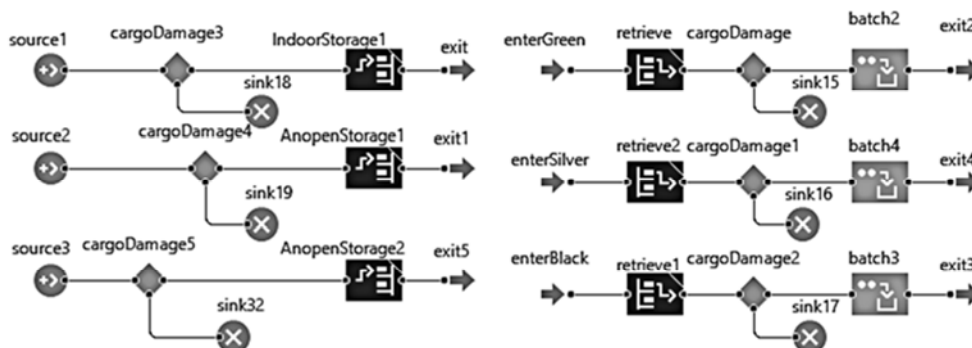


Рис. 3. Субмодель «Склад» дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта

Fig. 3. The Warehouse submodel of the discrete-event simulation model of risk management of a cargo port

Описание событий субмодели «Заявка»

Субмодель «Заявка» SMR_{DES} описывают 17 событий:

$$E_{DES}^{SMR} = \{E_{DES1}^{SMR}, E_{DES2}^{SMR}, \dots, E_{DES17}^{SMR}\},$$

где E_{DES1}^{SMR} – событие, имитирующее процесс включения агента Ag_{DES6} , созданного в диаграмме состояния, в модуль «Заявка»; E_{DES2}^{SMR} – событие, имитирующее процесс формирования очереди заявок клиентов Ag_{DES6} , ожидающих обработки; E_{DES3}^{SMR} – событие, имитирующее процесс обработки заявки клиента; E_{DES4}^{SMR} – событие, имитирующее процесс выбора типа заявки (экспорт/импорт); E_{DES5}^{SMR} – событие, имитирующее процесс отправки заявки для ожидания прихода судна (запускает событие E_{DES1}^{SMS} модуля «Судно» SMS_{DES}); E_{DES6}^{SMR} – событие, имитирующее процесс ожидания начала выполнения заявки, т. е. ожидания прихода в порт судна для погрузки; E_{DES7}^{SMR} – событие, имитирующее уровень удовлетворенности клиентов порта; E_{DES8}^{SMR} – событие, имитирующее процесс распределения груза между необходимым количеством грузовиков Ag_{DES2} ; E_{DES9}^{SMR} – событие, имитирующее процесс ожидания дальнейшего выполнения

заявки Ag_{DES6} ; E_{DES10}^{SMR} – событие, имитирующее процесс отправки клиентом грузовиков Ag_{DES2} в порт (запускает событие E_{DES1}^{SMT}); E_{DES11}^{SMR} – событие, имитирующее процесс накопления шести агентов Ag_{DES6} для формирования комплекса заявок (агент Ag_{DES7} ($Ag_{DES7} = 6 \cdot Ag_{DES6}$)) с целью дальнейшего запроса судна для осуществления погрузки; E_{DES12}^{SMR} – событие, имитирующее процесс распределения заявок по типу груза; E_{DES13}^{SMR} – событие, имитирующее процесс сбора комплексной заявки для погрузки на судно; E_{DES14}^{SMR} – событие, имитирующее процесс формирования заявки на погрузку на судно; E_{DES15}^{SMR} – событие, имитирующее процесс формирования очереди заявок для осуществления погрузки на судно; E_{DES16}^{SMR} – событие, имитирующее процесс сбора необходимого количества заявок Ag_{DES6} для создания комплексной заявки Ag_{DES7} для погрузки на судно; E_{DES17}^{SMR} – событие, имитирующее процесс ожидания начала погрузки со склада, запускает событие E_{DES5}^{SMW} субмодели «Склад», тем самым инициализируя начало осуществления отгрузки со склада. Субмодель «Заявка» как составная часть имитационной модели представлена на рис. 4.

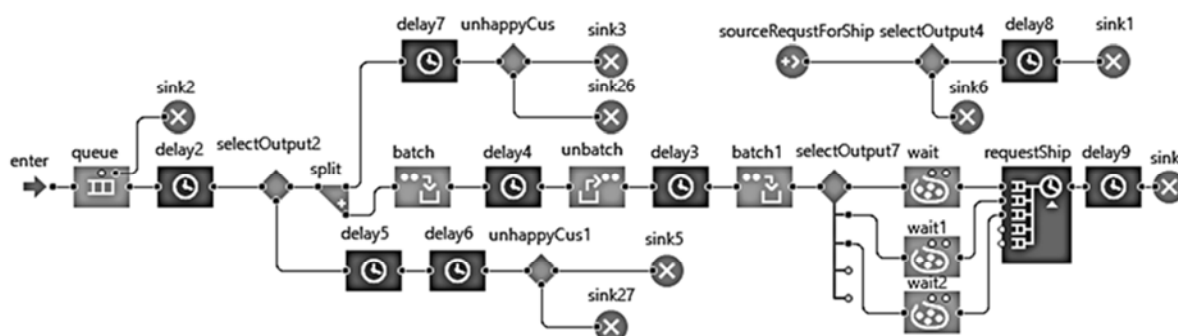


Рис. 4. Субмодель «Заявка» дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта

Fig. 4. The Application submodel of the discrete-event simulation model of risk management of a cargo port

Описание событий субмодели «Погрузочно-разгрузочные работы»

Субмодель «Погрузочно-разгрузочные работы» $SMLUO_{DES}$ описывают 17 событий:

$$E_{DES}^{SMLUO} = \{E_{DES1}^{SMLUO}, E_{DES2}^{SMLUO}, \dots, E_{DES17}^{SMLUO}\},$$

где E_{DES1}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс генерации агента «партия грузов» Ag_{DES5} ; E_{DES2}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс выбора терминала разгрузки; E_{DES3}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс разгрузки судна, осуществляется с помощью ресурса «кран»; E_{DES4}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс расформирования партии грузов Ag_{DES5} в первоначальные единичные грузы Ag_{DES4} ($Ag_{DES4} = Ag_{DES5} / 30$); E_{DES5}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс уничтожения агента

Ag_{DES5} ; E_{DES6}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс выбора типа склада для разгрузки в зависимости от типа груза, указанного в заявке; E_{DES7}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс размещения агента Ag_{DES4} на открытом складе, после полной разгрузки запускает событие выхода судна из порта E_{DES8}^{MS} субмодели «Судно» (SMS); E_{DES8}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс размещения агента Ag_{DES4} на крытом складе, после полной разгрузки запускает событие выхода судна из порта E_{DES8}^{MS} субмодели «Судно» (SMS); E_{DES9}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс интеграции агентов Ag_{DES5} из субмодели «Склад» (SMW) в субмодель «Погрузочно-разгрузочные работы» ($SMLUO$); E_{DES10}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс выбора терминала для осуществления погрузки; E_{DES11}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс ожидания прибытия судна в порт,

агенты освобождают данное событие при поступлении команды о приходе судна в порт событием E_{DES6}^{MS} субмодели «Судно»; E_{DES12}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс захвата необходимого агенту количества ресурсов; E_{DES13}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс фиксации времени начала для агента Ag_{DES4} процесса погрузки; E_{DES14}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс перемещения агента с помощью захваченного в событии E_{DES12}^{SMLUO} ресурса «кран», т. е. событие погрузки груза (агента

Ag_{DES4}) на судно; E_{DES15}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс измерения времени, затраченного для Ag_{DES4} на процесс погрузки; E_{DES16}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс повреждения/потери груза во время погрузки; E_{DES17}^{SMLUO} – событие, имитирующее процесс освобождения захваченных событием E_{DES12}^{SMLUO} ресурсов. Субмодель «Погрузочно-разгрузочные работы» как составная часть имитационной модели представлена на рис. 5.

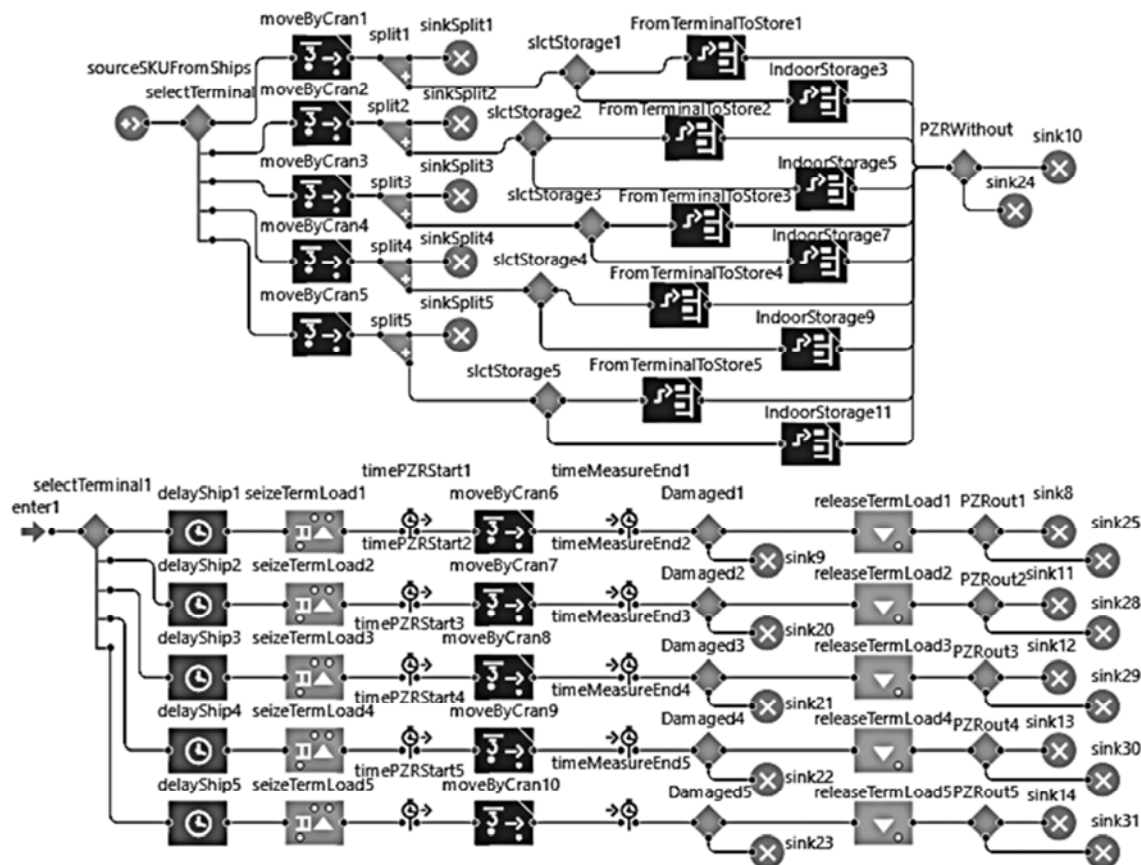


Рис. 5. Субмодель «Погрузочно-разгрузочные работы» дискретно-событийной имитационной модели управления рисками грузового порта

Fig. 5. The Loading and unloading operations submodel of the discrete-event simulation model of risk management of a cargo port

Описание ресурсов, переменных, показателей и параметров дискретно-событийной имитационной модели

Ресурсы дискретно-событийной модели управления рисками грузового порта представлены следующей совокупностью:

$$R_{DES} = \{R_{DES1}, R_{DES2}, \dots, R_{DES3}\},$$

где t – общее количество типов ресурсов, представленных в дискретно-событийной модели.

Данная дискретно-событийная имитационная модель представлена ресурсами трех типов, т. е. $t = 3$:

$$R_{DES} = \{R_{DES1}, R_{DES2}, R_{DES3}\},$$

где R_{DES1} – ресурсы типа «транспортёр»; R_{DES2} – ресурсы типа «грузчик»; R_{DES3} – ресурсы типа «портальный кран».

Таким образом, ресурсы типа R_{DES1} используются в событиях E_{DES9}^{SMT} , E_{DES13}^{SMT} , E_{DES6}^{SMT} , E_{DES7}^{SMT} , E_{DES8}^{SMLUO} ; ресурсы типа R_{DES2} используются в событиях E_{DES6}^{SMT} , E_{DES7}^{SMT} , E_{DES8}^{SMLUO} ; ресурсы типа R_{DES3} используются в событиях E_{DES4}^{SMT} , E_{DES7}^{SMT} , E_{DES12}^{SMLUO} , E_{DES13}^{SMLUO} , E_{DES14}^{SMLUO} , E_{DES15}^{SMLUO} , E_{DES16}^{SMLUO} , E_{DES17}^{SMLUO} .

Множество V_{DES} представлено 82 переменными, используемыми в дискретно-событийной модели:

$$V_{DES} = \{V_{DES1}, V_{DES2}, \dots, V_{DES82}\}.$$

В качестве переменных выступают значения, рассчитанные в ходе прогонов имитационной мо-

дели. Переменные могут быть основными и вспомогательными, т. е. рассчитываться дополнительно для дальнейшего расчета основной переменной, представляющей значение показателя оценки деятельности порта. Все имеющиеся в модели переменные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Переменные дискретно-событийной модели управления рисками грузового порта

Variables of discrete event model of cargo port risk management

Обозначение переменной	Имя переменной в модели	Источник получения значения переменной	Назначение расчета значения переменной
V_{DES1}	CY	Модель системной динамики	Стоимость услуг, оказанных за период времени
V_{DES2}	FactTimeWorkMachine	Считается в moveByCran1 – moveByCran10	Фактическое время работы машин и оборудования
V_{DES3}	FactActualPerfomanceOfEquipment		Фактическая производительность основного технологического оборудования
V_{DES4}	AllShips	Считается в shipsSource	Считает общее количество судов
V_{DES5}	EcologyShip		Считает количество судов, соответствующих стандартам экологичности
V_{DES6}	Salary	Модель системной динамики	Считает общую зарплату в порту
V_{DES7}	NumberWork		Считает количество сотрудников
V_{DES8}	ShortFinancialInvestments		Считает общее число краткосрочных финансовых вложений
V_{DES9}	NetProfit		Считает чистую прибыль
V_{DES10}	RepeatCustomers	Считается в enter	Считает количество повторно обратившихся клиентов
V_{DES11}	AllCustomers	Считается в delay2	Считает общее количество клиентов
V_{DES12}	UnhappyCustomers	Считается в unhappyCus1 и unhappyCus1	Считает количество недовольных клиентов
V_{DES13}	TotalLoadingTime	Считается в timeMeasureEnd1 – timeMeasureEnd5	Считает общее время погрузки
V_{DES14}	TotalNimberRequest	Считается в Damaged1 – Damaged5	Считает общее количество выполненных заявок на погрузку
V_{DES15}	NumberPZRWithout	Считается в PZRWithout и в PZROUT1 – PZROUT5	Считает количество погрузочно-разгрузочных работ без нарушения оговоренных сроков
V_{DES16}	AllPZR	Считается в PZRWithout и в PZROUT1 – PZROUT5	Считает общее количество погрузочно-разгрузочных работ
V_{DES17}	NumbersContracts	Считается в delay2	Общее количество заключенных контрактов

Окончание табл. 1

Ending of table 1

Обозначение переменной	Имя переменной в модели	Источник получения значения переменной	Назначение расчета значения переменной
V_{DES18}	coeffFinancialIndependence	Считается с помощью события UpdateParameters	Для расчета фактических значений показателей
V_{DES19}	AssetTurnoverRatio		
V_{DES20}	AbsoluteLiquidityRatio		
V_{DES21}	CoefProfitability		
V_{DES22}	NumberRegularCustomers		
V_{DES23}	NumberNewCustomers		
V_{DES24}	NumberRepeatCustomers		
V_{DES25}	NumberDissatisfiedCustomers		
V_{DES26}	ReturnOnFunds		
V_{DES27}	CoefExtensiveUseEquipment		
V_{DES28}	CoefIntensiveUseOfEquipment		
V_{DES29}	AverageLoadingTime		
V_{DES30}	ReliabilityOfLoading		
V_{DES31}	PercentPZRCompletedTime		
V_{DES32}	AmountOfLostCargo		
V_{DES33}	EcologyShipPercent		
V_{DES34}	VolumeOfTaxes		
V_{DES35}	AverageSalary		
V_{DES36}	VolumeSocialTaxes	Считается с помощью события UpdateParameters	
V_{DES37}	AvailabilityOrders		
V_{DES38}	NumberQualifiedWorker	Считается с помощью события UpdateParameters	
V_{DES39}	TrainingCosts		
V_{DES40}	AverageSalary1	Считается с помощью события event	Рассчитывается для графического отображения достижения/недостижения показателями фактических значений и достижения/недостижения целей
V_{DES41}	NumberQualifiedWorker1		
V_{DES42}	TrainingCosts1		
V_{DES43}	VolumeOfTaxes1		
V_{DES44}	VolumeSocialTaxes1		
V_{DES45}	EcologyShipPercent1		
V_{DES46}	AvailabilityOrders1		
V_{DES47}	CoefIntensiveUseOfEquipment1		
V_{DES48}	CoefExtensiveUseEquipment1		
V_{DES49}	ReturnOnFunds1		
V_{DES50}	AssetTurnoverRatio1		
V_{DES51}	PercentPZRCompletedTime1		
V_{DES52}	AverageLoadingTime1		
V_{DES53}	AmountOfLostCargo1		
V_{DES54}	ReliabilityOfLoading1		
V_{DES55}	NumberDissatisfiedCustomers1		
V_{DES56}	NumberRepeatCustomers1		
V_{DES57}	NumberNewCustomers1		
V_{DES58}	NumberRegularCustomers1		
V_{DES59}	CoefProfitability1		
V_{DES60}	AbsoluteLiquidityRatio1		
V_{DES61}	coeffFinancialIndependence1		
$V_{DES62}-V_{DES82}$	ovalN – ovalN19		

Дискретно-событийная имитационная модель посредством переменных позволяет рассчитать следующие показатели оценки деятельности порта, на основе которых и осуществляется риск-ориентированное управление:

$$I_{DES} = \{I_{DES1}, I_{DES2}, \dots, I_{DES19}\},$$

где I_{DES1} – фондотдача, рассчитывается с помощью

переменной V_{DES19} ; I_{DES2} – коэффициент финансовой независимости (переменная V_{DES18}); I_{DES3} – коэффициент абсолютной ликвидности (V_{DES20}); I_{DES4} – коэффициент рентабельности собственного капитала (V_{DES21}); I_{DES5} – количество постоянных клиентов (V_{DES22}); I_{DES6} – процент клиентов, обратившихся повторно (V_{DES24}); I_{DES7} – количество новых клиентов (V_{DES23}); I_{DES8} – количество недовольных клиен-

тов (V_{DES25}); I_{DES9} – коэффициент интенсивного использования оборудования (V_{DES28}); I_{DES10} – коэффициент экстенсивного использования оборудования (V_{DES27}); I_{DES11} – объем налоговых отчислений за период (V_{DES34}); I_{DES12} – объем социальных отчислений за период (V_{DES36}); I_{DES13} – соотношение минимальной зарплаты к средней (V_{DES35}); I_{DES14} – обеспеченность заказами (договорами) в днях (V_{DES37}); I_{DES15} – доля судов, отвечающих стандартам экологичности (V_{DES33}); I_{DES16} – безотказность погрузки (V_{DES30}); I_{DES17} – количество утерянного (испорченного) при погрузке груза (V_{DES32}); I_{DES18} –

среднее время погрузки (V_{DES29}); I_{DES19} – процент погрузочных работ, выполненных в срок (V_{DES31}).

Помимо переменных, в дискретно-событийной модели используются параметры:

$$P_{DES} = \{P_{DES1}, P_{DES2}, \dots, P_{DES52}\}.$$

Параметры представляют собой значения входных данных имитационной модели, вводимые в соответствующие поля начальной формы имитационной модели. Все имеющиеся в модели параметры представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Параметры дискретно-событийной модели управления рисками грузового порта

Parameters of discrete-event model of cargo port risk management

Обозначение параметра	Имя параметра в модели	Источник получения значения параметра	Назначение
$P_{DES1}-P_{DES22}$	PlanIndicators1 – PlanIndicators22	editbox26 – editbox37, editbox39 – editbox48	Для сравнения с фактическими значениями показателей
P_{DES23}	TotalAssets	editbox38	Значение совокупных активов
P_{DES24}	COCcr	editbox1	Значение среднегодовой стоимости основных средств
P_{DES25}	RezhimTimeFundMachines	editbox2	Значение режимного фонда времени работы машин и оборудования
P_{DES26}	ObosnovonayProizvoditelnost	editbox3	Значение технически обоснованной производительности машин и оборудования
P_{DES27}	ShortFinInvest	editbox50	Значение краткосрочных финансовых вложений
P_{DES28}	MoneyFunds	editbox49	Значение денежных средств
P_{DES29}	CurrentObligations	editbox51	Значение текущих обязательств
P_{DES30}	OwnFunds	editbox	Значение собственных средств
P_{DES31}	AverageNumberDay	editbox18	Значение количества дней, необходимых для проведения работ по одному договору
$P_{DES32}-P_{DES38}$	QualifiedWorker1 – QualifiedWorker7	editbox4 – editbox10	Значение количества квалифицированных сотрудников по отделам
$P_{DES39}-P_{DES45}$	unQualifiedWorker1 – unQualifiedWorker7	editbox11 – editbox17	Значение количества неквалифицированных сотрудников по отделам
P_{DES46}	TrainingCostsCargo	editbox19	Значение затрат на обучение грузового отдела
P_{DES47}	TrainingCostsStorage	editbox20	Значение затрат на обучение складского отдела
P_{DES48}	TrainingCostsCommercial	editbox21	Значение затрат на обучение коммерческого отдела
P_{DES49}	TrainingCostsTallman	editbox22	Значение затрат на обучение тальманского отдела
P_{DES50}	TrainingCostsTechnical	editbox23	Значение затрат на обучение технического отдела
P_{DES51}	TrainingCostsProviding	editbox24	Значение затрат на обучение обеспечивающего отдела
P_{DES52}	TrainingCostsManagement	editbox25	Значение затрат на обучение руководства

Описанная структура дискретно-событийной имитационной модели разработана в системе AnyLogic [7, 8] таким образом, чтобы в полной мере отражать все реализуемые в грузовом порту логистические операции, включая связанные с ними организационные процессы. Наряду с этим основными задачами разработанной имитационной модели являются предварительная оценка рисков, наступление которых возможно при реализации основной деятельности порта, поиск вариантов выхода из рискованных ситуаций и их предвосхищения. Именно на решение данных задач и ориентирована реализованная в дискретно-событийной модели концепция риск-ориентированного управления [9].

Концепция риск-ориентированного управления основными процессами грузового порта

В фокусе внимания данной концепции находится выстроенная логическая цепочка стратегических нарративов компании «Риск – Цель – Показатель». Связь данных понятий заключается в следующем: от показателей оценки деятельности порта зависит, будут ли достигнуты основные поставленные цели компании, недостижение которых рассматривается как наступление рискованных ситуаций [9, 10]. Таким образом, взаимозависимость каждого из представленных элементов данной цепочки является объектом исследования деятельности порта посредством имитационного моделирования с точки зрения недопущения подобного рода эксцессов. Дискретно-событийная модель, учитывая различные связи элементов портовой инфраструктуры, позволяет определить и проанализировать результирующие показатели оценки деятельности порта и тем самым выявить имеющиеся проблемы в достижении поставленных стратегических целей развития порта, а также предсказать наступление возможных рисков. По результатам данного анализа осуществляется поиск выхода из возможных рискованных ситуаций путем

проведения экспериментов с учетом различного рода воздействий на систему-порт как внутреннего, так и внешнего характера. В результате проведения экспериментов оценивается целесообразность и эффективность предлагаемых решений с целью их использования в качестве предупреждающих воздействий на реальном экономическом объекте. Для наглядности рассмотрим более подробно проведение эксперимента с построенной моделью.

Эксперименты с дискретно-событийной имитационной моделью

Рассматриваемая дискретно-событийная имитационная модель разработана с учетом максимального удобства для пользователя с точки зрения проведения экспериментов. Так, предусмотрена форма ввода первоначальных параметров, предполагающая возможность задания плановых значений показателей оценки результативности деятельности грузового порта, с которыми в дальнейшем осуществляется сравнение полученных фактических значений показателей с целью анализа достижимости поставленных целей и, как следствие, возможности наступления рискованных ситуаций. Помимо этого все цели и показатели представлены в виде сбалансированной системы показателей, т. е. имеется возможность непосредственно проследить достижимость целей и плановых значений показателей в динамике прогона модели. Наряду с этим предусмотрена цветовая индикация целей и показателей, позволяющая оценить возможность наступления риска недостижения той или иной цели, а также проследить конкретный показатель (или набор таковых), являющийся источником возможного рискованного события. Фрагмент сбалансированной системы показателей с индикацией достижения целей и показателей перспективы «Логистические процессы» в динамике работы дискретно-событийной модели представлен на рис. 6.

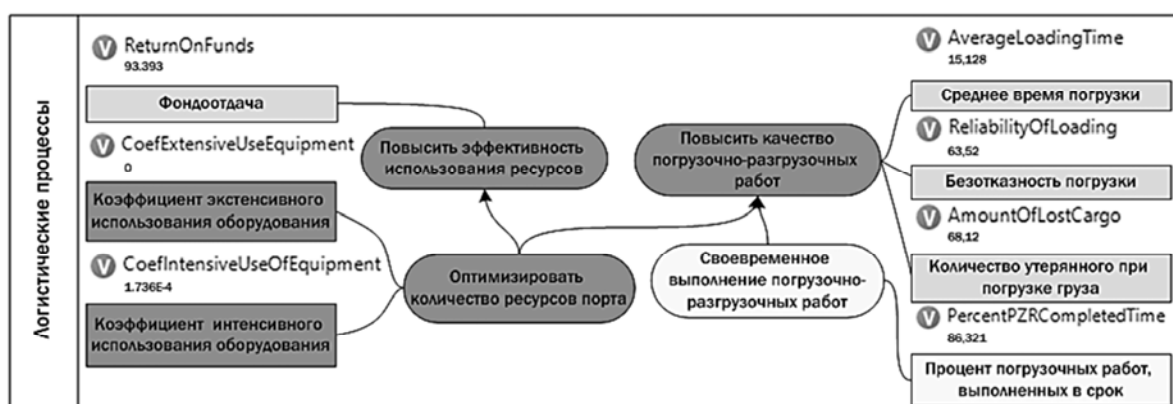


Рис. 6. Фрагмент результата прогона дискретно-событийной имитационной модели

Fig. 6. A fragment of the result of running a discrete-event simulation model

Представленный результат прогона имитационной модели можно интерпретировать следующим образом. Наиболее светлым оттенком серого цвета отмечены показатель «Процент погрузочно-разгрузочных работ, выполненных в срок» и цель «Своевременное выполнение погрузочно-разгрузочных работ». Этот цветовой индикатор показывает, что цель полностью достигнута, т. к. и значение показателя, оценивающего достижимость данной цели, оказалось не ниже планового значения. Чуть более темный оттенок серого подсвечивает показатели «Фондоотдача», «Среднее время погрузки», «Безотказность погрузки» и «Количество утерянного при погрузке груза», указывая на то, что данные показатели не достигли при прогоне плановых значений, но достаточно к ним приблизились. Несмотря на близость фактических значений указанных показателей к плановым, оцениваемые ими цели в рамках данной перспективы «Логистические процессы» оказались подсвечены самым темным оттенком серого цвета, что свидетельствует об имеющихся рисках недостижения данных целей. Это связано с тем, что цели «Повысить эффективность использования ресурсов», а также «Повысить качество погрузочно-разгрузочных работ» помимо вышеназванных показателей зависят от цели «Оптимизировать количество ресурсов порта», оцениваемой недостижимыми показателями «Коэффициент экстенсивного использования оборудования» и «Коэффициент интенсивного использования оборудования».

Грамотно составленный план проведения экспериментов с имитационной моделью позволяет выработать обоснованные управленческие решения по корректировке значений факторов, влияющих на деятельность грузового порта (состава и количества различных ресурсов, обеспечивающих реализацию

логистических процессов, времени осуществления отдельных операций и т. п.).

Заключение

Разработана дискретно-событийная имитационная модель, позволяющая осуществлять управление рисками, возникающими в грузовом порту. Представлены подробное описание элементов, составляющих имитационную модель, а также их взаимосвязи. Построенная имитационная модель реализует концепцию риск-ориентированного управления основными процессами грузового порта, в основе которой лежит стратегия развития грузового порта. Ориентируясь на стратегическую карту порта, дискретно-событийная модель позволяет оценить достижимость поставленных целей, сравнивая полученные значения показателей оценки деятельности порта с их планируемыми значениями. На основе данной оценки осуществляется анализ возможных рисков порта, связанных с недостижением конкретных целей. В случае выявления рискованных ситуаций цветовая индикация проблемных целей и показателей, предусмотренная в анимационной схеме модели, которая соответствует сбалансированной системе показателей, позволяет выявить показатели, являющиеся источниками возникновения возможных рискованных ситуаций. Приведен и описан пример эксперимента с имитационной моделью. Суть проведения экспериментов с дискретно-событийной имитационной моделью заключается в оценке возможных вариантов корректировки значений внутренних факторов модели с точки зрения их положительного влияния на минимизацию рисков с целью получения рекомендаций для принятия решений по управлению рисками грузового порта.

Список источников

1. Кондратьев В. Астраханская область в системе геополитических приоритетов России в современной международной обстановке. URL: <https://caspi.institute/product/kondratev-vladislav/astrahanskaya-oblast-v-sisteme-geopoliticheskikh-prioritetov-rossii-v-sovremennoj-mezhdu-narodnoj-obstanovke-38485.shtml> (дата обращения: 22.02.2025).
2. Проталинский О. М., Ханова А. А., Бондарева И. О. Имитационная модель технологических процессов грузового порта // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. 2010. Т. 4. № 2 (50). С. 134–144.
3. Латыпова Э. А., Бондарева И. О. Имитационное моделирование как средство управления логистическим предприятием на примере грузового порта // Науч.-техн. ведом. Санкт-Петерб. гос. политех. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. № 6 (162). С. 165–170.
4. Бондарева И. О., Латыпова Э. А. Имитационное моделирование как инструмент комплексной оценки стратегических рисков логистического предприятия // Инженер. вестн. Дона. 2017. № 1 (44). С. 50.
5. Бондарева И. О. Управление рисками транспортно-логистического предприятия на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2020. № 5. С. 29–35.
6. Ханова А. А., Бондарева И. О., Ганюкова Н. П., Еременко О. О. Имитационное моделирование бизнес-процессов: учеб. пособие. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2016. 280 с.
7. Моделирование портов и терминалов // AnyLogic. URL: www.anylogic.ru/ports/ (дата обращения: 22.02.2025).
8. Stankovets A. V. Station simulation with Anylogic in logistics // Логистика в современном мире. Проблемы и решения: материалы IV Национ. мультязыч. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Новосибирск, 24–28 мая 2021 г.). Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2021. С. 180–187.
9. Латыпова Э. А., Бондарева И. О. Управление бизнес-процессами грузового порта на основе сбалансированной

системы показателей // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 4 (20). С. 112–118.

10. Бондарева И. О. Комплексный анализ рисков гру-

зового порта на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. 2020. Т. 24. № 4. С. 91–106.

References

1. Kondrat'ev V. *Astrahanskaya oblast' v sisteme geopoliticheskikh prioritetov Rossii v sovremennoj mezhdunarodnoj obstanovke* [Astrakhan Region in the system of Russia's geopolitical priorities in the modern international situation]. Available at:

<https://caspien.institute/product/kondratev-vladislav/astrahanskaya-oblast-v-sisteme-geopoliticheskikh-prioritetov-rossii-v-sovremennoj-mezhdunarodnoj-obstanovke-38485.shtml> (accessed: 22.02.2025).

2. Protalinskij O. M., Hanova A. A., Bondareva I. O. Imitacionnaya model' tekhnologicheskikh processov gruzovogo porta [Simulation model of technological processes of a cargo port]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, vol. 4, no. 2 (50), pp. 134-144.

3. Latypova E. A., Bondareva I. O. Imitacionnoe modelirovanie kak sredstvo upravleniya logisticheskimi predpriyatiyami na primere gruzovogo porta [Simulation modeling as a means of managing a logistics enterprise using the example of a cargo port]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie*, 2012, no. 6 (162), pp. 165-170.

4. Bondareva I. O., Latypova E. A. Imitacionnoe modelirovanie kak instrument kompleksnoj ocenki strategicheskikh riskov logisticheskogo predpriyatiya [Simulation modeling as a tool for comprehensive assessment of strategic risks of a logistics enterprise]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2017, no. 1 (44), p. 50.

5. Bondareva I. O. Upravlenie riskami transportno-logisticheskogo predpriyatiya na osnove logiko-

veroyatnostnogo i imitacionnogo modelirovaniya [Risk management of a transport and logistics enterprise based on logical, probabilistic and simulation modeling]. *Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie v ekonomike, strahovanii i upravlenii riskami*, 2020, no. 5, pp. 29-35.

6. Hanova A. A., Bondareva I. O., Ganyukova N. P., Eremenko O. O. *Imitacionnoe modelirovanie biznes-processov: uchebnoe posobie* [Simulation modeling of business processes: a textbook]. Astrakhan, Izd-vo AGTU, 2016. 280 p.

7. Modelirovanie portov i terminalov [Modeling of ports and terminals]. *AnyLogic*. Available at: www.anylogic.ru/ports/ (accessed: 22.02.2025).

8. Stankovets A. V. Station simulation with Anylogic in logistics. *Logistika v sovremennom mire. Problemy i resheniya: materialy IV Nacional'noj mul'tiyazychnoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Novosibirsk, 24–28 maya 2021 g.)*. Novosibirsk, Izd-vo Sib. gos. un-ta putej soobshcheniya, 2021. Pp. 180-187.

9. Latypova E. A., Bondareva I. O. Upravlenie biznes-processami gruzovogo porta na osnove sbalansirovannoy sistemy pokazatelej [Cargo port business process management based on a balanced scorecard]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii*, 2012, no. 4 (20), pp. 112-118.

10. Bondareva I. O. Kompleksnyj analiz riskov gruzovogo porta na osnove logiko-veroyatnostnogo i imitacionnogo modelirovaniya [Comprehensive risk analysis of a cargo port based on logical, probabilistic and simulation modeling]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 91-106.

Статья поступила в редакцию 26.02.2025; одобрена после рецензирования 08.04.2025; принята к публикации 21.04.2025

The article was submitted 26.02.2025; approved after reviewing 08.04.2025; accepted for publication 21.04.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Олеговна Бондарева – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой прикладной информатики; Астраханский государственный технический университет; i.o.bondareva@mail.ru

Irina O. Bondareva – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Applied Informatics; Astrakhan State Technical University; i.o.bondareva@mail.ru

Данила Андреевич Заварзин – магистрант; Санкт-Петербургский государственный университет; danilz152002@yandex.ru

Danila A. Zavarzin – Master's Course Student; Saint Petersburg State University; danilz152002@yandex.ru

