

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МОДЕЛЕЙ СКЛАДА КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов (Санкт-Петербург)

## Введение

Одним из основных принципов логистики, заимствованным из общей теории науки, является системный подход к исследованию и управлению субъектами транспорта. Системный подход позволяет учесть комплексное влияние внешних факторов и взаимосвязь внутренних элементов субъекта исследования на разных уровнях и в разных аспектах [1]. В условиях возрастающей конкуренции морских портов системный подход к методам расчета, планирования и анализа отдельных характеристик терминалов играет все большую роль. Ошибки в оценке основных параметров порта на стадии проектирования могут привести к невозможности обработать тяготеющий к нему грузопоток, что катастрофически отразится на рыночной позиции порта и поставит его на грань экономического краха. В этом случае размер ресурсов, вложенных частными и государственными партнерами в строительство таких объектов, может оказаться ощутимым ударом для муниципальной, региональной и даже национальной экономики.

Особый вес и вероятность появления ошибки такого рода приобретают при создании контейнерных терминалов, поскольку они имеют специфическую операционную структуру, сложные технологии выполнения операций и уникальное подъемно-транспортное оборудование, обуславливающие их высокую капиталоемкость [2-5].

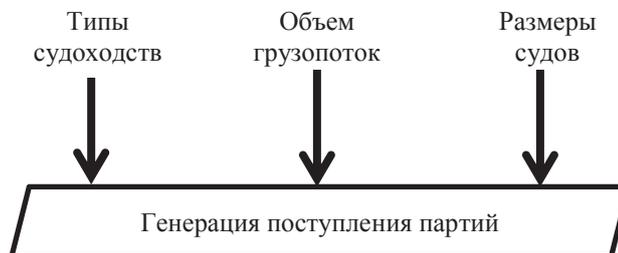
Важными расчетными показателями контейнерного терминала при его технологическом проектировании являются характеристики контейнерного склада и требуемое количество перегрузочного оборудования. Они определяются целым рядом параметров, среди которых объем и структура грузопотока, доступная территория и акватория, глубины, типы заходящих в порт судов, средний срок хранения, выбранная транспортно-технологическая схема [6]. Кроме того, они подвержены действию множества внешних факторов: экологическому давлению, развитостью и степенью доступности наземной транспортной сети, изменению региональной урбанистической стратегии, изменениям социальной и геополитической ситуации. Расчеты усложняются еще и тем, что большинство из указанных факторов имеет случайную природу, что приводит к невозможности проведения оценок детерминированными алгебраическими методами. Хотя некоторые возможности предоставляют методы статистического моделирования, имитационное моделирование остается единственным универсальным инструментом решения этой проблемы.

В то же время, само имитационное моделирование не по своей гносеологической природе склонно предлагать не единственное универсальное решение, а скорее коллекцию *ad hoc* инструментов, эффективных и адекватных для ограниченных доменов. В данной работе описывается системный подход к построению непротиворечивой и взаимодействующей системы имитационных моделей, направленных на решение различных частных задач технологического проектирования контейнерного терминала.

## Методы и материалы

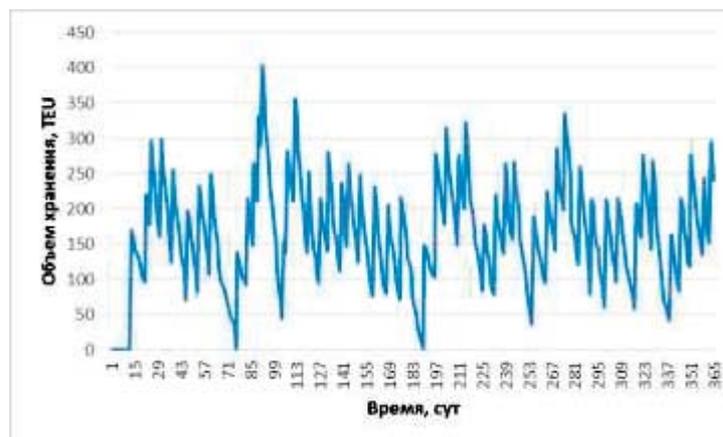
Основным фактором, определяющим объем склада и необходимое количество перегрузочного оборудования как случайные величины, является случайное поступление партий. При этом случайность определяется неоднородностью судов, заходящих в данный порт, а также неравномерностью их поступления.

Как следствие, первым этапом в разработке имитационной модели, рассчитывающей показатели контейнерного терминала, является создание адекватного метода генерации потока случайных событий (судозаходов), определяющих моменты поступления партий. Управляемыми параметрами здесь являются характер организации судоходства (по расписанию, линейное, трамповое), тип судов-представителей, объем и структура грузопотока (рис. 1).



**Рис. 1. Схема генерации поступления партий**

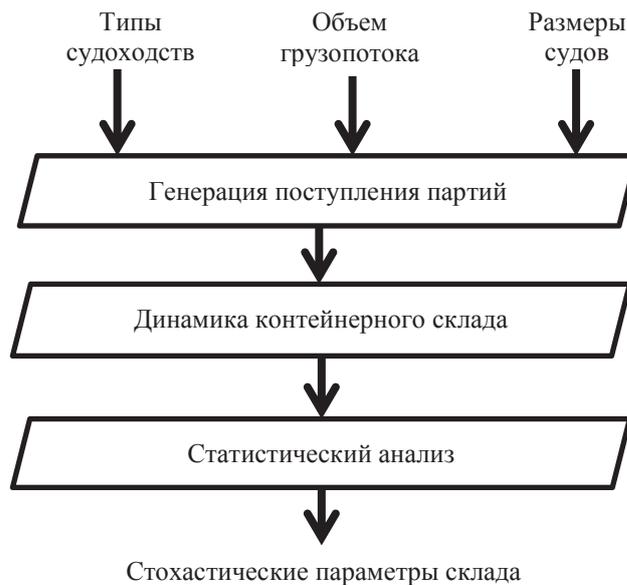
Представленный метод генерации подробно описан в работе [7]. Моделирование работы контейнерного терминала с помощью разработанного метода генерации поступления партий позволяет с высокой степенью достоверности рассчитать требуемые характеристики и численность оборудования морских грузовых фронтов проектируемого терминала [8]. В то же время, результаты этого этапа позволяют получить необходимые данные для анализа динамики изменения объема склада при заданных исходных данных и случайном характере поступления судов (рис. 2).



**Рис. 2. График динамики объема контейнерного склада**

Статистическая обработка рядов данных, описывающих динамику изменения объемов контейнерного склада и позволяет вынести суждения о законах распределения требований к объему хранения (рис. 3).

Полученных результатов может оказаться достаточно для предварительной оценки необходимого количества технологических ресурсов – мощностей, оборудования, персонала и пр. [9]. Однако главным фактором, влияющим на необходимое количество технологических ресурсов и используемых во всех расчетах, является их производительность. Для наиболее капиталоемких ресурсов контейнерного терминала, подъемно-транспортного оборудования (ПТО), производительность определяется не только техническими параметрами, но и особенностями организации хранения и выборки контейнеров из штабеля, составляющими его транспортно-технологическую схему (ТТС). На начальных этапах в качестве производительности ПТО используются справочные или бенчмаркингвые значения.



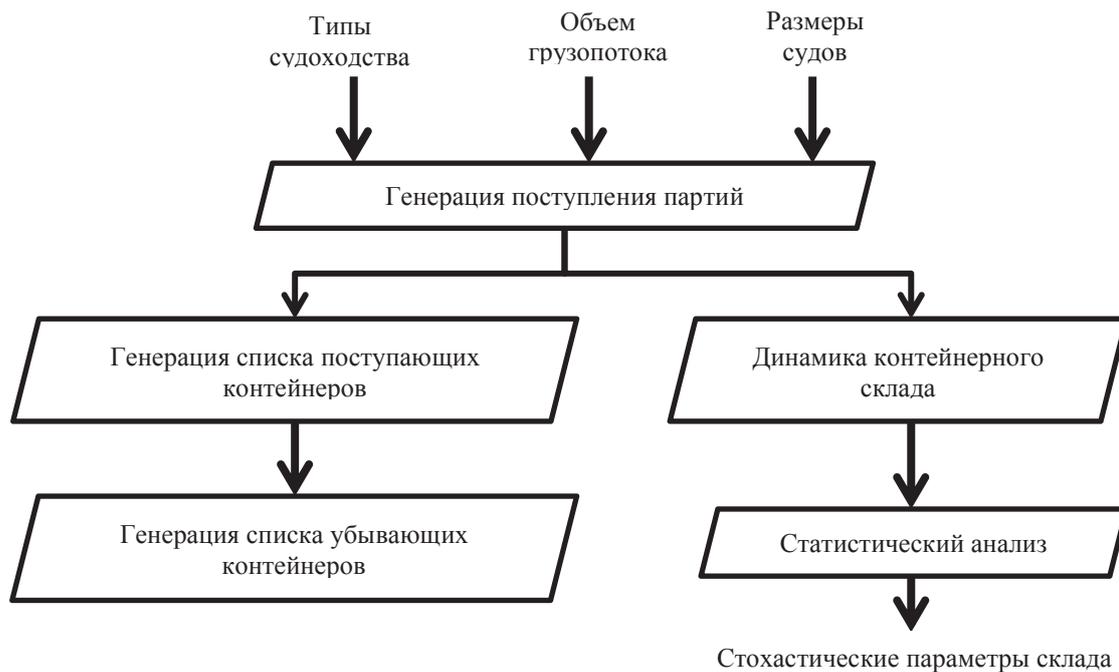
**Рис. 3. Оценка характеристик склада как случайных величин**

В то же время, трудоемкость выборки контейнера из штабеля склада, определяющая производительность оборудования, отличается значительной вариативностью. С операционной точки зрения трудоемкость характеризуется параметром, который носит название селективности [10, 11]. В свою очередь, селективность является функцией аргументов, в качестве которых выступают структурные параметры выбранной ТТС: тип применяемого оборудования, размеры штабеля, операционная технология формирования и разборки штабеля.

Случайная последовательность поступления и убытия контейнеров делает оценку селективности сложной задачей, к которой не могут быть применены методы детерминированных алгебраических расчетов. Как следствие, следующим после оценки вместимости склада этапом является расчет производительности ПТО в тех или иных локальных операциях, выполняемых при обработке заданного (сгенерированного) грузопотока. Этот расчет необходим для уточнения значения необходимого количества оборудования, полученного на предыдущих этапах. Для этого на основании данных, полученных генерацией случайных моментов поступления партий, и среднего срока хранения формируются списки поступления убытия индивидуальных контейнеров в определенные моменты времени (рис. 4).

Таким образом, динамика склада, полученная на втором этапе моделирования в виде массовых показателей, конкретизируется: в следующих моделях учитывается каждый отдельный контейнер. Это делается для получения уточненной характеристики селективности перегрузочного оборудования.

На последнем этапе разработки имитационной модели осуществляется моделирование работы перегрузочного оборудования на контейнерном складе. Исходными данными для моделирования являются размеры штабеля и технология укладки и перемещения контейнеров в штабеле (стратегия работы оборудования).

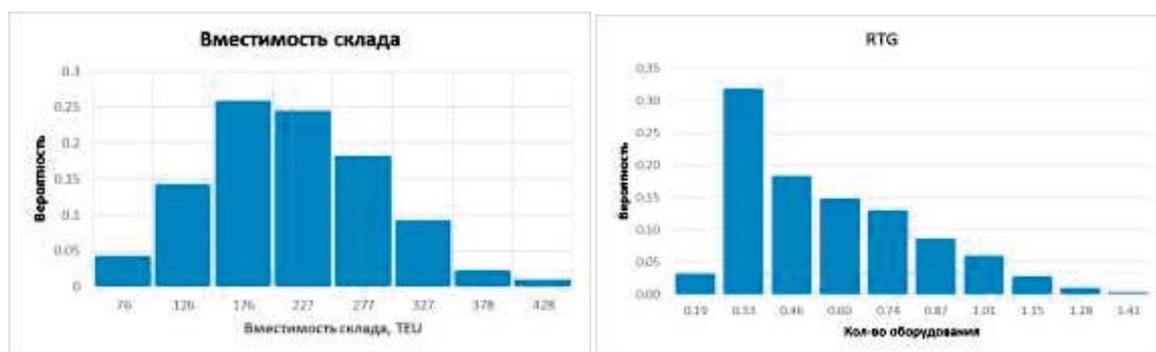


**Рис. 4. Генерация списков поступающих и убывающих контейнеров**

Результатом моделирования является производительность перегрузочного оборудования с учетом селективности контейнеров, на основании которого и рассчитывается необходимое количество перегрузочного оборудования.

#### Результаты

Результатами моделирования являются не «точечные» детерминированные значения оцениваемых параметров, а определяющие их «функции» – вероятностные распределения необходимой вместимости склада, размеров грузовых фронтов и операционных площадей, рабочих зон, необходимое количество оборудования и связанного с ним персонала (рис. 5).



**Рис. 5. Гистограммы распределения вероятности потребности в ресурсах**

Решения о вместимости контейнерного склада и необходимом количестве оборудования должны приниматься не по отдельности, а совместно, поскольку необходимое количество оборудования зависит в первую очередь от выбранного размера склада и штабелей. Именно поэтому анализ любой характеристики изучаемого объекта должен осуществляться путем «системного» моделирования этого объекта, т.е. через создание системы взаимосвязанных имитационных моделей. Так, описанный в статье блок моделирования входит в общую схему технологического моделирования

работы морского терминального комплекса, функциональная структура которого показана на рис. 6.

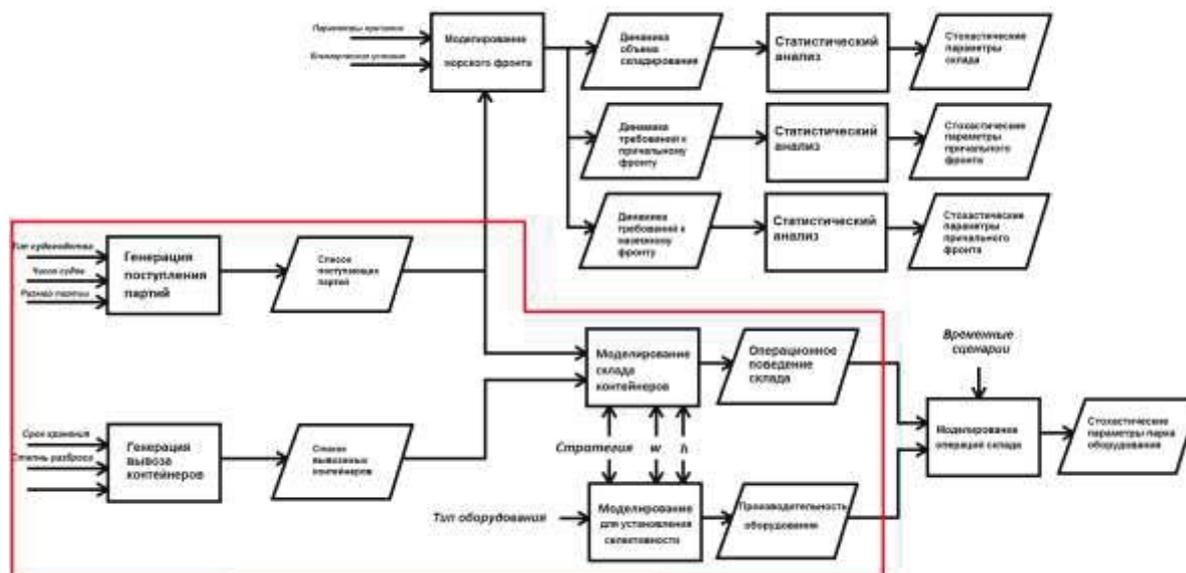


Рис. 6. Общая структура комплекса моделирования

### Выводы

1. Многие современные проблемы логистики не могут быть решены с достаточной точностью без применения методов имитационного моделирования.
2. При изучении, проектировании, а также управлении объектами транспорта, используются системы имитационных моделей, которые позволяют проанализировать отдельные характеристики объекта во взаимосвязи со всеми остальными.
3. Такой подход требует тщательной разработки всех этапов создания адекватного, надежного и непротиворечивого кластера имитационных моделей.

### Литература

1. **Волкова В.Н.** Теория систем и системный анализ : учебник для бакалавров / В. Н. Волкова, А.А. Денисов. М. : Издательство Юрайт ; ИД Юрайт, 2012. 679 с.
2. **Кузнецов А.Л.** Выбор формы представления структуры универсальной имитационной модели контейнерного терминала / Кузнецов А.Л., Щербакова-Слюсаренко В.Н., Ткаченко А.С. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. №3 (49). С. 520-532.
3. **Щербакова-Слюсаренко В.Н.** Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа “сухой порт” и принципов её использования в технологическом проектировании / Щербакова-Слюсаренко В.Н., Погодин В.А., Ткаченко А.С. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. №1 (41). С. 48-60.
4. **Изотов О.А., Гультяев А.В.** Определение требуемого количества технологических ресурсов портов и грузовых терминалов методом имитационного моделирования // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2018. №4 (50).
5. **Изотов О.А., Гультяев А.В.** Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2018. №3(49). С. 497-506.

6. СП 350.1326000.2018 «Нормы технологического проектирования морских портов» от 01.03.2018.
7. **Кузнецов А.Л.** Моделирование работы морского грузового фронта / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Д. А. Зайкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11. № 1. С. 33-42.
8. **Кузнецов А.Л.** Моделирование работы морского грузового фронта / Кузнецов А. Л., Кириченко А.В., Зайкин Д.А. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2019. №1(53). С. 33-42.
9. **Кузнецов А.Л.** Теоретико-множественная модель для расчета операционных ресурсов контейнерного терминала / А.Л. Кузнецов, А.Д. Семенов, В.Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2018. Т. 10. № 5. С. 1094-1103.
10. **Zhang, C., Liu, J., Wan, Y., Murty, K.G., Linn, R.J.** (2003). Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(10), 883–903.
11. **Zhao W., Goodchild A.V.** (2010). The impact of truck arrival information on container terminal rehandling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(3), 327-343.