

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-275-286

THE TASK OF SYNTHESIS OF THE STRUCTURE OF THE MARITIME PASSENGER TERMINAL

N. N. Maiorov

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russian Federation

The possibility for solving the problem of synthesizing the structure of the marine passenger terminal has been evaluated. The relevance of this is determined on the one hand by the observed increase in the intensity of cruise and passenger vessels and the increase in passenger traffic, on the other hand, the needed progress in finding certain best system parameters. At the same time, carrying out experiments with already constructed sea terminals is quite problematic. This problem can be solved only by synthesis, construction of a family of objective functions in analytical form and practical realization of the obtained functional in the simulation model. The construction of the objective function requires taking into account the boundary conditions, limitations and inclusion of key performance indicators. The model suggests the inclusion of a function that describes the influence of the external environment. The task of providing the equipping of the sea passenger port with appropriate equipment, appropriate logistical support and the involvement of specialists is one of the main items of the terminal budget. In this aspect, the synthesis problem is reduced to the problem of parametric synthesis. The article presents models of research the processes related to cruise ships, as well as technological processes of passenger services. Then we analyze the processes separately and justify the use of the family of models at the micro level. This determined the inefficiency of using generalized models, which can be represented with the help of the system dynamics technique. The simulation model will allow us to refine the results obtained, to determine the spatial location of the equipment, technical parameters and will allow us to use real statistical values in the model. The selection of needed equipment and the introduction of appropriate parameters and boundary conditions for the processes are formed by the decision maker. As a result, a set of analytical data is formed, on the basis of which the decision-maker will select a set of related parameters to ensure that the required indicators are met. The results in this case will be the basis for the formation of a feasibility study. The constructed objective function can be supplemented by a certain set of variables describing the existence of possible unique processes. The object of the research was the sea passenger port "Marine Facade". The correctness of the results is confirmed by the parametric synthesis and simulation results.

Keywords: performance indicators, marine passenger terminal, simulation, structure synthesis, performance, collateral level, objective function.

For citation:

Maiorov, Nikolaj N. "The task of synthesis of the structure of the maritime passenger terminal." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.2 (2018): 275–286. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-275-286.

УДК 65.012.1, 656.072

ЗАДАЧА СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ МОРСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТЕРМИНАЛА

Н. Н. Майоров

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Статья содержит предложения по решению задачи синтеза структуры морского пассажирского терминала. Актуальность этого обосновывается, с одной стороны, наблюдаемым увеличением интенсивности круизных и пассажирских судов и увеличением пассажиропотока, с другой — необходимостью достижения определенных наилучших параметров работы. При этом проведение экспериментов с уже построенными терминалами достаточно проблематично. Данная задача может быть решена только синтезом, а также построением семейства целевых функций в аналитическом виде и в виде практической реализации полученного функционала в имитационной модели. Построение целевой функции требует учета

граничных условий, ограничений и включения ключевых показателей производительности. В модель предлагается включить функцию, описывающую влияние внешней среды. Задача обеспечения оснащения морского пассажирского порта соответствующим оборудованием с надлежащим материально-техническим обеспечением и привлечением специалистов является одной из основных статей бюджета терминала. В данном аспекте задача синтеза сводится к задаче параметрического синтеза. В статье представлены модели исследования процессов как связанных с круизными судами, так и технологические процессы обслуживания пассажиров. Представлен анализ процессов по отдельности и обосновывается использование семейства моделей на микроуровне. При этом обосновывается неэффективность использования обобщенных моделей, которые можно представить с помощью методики системной динамики. Имитационная модель позволит уточнить полученные результаты, определить пространственное расположение оборудования и технических параметров, а также даст возможность использовать в модели реальные статистические значения. Выбор оборудования и ввод в модель соответствующих параметров и граничных условий в процессе обработки пассажиропотока формирует лицо, принимающее решение. В результате формируется набор аналитических данных, на основании которых лицо, принимающее решение, выберет набор связанных параметров, обеспечивающих выполнение требуемых показателей работы. Результаты в данном случае будут основой для формирования технико-экономического обоснования для морского пассажирского терминала. Построенная целевая функция может быть дополнена определенным набором переменных, описывающих наличие возможных уникальных процессов. Объектом исследования был выбран морской пассажирский порт «Морской фасад» (г. Санкт-Петербург). Правильность полученных результатов подтверждается параметрическим синтезом и результатами моделирования.

Ключевые слова: показатели производительности, морской пассажирский терминал, имитационное моделирование, синтез структуры, производительность, уровень обеспечения, целевая функция.

Для цитирования:

Майоров Н. Н. Задача синтеза структуры морского пассажирского терминала / Н. Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 275–286. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-275-286.

Введение (Introduction)

Современные процессы в мировой экономике напрямую влияют на развитие и изменение морских портов, терминалов и транспортных систем. Особое внимание необходимо уделить пассажирским терминалам, так как в последнее время наблюдается значительное увеличение пассажиропотока и интенсивности работы круизных судов в Балтийском море. Динамичное влияние внешней среды вынуждает такие системы к проведению активного поиска новых клиентов, поиска путей расширения направлений, привлечения новых компаний и использования новых интеллектуальных технологий для обеспечения лидерских позиций. Данному условию соответствует наблюдающееся развитие различных логистических сервисов, которые предлагают своим клиентам различные морские пассажирские терминалы. Наличие возможной конкуренции между различными терминалами, расположенными в одном регионе на одной территории, также способствует этому. Кроме того, необходимо также учитывать существующие технологические различия терминалов, участвующих совместно в процессе обработки судов и пассажиропотока. Хорошо известно, что именно на «стыках» различных терминалов и транспорта находятся основные резервы ускорения продвижения и сокращения возможных дополнительных транспортных издержек, повышения качества транспортных услуг и сервисов, а также создается благоприятная среда для построения транспортных логистических цепей.

Необходимо также отметить наличие географических особенностей портов и терминалов и экономические особенности регионов, которые определяют их технологические особенности. Включение данных условий значительно усложняет подходы к исследованию морских пассажирских терминалов. Подавляющее большинство транспортных систем, участвующих в обработке грузопотока, технологически и организационно разобщены, в отличие от сферы пассажирских перевозок. В процессе анализа соответствующего сегмента можно сформировать единое поле транспортно-логистических услуг и сформировать модель работы системы для исследования всей системы портов и терминалов. Для построения такой модели необходимо четко определить целевую функцию системы. При решении различных задач пассажирских портов

на микроуровне имеется большой объем известных моделей, методов и инструментов для их исследования путем моделирования, в отличие от макроуровня и комплексного представления системы.

Актуальными задачами являются вопросы постановки и формализации задач синтеза структуры, разработки соответствующих оптимизационных и имитационных моделей, а также построения на их основе процедур синтеза структуры морских портовых систем, позволяющих учитывать динамику функционирования элементов систем. Исследование данных задач необходимо как для обеспечения систем управления (обеспечения точности и качества работы, операционного быстрого действия и ряда других факторов), так и для решения вопросов прогнозирования развития терминалов на определенный период планирования.

При синтезе портовой системы необходимо определять структуру процессов и параметров исходя из требуемых характеристик. Ввиду сложности такой системы в ряде случаев эти требования могут различаться, и лицу, принимающему решение, потребуется искать некий компромисс. Для решения поставленных задач в статье под процессом синтеза понимается задача выбора параметров морских пассажирских портов и определения необходимых структурных изменений некоторой уже имеющейся системы, направленной на обеспечение требуемого качества работы. Параметр качества работы, или положение состояния системы [1], [2], является изменяющимся во времени параметром, так как на его формирование оказывает влияние окружающая экономическая среда и региональные особенности. Необходимо отметить, что задача синтеза структур является трудно формализуемой ввиду требования учета большого числа параметров системы.

С общих позиций система пассажирского морского терминала, как правило, имеет следующую организационно-функциональную структуру:

1. Подсистема организационного обеспечения, подсистема обработки круизных и паромных судов и морских причалов.
2. Подсистема информационного обеспечения, являющаяся организующим звеном работы системы и выполняющая информационный обмен.
3. Пассажирский терминал, являющийся производственным звеном, местом выполнения всех технологических операций с пассажиропотоком.
4. Подсистема сервисного обеспечения, планирования работ и обеспечения сопровождения обеспечения судов и пассажиропотоков.

Примем, что изначально известна некая структура портовой системы, которая определена на уровне первоначального проектирования. Однако при этом возникает вопрос: *отвечает ли данная система пассажирского морского терминала условиям, которые диктует экономическая ситуация?* При решении задачи синтеза происходит определение параметров портовой системы для обеспечения оптимальных условий, что требует анализа большого числа данных и граничных условий. При представлении данной модели в аналитическом виде появляется возможность повысить качество управления объектом и обосновать необходимые модернизации, а также расширить и обосновать введение новых терминалов в порту.

Методы и материалы (Methods and materials)

Известно, что теоретически для обеспечения наилучших показателей работы издержки должны быть минимизированы. В реальных системах сложно достичь точных значений параметров системы, поэтому при решении задач прогнозирования вводится понятие «достижение уровня». Задача оснащения морского пассажирского порта современным оборудованием, соответствующим требованиям материально-технического обеспечения, и привлечение специалистов является одной из основных статей бюджета терминала. Следовательно, задача синтеза сводится к задаче параметрического синтеза.

Для повышения эффективности функционирования пассажирского порта или терминала необходимо выбрать такое количество технического оборудования и персонала и организовать

технологический процесс обработки таким образом, чтобы загрузка ресурсов была максимальной, но при этом порт должен справляться с поставленными задачами и постараться обеспечить требуемые нормы работы оборудования и соблюдения графиков. К примеру, в случае наличия возможности введения новых причалов появляется возможность привлечения большего количества круизных судов. Вследствие этого увеличится нагрузка на персонал, если его число не было увеличено, что может повысить, к примеру, вероятность человеческих ошибок и сбоев в обслуживаемом оборудовании. Для того чтобы избежать ошибок, необходимо *правильно изначально определять целевую функцию системы*.

Объектом исследования являются пассажирские морские терминалы и причальные комплексы в г. Санкт-Петербурге. Под морским пассажирским терминалом понимается совокупность объектов инфраструктуры морского порта, технологически связанных между собой и используемых для осуществления операций с грузами и обслуживания пассажиров. Необходимо отметить, что любой терминал имеет уникальные особенности, обусловленные геометрией его построения и внутренним устройством, что необходимо учитывать при размещении оборудования и исследовании пассажиропотоков [3], [4]. На данный момент такими наиболее крупными являются морской пассажирский порт «Морской фасад» и комплекс «Морской вокзал». Комплекс порта «Морской фасад» включает семь причалов для приема океанских лайнеров, три круизных и один специализированный круизно-паромный терминал.

Нормативные документы, описывающие требования к технологическим процессам в порту, приведены в [5] и в основном реализованы в форме линейных структур. В [6] исследована информация о пиковых нагрузках на пассажирский порт «Морской фасад». В течение навигации 2017 г. (с 16 мая по 19 сентября 2017 г.) представлено 49 дней навигации, когда были зафиксированы пиковые нагрузки. Количество таких дней по отношению к дням всей навигации составило 32 % от общего количества дней работы пассажирского порта. По сравнению с 2009 г. пассажиропоток увеличился в 2,26 раз, а количество круизных лайнеров возросло в 2,16 раза. Все это свидетельствует о росте в сегменте пассажирских морских перевозок и необходимости проведения процедуры синтеза структуры. Статистика работы терминала в 2017 г. приведена в табл. 1.

Таблица 1

Статистика работы терминала

2017 г.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	Всего
Пассажиропоток, чел.	0	213161	335754	13189	562104
Количество лайнеров, шт.	0	98	146	5	249

Целевая функция оптимизации структуры и процесса функционирования морского пассажирского терминала является многопараметрической и многокритериальной. При ее реализации необходимо учитывать число пассажирских терминалов, причалов, интенсивность захода судов. В общем виде целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$T(I, W, S, G, U) = [F_1(I, W, S, G, U) \rightarrow \max, \dots, F_m(I, W, S, G, U) \rightarrow \max], \quad (1)$$

где T — вектор критериев оценки эффективности работы пассажирского морского порта; F_1, \dots, F_m — критерии эффективности работы отдельных портовых терминалов и причалов; I — вектор параметров, описывающих структуру входящего потока круизных судов и дополнительно транспорта; W — вектор параметров, описывающих структуру исходящего потока транспорта и паромных судов; S — вектор параметров, характеризующих техническую оснащенность терминалов и причалов; G — вектор параметров, описывающих график работы и организацию обработки пассажиропотока и сопутствующего грузопотока; U — вектор параметров, характеризующих сервисы и услуги, которые предоставляют терминалы.

Примем следующее допущение о том, что ситуация на рынке услуг стабилизировалась на определенном равновесном уровне, и входящие параметры в систему порта остаются неизмен-

ными. При использовании такого подхода и при последующих упрощениях под значениями достижения «max / min» понимается нахождение экстремумов функций, подразумевающих достижение максимальной прибыли и минимальных издержек. Кроме того, можно внести критерии выбора условий для достижения быстроты обработки пассажиров и круизных судов. В аналитической форме эти критерии формируют следующую систему целевых функций работы морского пассажирского терминала:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^c l_k T_k - \sum_{i=1}^p L_{k1} T_{ik}(S, G) \rightarrow \min; \\ C_i n_i(S, G) + \sum_{j=1}^h (C_{j1} + C_j W_j) + \sum_{k=1}^c C_k L_k^1 T_k(S, G) + C_k L_k^2 T_{k1}(S, G) \rightarrow \min; \\ F_i(\alpha_i) \rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^h (K_j^{\max} - K_j(G, S)) \rightarrow \min \end{cases} \quad (2)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} 0 \leq K_j^{\max} \leq 1, j \in 1...n; \\ a_i \leq \alpha \leq b_i, \alpha \in 1...n, b \in 1...n; \\ T_{kj}^{\max}(G, S) \leq T_{kj}^{\max}, j \in 1...p, k \in 1...c. \end{cases}$$

где p, c — количество технологических этапов по обработке пассажиропотока, количество заявок пассажиров в системе; h — количество ресурсов пассажирских терминалов (площадей и объемов терминалов, причалов); C_i — возможные задержки в обработке пассажиров или судов; $n_i(S, G)$ — количество судов, получивших задержки в течение определенного интервала времени; C_{j1} — стоимость эксплуатации j -го ресурса терминала в течение рассматриваемого времени; C_j — стоимость эксплуатации единицы площади терминала; W_j — площадь, занимаемая j -м ресурсом; C_k — штраф за ожидание обработки судна или возможный простой в работе терминала; L_k^1 — признак обработки определенного k -го судна; $T_k(S, G)$ — длительность разгрузки k -го судна; l_k — важность показателя длительности обработки k -го заказа для терминала; $T_{k1}(S, G)$ — длительность погрузки k -й заявки; L_k^2 — признак погрузки k -го заказа; T_k — требуемая длительность обработка судов; L_{k1} — признак прохождения i -го этапа k -м заказом в порту; $T_{ik}(S, G)$ — длительность i -го этапа обработки k -го заказа; $K_j(G, S)$ — загрузка j -го ресурса терминала; K_j^{\max} — максимально возможная необходимая загрузка j -го ресурса порта; T_{kj}^{\max} — максимально возможная длительность обработки заказа на j -м этапе технологических операций; $F_i(\alpha_i)$ — функция влияния внешней среды.

Включение переменной $F_i(\alpha_i)$ необходимо для учета влияния внешней среды. Стремление данной переменной к минимуму при данном подходе означает стремление системы к достижению стабильной работы терминала и отсутствию конкуренции на рынке между терминалами.

При синтезе структуры терминала происходит выбор оборудования для терминала между доступным на рынке. Каждый тип оборудования имеет свою производительность, стоимость создания, стоимость покупки или найма в аренду и эксплуатации с учетом материально-технического обеспечения и восстановления оборудования. Следовательно, на этапе определения типа и количества используемых ресурсов параметры задачи синтеза являются дискретными. Необходимо отметить, что такие функции, как $K_j(G, S)$, $T_{ik}(S, G)$ и другие, отражающие длительность работ и загрузки элементов, являются нелинейными функциями, поэтому при их исследовании желательно вводить разбиение на определенные временные интервалы.

На основании представленных позиций можно системно представить концепции производительности морских пассажирских терминалов в определении переменных факторов, элементов управления и показателей производительности (рис. 1).

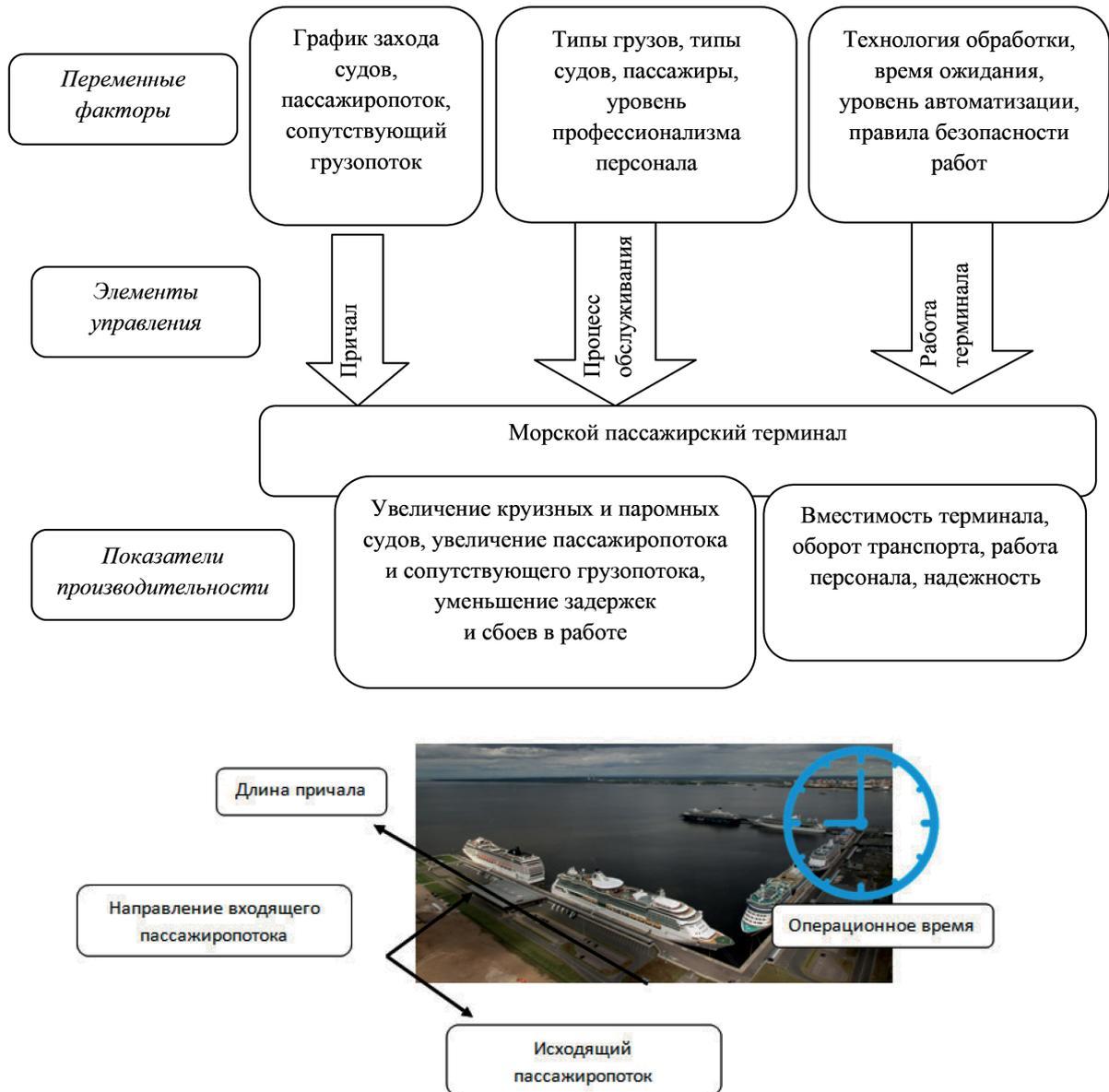


Рис. 1. Системный подход к представлению критериев производительности морских пассажирских терминалов и общему направлению потоков в системе

На практике любые эксперименты с уже созданным пассажирским терминалом практически невозможны. При этом необходимо оперативно реагировать на любые изменения. Отработка различных «сценариев» возможна только на модели терминала. Для правильности последующего моделирования и интерпретации результатов необходимо выполнение теорем подобия и нахождение равенства инварианта подобия [7]. Поэтому на основе целевой функции следует установить соотношения между реальными параметрами процессов и их реализацией в имитационной модели.

Модель любого терминала в структуре порта строится на основе описания ее структуры и технологических процессов, которые, в свою очередь, включают описание всех технологических участков микроуровня. При описании структуры и работы терминала используется *метод декомпозиции*: терминал разделяется на составные элементы, в технологическом процессе выделяются основные функционально значимые операции. Терминал представляется как техническая система, состоящая из связанных элементов.

На рис. 1 показана схематичная структура одного пассажирского терминала с направлением пассажиропотоков. В исследуемой системе необходимо разграничить процессы, связанные с об-

служиванием судов и пассажиров. При исследовании процессов интенсивности заходов круизных лайнеров необходимо ответить на вопрос: *на какую интенсивность ориентироваться при расчете — среднюю, которая будет крайне редкой (чаще всего реальные значения получаются ниже как компенсация пиковых всплесков), или максимальную, которая будет наблюдаться лишь в течение некоторого пикового времени.* Для пассажирского терминала ключевым измеряемым параметром выбирается пассажиропоток, варьируемыми параметрами — вместимость круизного судна, количество причалов и интенсивность обработки судов на них. Условно схема данной модели относительно судов МПС (морской портовой системы) показана на рис. 2.

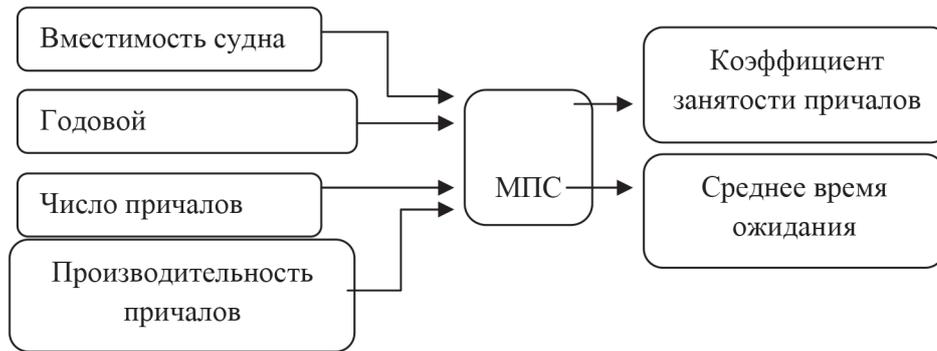


Рис. 2. Структура модели морского пассажирского терминала

В публикациях [8] и [9] представлены технологические операции по обработке пассажиропотока с заданной интенсивностью прихода круизных и паромных судов. На основе целевой функции и их представления была выполнена имитационная модель. Данная модель реализует работу круизно-паромного терминала в морском порту «Морской фасад». В ней учтены геометрические особенности терминала [10]. В результате исследования процессов, связанных с обслуживанием пассажиропотоков и круизных судов, была составлена табл. 2, указывающая участки морского пассажирского терминала, которые необходимо моделировать для анализа каждой технологической операции.

На основании представленной целевой функции открывается возможность выполнить моделирование работы всего комплекса причалов на практике, представленных в модели по отдельности. На вход данной модели поступают данные об интенсивности заходов круизных и паромных судов в течение навигации, причалов, к которым они швартуются, о количестве пассажиров, а также о необходимом оборудовании и требования, предъявляемые к нему. Примеры моделей на микроуровне приведены в [11], [12]. Проанализировав их, можно отметить, что в каждом случае исследования достигалось выполнение только определенных значений. В рассматриваемом случае в результате прогона модели в течение выбранного модельного времени, равного времени навигации, получаются числовые характеристики работы терминала, загруженности его ресурсов, «узкие» места, в которых возникают задержки, и условие правильности размещения оборудования.

В состав агентов включаются сотрудники терминала и в результате получают параметры их загруженности. Так, при необходимости нахождения условий минимизации загрузки j -го ресурса (например, стоек регистрации) в модель на основе целевой функции вносятся ограничения, условие времени на обработку пассажира и устанавливается счетчик, считывающий каждую задержку как выход за рамки нормативного времени. Параметры входящего и исходящего потоков пассажиров круизных судов являются неизменными при запуске моделей. Варьируемым параметром для модели являются количество и тип используемого оборудования. Как следствие, в модель необходимо включить выбор типа оборудования из имеющегося на рынке. Данный этап формирует самостоятельно лицо, принимающее решение. Каждый тип оборудования определяется производительностью, стоимостью эксплуатации C_{ji} , занимаемой площадью W_j и оказывает прямое влияние на процессы по обработке круизных судов и пассажиров. Наиболее подходящее оборудование определяется при достижении минимума издержек.

Таким образом, полученная модель характеризуется большим количеством варьируемых параметров и различными критериями оценки эффективности, что, безусловно, затрудняет поиск оптимальных вариантов структуры морского пассажирского терминала. Для поиска оптимальной структуры системы при определении конечного числа модельного времени, равного навигации, в имитационной модели можно использовать следующие способы:

1. *Поиск оптимальной структуры каждого участка по отдельности.* В этом случае необходимо наличие аналитических данных по участкам с сохранением их взаимосвязи.

2. *Использование модели при введении ограничений,* т. е. переход к обобщенной модели, позволяющий снизить точность моделирования и последующего анализа. В данном случае может идти речь о построении модели по принципам системной динамики.

Использование первого способа приводит к более правильному решению. При этом исходная задача разбивается на группу подзадач, с меньшим числом параметров каждая. Временные параметры в этом случае будут выбираться из набора статистических данных за прошлые временные периоды.

Результаты (Results)

В результате исследования представлен новый подход к решению задачи синтеза структуры морского пассажирского терминала и предложена новая целевая функция оптимизации структуры и процесса функционирования с учетом влияния воздействия внешней среды. Так как любые эксперименты с уже созданным пассажирским портом невозможно выполнить в реальности, результат, полученный при исследовании структуры с помощью аналитических моделей, является исходным условием для выполнения последующего имитационного моделирования участков. Без построения целевой функции невозможно выполнить качественное моделирование, так как в этом случае не будут учитываться все требуемые параметры. В противном случае модель станет очень обобщенной и будет неточной. Практическая реализация в форме имитационной модели позволит уточнить полученные результаты, определить пространственное расположение оборудования и использовать в модели реальные значения. При задании целевой функции сразу определяются области допустимых решений, что ускоряет процесс последующего анализа и принятия решения.

Задача поиска наилучшего функционирования терминала разбивается на семейство задач на микроуровне с учетом граничных условий. Результаты исследования взаимосвязи отдельных технологических процессов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Взаимосвязь между отдельными процессами и их моделированием

Участок морского пассажирского терминала	Процесс моделирования							
Моделирование работы причалов	+							
Досмотр пассажиров при входе в терминал		+						
Перемещение пассажиров по терминалу			+					
Стойки регистрации билетов и багажа				+				
Паспортный контроль					+			
Таможенный контроль						+		
Подача судна							+	
Проход по телетрапу / причалу и регистрация на судне								+
Процессы, связанные с обслуживанием круизного лайнера								
Движение в акватории и по маршруту								

По результатам моделирования и при получении значений из допустимых областей выполняется их проверка соответствия целевым функциям. В данном случае необходимо уделять

особое внимание обеспечению правильного описания оборудования и аналитических параметров лицом, принимающим решение, так как при неправильном выборе моделирование не приведет к желаемым результатам.

Предложенный путь решения является достаточно трудоемким и существует вероятность внесения ошибки в целевую функцию из-за человеческого фактора. Но при практической реализации структуры процессов в имитационной среде производится дополнительная проверка на логичность и связность. Таким образом, решение задачи синтеза структуры позволяет обоснованно выполнить изменения в работе служб морского пассажирского терминала для обеспечения требуемого уровня функционирования.

Обсуждение (Discussion)

В реальных процессах функционирования пассажирских терминалов всегда возникают сбои и задержки. Так как большинство процессов реализовано линейными структурами, то неизбежно любая задержка отразится на последующих этапах. Если сбой возникает системно, корректирующее воздействие направляется на соответствующий элемент системы. Но как быть, если необходимо наиболее точно спрогнозировать загруженность пассажирского терминала или определить, какое оборудование поставить, чтобы достичь скорости в процессе обработки. Данную задачу можно решить, применяя, к примеру, опыт другого терминала партнера. Однако решение, вследствие наличия уникальных особенностей в каждом терминале, может не привести к желаемым результатам. С другой стороны, если лицо, принимающее решение, точно определяет целевые функции для своего терминала с учетом особенностей и четко вводит граничные условия, то оно уменьшает вероятность ошибки из-за потери данных или ошибочной переоценки некоторых функций. Практика показывает, как приведено в [1], [2], что решение задачи синтеза структуры позволяет на длительный период времени повысить качество процессов системы. Если не выполнять глубокое разбиение на все процессы, а представить решение в виде некоторой общей функции, как, к примеру, это можно реализовать системной динамикой, то точность моделирования будет сведена к минимуму. Поэтому правильным решением является построение набора целевых функций с последующей реализацией в имитационной модели с учетом особенностей каждого процесса.

Пример различных значений моделирования работы системы на основе представленной целевой функции пассажирского терминала приведен в табл. 3. Изменяемым параметром является время и параметры работы оборудования стоек регистрации и досмотра в терминале.

Таблица 3

Пример результатов моделирования

Изменяемый параметр	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
Операционное время	10	15	17	20	21	22	23	24	30	...
Интенсивность на стойках регистрации / досмотра (оперативность работы оборудования стойки регистрации) — рабочее место, состоящее из принтера печати посадочных талонов и сканера паспортов	4	5	3,5	8	10	11,3	12,2	8,3	7	...
Операционное время	10	15	17	20	21	22	23	24	30	...
Интенсивность на стойках регистрации / досмотра (оперативность работы оборудования стойки регистрации) — рабочее место, состоящее из принтера печати посадочных талонов; сканера паспортов (другой производитель)	3	6	5,5	9	5	6	6,5	4	5	...

В результате моделирования получается набор данных, из которых лицо, принимающее решение, путем формирования области предпочтения, на основе граничных условий сформирует выборку допустимых данных. На основе эмпирических данных после выборки открывается возможность определения необходимых структурных изменений, направленных на обеспечение требуемого качества работы портовой системы.

Дополнительно необходимо отметить возможность адаптации целевой функции к условиям любого пассажирского терминала и наличие возможности включения новых функций.

Заключение (Conclusion)

Полученные целевые функции позволяют ставить и решать оптимизационную задачу синтеза структуры морского пассажирского терминала. Данная задача крайне важна для проведения исследования системы терминала в целом с учетом особенностей взаимодействия между элементами и решения задачи прогноза. На основе предложенной методики и практической реализации можно формировать обоснованный выбор наилучшей организации работы терминала. С научных позиций построение таких функций является важным результатом исследования. Синтез выполняется с целью обоснования множества элементов портовой структуры, отношений и связей между ними, характеристик элементов и связей, обеспечивающих в совокупности наилучшее функционирование и последующее проведение исследования путем моделирования. Однако полученные зависимости показывают, что при выполнении расчетов приведенные системы уравнений потребуют большей детализации и включения каждого функционала работы терминала с учетом граничных условий.

В результате проведенного исследования были получены следующие новые результаты:

- разработана система целевых функций для такого объекта транспортной инфраструктуры, как морской пассажирский терминал;
- представлена модель синтеза структуры морского пассажирского терминала;
- представлены ключевые показатели производительности пассажирского порта во взаимосвязи с переменными факторами;
- предложена и обоснована необходимость включения в целевые функции специальной функции, представляющей влияние внешней среды;
- обосновано формирование принятия решения на основе реализации задачи синтеза структуры и последующего моделирования для лиц, принимающих решение, по управлению морским пассажирским терминалом или задач модернизации инфраструктуры.

Включение функции, описывающей влияние внешней среды, позволяет при реализации в имитационной модели учитывать стохастический характер процессов и является одним из дальнейших направлений исследований в рассматриваемых условиях работы морских пассажирских терминалов. Модель строится на основе аналитической формы целевой функции, декомпозиции структуры терминала и обоснования условий реализации для каждого участка, а дальнейшее исследование, направленное на достижение наилучшего функционирования системы морского пассажирского терминала, целесообразно проводить, опираясь на методы имитационного моделирования и теории подобия систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бесекерский В. А.* Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. — М.: Профессия, 2004. — 747 с.
2. *Beckman M. J.* Tinbergen lectures on organization theory / M. J. Beckman. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988. — 252 p.
3. *Handbook of Terminal Planning* / edited by J. W. Böse. — Springer Science+Business Media, LLC, 2011. — 456 p. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.
4. *Marine transportation management* / edited by Henry S. Marcus. — Taylor & Francis, 1987. — 247 p.

5. Постановление Правительства РФ от 19.08.2009 № 676 «О правилах обслуживания пассажиров и оказания иных услуг, обычно оказываемых в морском порту и не связанных с осуществлением пассажирскими и другими гражданами предпринимательской деятельности».

6. Порт Санкт-Петербург Морской Фасад. Даты пиковых нагрузок [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.portspb.ru/Raspisanie> (дата обращения: 15.02.2018).

7. Сольнищев Р. И. Модели и методы принятия проектных решений / Р. И. Сольнищев. — СПб.: ЛЭТИ, 2010. — 68 с.

8. Майоров Н. Н. Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 70–80. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.

9. Приказ Министерства транспорта РФ от 22.12.2009 № 247 «Об утверждении Типовой схемы организации пропуска через государственную границу Российской Федерации лиц, транспортных средств, грузов, товаров и животных в морских и речных (озерных) пунктах пропуска через государственную границу Российской Федерации».

10. Dragović B. Simulation Modelling of Ship-Berth Link with Priority Service / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović, V. Maraš // *Maritime Economics & Logistics*. — 2005. — Vol. 7. — Is. 4. — Pp. 316–335. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100141.

11. Dragović B. Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović // *Maritime Policy & Management*. — 2006. — Vol. 33. — Is. 3. — Pp. 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.

12. Jugović A. Organization of Maritime Passenger Ports / A. Jugović, V. Mezak, S. Lončar // *Pomorski zbornik*. — 2006. — Vol. 44. — Is. 1. — Pp. 93–104.

REFERENCES

1. Besekerskii, V.A., and E.P. Popov. *Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya*. M.: Professiya, 2004.

2. Beckman, M.J. *Tinbergen lectures on organization theory*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.

3. Böse, J.W. *Handbook of Terminal Planning*. Springer Science+Business Media, LLC, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.

4. Marcus, Henry S. *Marine transportation management*. Taylor & Francis, 1987.

5. Russian Federation. Government Decree № 676, 19.08.2009. O pravilakh obsluzhivaniya passazhirov i okazaniya inykh uslug, obychno okazyvaemykh v morskome portu i ne svyazannykh s osushchestvleniem passazhirami i drugimi grazhdanami predprinimatel'skoi deyatel'nosti.

6. Port Sankt-Peterburg Morskoi Fasad. Daty pikovykh nagruzok. Web. 15 Feb. 2018 <<https://www.portspb.ru/Raspisanie>>.

7. Sol'nitsev, R.I. *Modeli i metody prinyatiya proektnykh reshenii*. SPb: LETI, 2010.

8. Majorov, Nikolaj Nikolaevich, and Vladimir Andreevich Fetisov. “Research of operational processes passenger services in the marine passenger terminal using simulation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(40) (2016): 70–80. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.

9. Russian Federation. Decree of the Ministry of Transport № 247, 22.12.2009. “Ob utverzhdenii Tipovoi skhemy organizatsii propuska cherez gosudarstvennyu granitsu Rossiiskoi Federatsii lits, transportnykh sredstv, tovarov i zhivotnykh v morskikh i rechnykh (ozernykh) punktakh propuska cherez gosudarstvennyu granitsu Rossiiskoi Federatsii”.

10. Dragović, Branislav, N. K. Park, Z. Radmilović, and V. Maraš. “Simulation modelling of ship-berth link with priority service.” *Maritime Economics & Logistics* 7.4 (2005): 316–335. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100141.

11. Dragović, B., N.K. Park, and Z. Radmilović. “Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches.” *Maritime Policy & Management* 33.3 (2006): 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.

12. Jugović, Alen, Vlado Mezak, and Slavko Lončar. “Organization of Maritime Passenger Ports.” *Pomorski zbornik* 44.1 (2006): 93–104.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Майоров Николай Николаевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет аэрокосмического
приборостроения»
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 67, лит. А
e-mail: nmsoft@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Maiorov, Nikolaj N. —
PhD, associate professor
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
67/A Bol'shaya Morskaya Str.,
St. Petersburg,
190000, Russian Federation
e-mail: nmsoft@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 27 февраля 2018 г.
Received: February 27, 2018.*