

## MONTE-CARLO SIMULATION FOR THE EFFICIENCY ASSESSMENT OF MARINE TERMINAL WORKING TIME BUDGET USING

**A. M. Sampiev**

JSC «Lenmorniiiproekt», St. Petersburg, Russian Federation

*Determination of the marine terminal location as a rule occurs during pre-design studies, long before investment decision of project realization is taken. Decision of the marine terminal location should have technical and economic justification. Risks of downtime and inefficient use of terminal production capacities increase in case of incorrect geographical location of terminal. Effective terminal operation time can be significantly reduced due to the presence of negative external factors, first of all, natural and climatic conditions. To compensate risks of inefficient use of the marine terminal production capacities the mathematical model for the marine terminal working time budget assessment developed using Monte-Carlo simulation is proposed. The main point of Monte-Carlo method for solving specific problem of assessment the working time budget of the terminal is repeated generation of realization values of external factors impeded the terminal operation and subsequent assessment of these factors influence on the effective time of terminal operation. The following external factors are considered in the paper: wind, temperature, fog, ice conditions, equipment malfunctions. The basics of the Monte-Carlo method are briefly described in the article; the process of the input parameters preparation is stated in detail; an algorithm of model operation is documented; the simulation results are well shown and the appropriate conclusions are made. The main result received during modeling is the range of coefficient values of using of working time budget of the marine terminal. The coefficient values can be one of the arguments at decision making on location and layout of the marine terminal. The calculation is made on example of liquefied natural gas and gas condensate shipment berthes, located in Sabetta sea port, Yamalo-Nenets Autonomous District, Russia.*

*Keywords: marine terminal, Monte-Carlo method, terminal availability, working time budget, simulation.*

**For citation:**

Sampiev, Adam M. "Monte-Carlo simulation for the efficiency assessment of marine terminal working time budget using." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 68–77. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-68-77.

**УДК 656.615**

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЮДЖЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ МОРСКОГО ТЕРМИНАЛА

**А. М. Сампиев**

АО «Ленморнииипроект», Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Определение местоположения морского терминала, как правило, происходит в процессе предпроектных проработок, задолго до принятия инвестиционного решения о реализации проекта. Решение о местоположении терминала должно иметь технико-экономическое обоснование. В случае некорректного географического расположения терминала возрастают риски простоев и неэффективного использования производственных мощностей предприятия на этапе эксплуатации. Эффективное время работы терминала может быть существенно снижено за счет наличия неблагоприятных внешних факторов, в первую очередь, природно-климатических условий. В качестве компенсации рисков неэффективного использования производственных мощностей морского терминала предложена математическая модель оценки эффективности использования бюджета рабочего времени, разработанная с использованием метода Монте-Карло. В качестве критерия эффективности принят коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала. Сутью метода Монте-Карло для решения конкретной задачи об оценке эффективности использования бюджета рабочего времени терминала является многократная генерация значений реализации внешних факторов, препятствующих работе терминала и последующая оценка влияния данных*

*факторов на время работы терминала. В настоящей статье рассмотрены следующие неблагоприятные внешние факторы: ветер, температура, ледовые условия, туман, неисправности оборудования. В статье кратко описаны основы метода Монте-Карло, детально изложен процесс подготовки входных параметров для работы модели, описан алгоритм работы модели, показаны результаты моделирования, сделаны соответствующие выводы. Основным результатом в процессе работы модели является диапазон значений коэффициента использования бюджета рабочего времени морского терминала. Значения коэффициента использования бюджета рабочего времени морского терминала могут послужить одним из аргументов в принятии решения о расположении и компоновке морского терминала. В статье выполнен расчет на примере отгрузочных причалов сжиженного природного газа и газового конденсата, расположенных в морском порту Сабетта (Ямало-Ненецкий автономный округ, РФ).*

*Ключевые слова:* морской терминал, метод Монте-Карло, бюджет рабочего времени, моделирование.

Для цитирования:

Сампиев А. М. Применение метода Монте-Карло для оценки эффективности использования бюджета рабочего времени морского терминала / А. М. Сампиев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 68–77. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-68-77.

### Введение (Introduction)

На этапе предпроектных проработок необходимо правильно определить местоположения проектируемого морского терминала. Особенно важным является выполнение оценки эффективности использования бюджета рабочего времени морских терминалов, проектируемых в арктических регионах, где, прежде всего, природно-климатические факторы диктуют условия расположения объекта.

В рамках выполнения предпроектных работ необходимо определить компоновочную схему терминала и проработать вопрос обеспечения объекта инженерными коммуникациями, иметь представление о поэтапном развитии производственных мощностей и информацию об особенностях природно-климатических факторов и их влиянии на конструктивные и компоновочные решения сооружений терминала. Также возможность реализации проекта должна быть рассмотрена в контексте требований, предъявляемых к охране окружающей среды.

Как правило, при выполнении предпроектных проработок сравниваются несколько вариантов географического расположения терминала, несколько вариантов компоновочных решений с выполнением технико-экономического анализа по каждому из них. На последующих этапах проектирования вариантная проработка доходит до уровня сравнения конструктивных и объемно-планировочных решений для каждого из сооружений [1].

Выполнение вариантной проработки географического расположения терминала возможно с использованием результатов инженерных изысканий, вначале это результаты изысканий, доступные в открытых источниках, в последующем — результаты с площадки проектируемого объекта. Выполнение оценки эффективности использования бюджета рабочего времени терминала желательно проводить на этапе выбора географического положения объекта с использованием первичных доступных данных с последующим их уточнением после проведения инженерных изысканий [2], [3].

В работе [4] представлен детальный обзор научных исследований в области совершенствования технологических процессов работы морских портов. В частности, в работах А. Л. Кузнецова [5]–[7] показана необходимость выполнения моделирования процессов сложных технических объектов, к которым относятся морские терминалы.

Оценку эффективности использования бюджета рабочего времени морского терминала в данной статье предлагается выполнить с использованием метода Монте-Карло. Расчет выполнен на примере отгрузочных причалов сжиженного природного газа и газового конденсата, расположенных в морском порту Сабетта (Ямало-Ненецкий автономный округ, РФ). В качестве исходных данных были использованы материалы инженерных изысканий, выполненных АО «Ленморнии-проект» в 2011–2013 гг.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Метод Монте-Карло можно определить как способ моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений. Для решения задач методом Монте-Карло необходимо получить последовательность выборочных значений случайной величины с заданным распределением. Случайные величины обычно моделируются с помощью преобразования одного или нескольких независимых значений случайного числа, равномерно распределенного в интервале (0; 1). На практике обычно используются псевдослучайные числа, вычисляемые по определенным формулам и имеющим определенный конечный период [8], [9]. В зарубежной литературе процесс моделирования прикладных задач с целью дальнейшего их решения методом статистических испытаний принято называть *имитацией* (Simulation).

Суть метода Монте-Карло заключается в получении оценки разброса искомой величины, являющейся сложной функцией некоторых переменных случайных величин вокруг среднего значения  $a$ . Для этого известным образом конструируют случайную величину  $\xi$ , математическое ожидание которой равно  $a$ :

$$M\xi = a.$$

Многokrратно генерируя  $\xi$ , получим ряд значений  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ , с помощью которых выполним оценку  $a$ :

$$a \approx \frac{1}{n}(\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n).$$

Как правило, моделирование осуществляется с помощью компьютерных программных комплексов. Основная идея метода в контексте определения коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала заключается в многократном моделировании возникновения внешних факторов, ограничивающих работу терминала. Для каждого отдельного этапа моделирования значения внешних факторов выбираются случайным образом в соответствии с плотностью распределения вероятности возникновения для каждого из этих факторов. Выполнив сравнение значений внешних факторов для каждого этапа моделирования с их влиянием на коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала, оказывается возможным получить значения случайной величины — коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала по каждому из факторов.

Исходными данными для моделирования являются результаты инженерно-гидрометеорологических изысканий, полученных для района предполагаемого размещения терминала. В качестве критерия эффективности использования бюджета рабочего времени морского терминала рассмотрим коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала. В действующих нормативных документах (СП 350.1326000.2018 «Нормы технологического проектирования морских портов») наиболее схожим с рассматриваемым коэффициентом использования бюджета рабочего времени терминала параметром является коэффициент использования бюджета рабочего времени причала, учитывающий простои причала по метеорологическим факторам в месяц наибольшей работы ( $K_{\text{мет}}$ ). В соответствии с нормативными документами данный коэффициент предлагается принимать по рассчитанным табличным значениям для регионов с существующими морскими портами либо (при отсутствии табличных значений) рассчитывать арифметически как отношение разности календарного времени и продолжительности действия метеорологических факторов в течение месяца оптимальной работы, при которых нельзя производить погрузочно-разгрузочные операции, связанные с обработкой судов у причала, к общему календарному времени<sup>1</sup>.

Под коэффициентом использования бюджета рабочего времени терминала будем понимать отношение времени работы терминала в штатном режиме с плановыми показателями  $T_w$ , к общему календарному времени  $T$ :

<sup>1</sup> Russian Federation. Set of rules SP 350.1326000.2018. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov. M.: Standartinform, 2018.

$$K = \frac{T_w}{T}.$$

Время работы терминала в штатном режиме определим как разность между календарным временем и простоями:  $T_w = T - T_d$ . Тогда приведенное ранее выражение примет следующий вид:

$$K = \frac{T - T_d}{T}.$$

Итоговое значение коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала рассчитывается по суммарным простоям на каждой из итераций модели, предполагающей различные комбинации внешних факторов, исходя из их вероятности возникновения.

Введем понятие коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала по каждому из внешних факторов:

$K_w$  — коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по ветру;

$K_t$  — коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по температуре;

$K_l$  — коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по ледовым условиям;

$K_f$  — коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по туману;

$K_b$  — коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по неисправностям оборудования и судов портового флота.

Рассмотрим методику расчета коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала по каждому из внешних факторов более подробно.

**Ветер.** При скорости ветра выше 12 м/с проведение погрузочно-разгрузочных операций замедляется. В связи с увеличением ледовой нагрузки суда прибывают в терминал с опозданием от планового времени примерно на 30 %.

При скорости ветра выше 15 м/с проведение погрузочно-разгрузочных операций запрещено. Судам, находящимся в порту, запрещается выходить в открытое море, приходящие суда также ждут улучшения погоды в безопасном месте за пределами терминала.

Коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по ветру  $K_w$  в зависимости от скорости ветра принимает следующие значения:

$$K_w = \begin{cases} 1 & w < 12 \text{ м/с}; \\ 0,93 & 12 \text{ м/с} \leq w < 15 \text{ м/с}; \\ 0,92 & w \geq 15 \text{ м/с}. \end{cases}$$

В табл. 1 и на рис. 1 приведена плотность распределения вероятности возникновения скоростей ветра.

Таблица 1

Скорость ветра и вероятность его возникновения

| Скорость ветра, м/с | 0–1 | 2–3  | 4–5  | 6–7  | 8–9  | 10–11 | 12–13 | 14–15 | 16–17 | 18–20 | 21–28 | 29–40 |
|---------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Вероятность, %      | 5,0 | 16,8 | 20,2 | 19,6 | 16,6 | 8,6   | 7,4   | 3,2   | 1,2   | 1,2   | 0,3   | 0,05  |

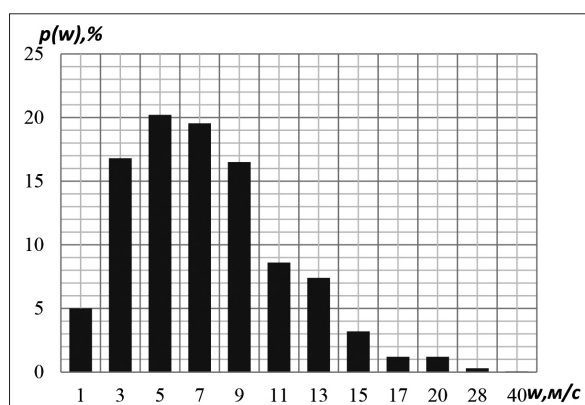


Рис. 1. Плотность распределения вероятности возникновения скорости ветра

**Туман.** Число дней с туманом составляет в среднем 76 за год (табл. 2). В годовом ходе максимум приходится на июль — 13 дней, минимум — на зимние месяцы, по три-четыре дня в каждом. Плотность распределения вероятности возникновения туманов показана на рис. 2.

Таблица 2

Продолжительность туманов

| Месяц                  | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
|------------------------|--------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| Продолжительность, дни | 3      | 3       | 3    | 6      | 7   | 11   | 13   | 10     | 8        | 5       | 4      | 3       |
| Продолжительность, ч   | 8      | 5       | 11   | 18     | 24  | 61   | 109  | 71     | 44       | 22      | 12     | 10      |
| Вероятность, %         | 5      | 5       | 5    | 10     | 11  | 18   | 21   | 16     | 13       | 8       | 7      | 5       |

Рассмотрим в качестве примера определение коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала по туману в июле. Худшим сценарием для июля является событие, вероятность которого составляет  $p = 21\%$ , а именно 13 дней с туманом общей продолжительностью 109 ч, при которых выполнение погрузочно-разгрузочных операций будет запрещено. Коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по туману составит

$$K_f = \frac{31 \cdot 24 - 109}{31 \cdot 24} \approx 0,85.$$

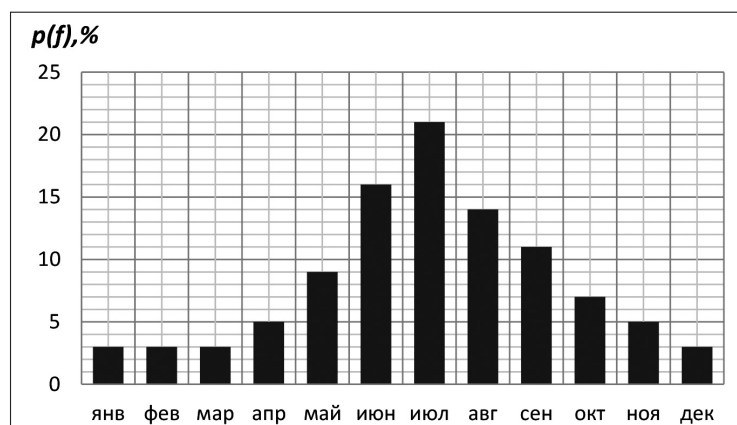


Рис. 2. Плотность распределения вероятности возникновения тумана

**Ледовые условия.** Ледовые условия оценивались как воздействие на время прибытия судна в терминал. При тяжелых ледовых условиях скорость движения судна уменьшается, в связи с чем возникают задержки в прибытии судов в терминал. По результатам изысканий приняты следующие допущения:

- вероятность своевременного прибытия судов — 95 %;
- вероятность задержки судов на 36 ч — 4 %;
- вероятность задержки судов на 72 ч — 1 %.

Используя выражение (\*) получим, что коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по ледовым условиям при задержке судна на 36 ч и 72 ч составит 0,95 и 0,90 соответственно:

$$K_i = \begin{cases} 1 & T_d = 0 \text{ ч;} \\ 0,95 & T_d = 36 \text{ ч;} \\ 0,9 & T_d = 72 \text{ ч.} \end{cases}$$

**Температура.** Коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала по температуре определим следующим образом:

$$K_t = \frac{T_{w1} + T_{w2}k_t}{T_{w1} + T_{w2}},$$

где  $T_{w1}$  — количество дней с температурами, не ограничивающими работу терминала;

$T_{w2}$  — количество дней с температурами, ограничивающими работу терминала;

$k$  — коэффициент влияния фактора температуры на уменьшение эффективности использования бюджета рабочего времени терминала (для текущего расчета принят равным 0,8 при температурах ниже  $-30$  °C).

Снижение температуры замедляет процедуры по швартовке судна, присоединению / отсоединению стендеров.

Максимальные и минимальные значения температур воздуха, а также количество дней с температурой воздуха ниже определенных значений приведены в табл. 3 и 4 соответственно. На рис. 3 приведено распределение максимальных и минимальных температур.

Таблица 3

Температура воздуха

| Месяц        | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
|--------------|--------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| Максимум, °C | 1      | 0,3     | 1    | 6      | 6   | 26   | 30   | 26     | 20       | 10      | 3      | 1       |
| Минимум, °C  | -48    | -49     | -45  | -41    | -31 | -13  | -3   | -3     | -15      | -33     | -43    | -46     |

Таблица 4

Количество дней с температурой воздуха ниже определенных значений

| Предел температуры, °C | Январь | Февраль | Март | Апрель | Ноябрь | Декабрь |
|------------------------|--------|---------|------|--------|--------|---------|
| Ниже -40               | 2,5    | 1,3     | —    | —      | 0,4    | 1,4     |
| Ниже -30               | 15,4   | 16,0    | 15,8 | 3,8    | 3,3    | 10,6    |

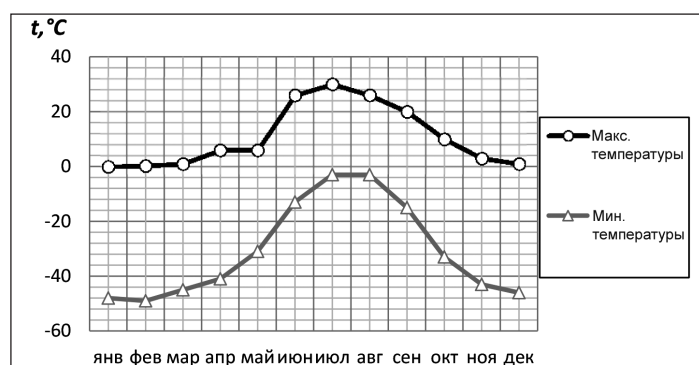


Рис. 3. Распределение максимальных и минимальных температур

**Неисправности оборудования.** В расчетной модели приняты вероятности возникновения неисправностей оборудования терминала: поломки стендеров, отгрузочных насосов и др. —  $p_{b1} = 0,385$  %; грузовых судов и судов портового флота —  $p_{b2} = 0,2$  %.

Устранение неисправностей оборудования терминала может продолжаться до трех дней, период устранения неисправностей оборудования грузовых судов и судов портового флота примем равным двум дням. Исходя из ранее изложенного, примем следующие значения коэффициентов использования бюджета рабочего времени терминала по неисправностям оборудования:  $K_{b1} = 0,9$ ,  $K_{b2} = 0,93$ .

Алгоритм оценки значений коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала по внешним факторам с использованием метода Монте-Карло выглядит следующим образом [10], [11]–[13]:

1. Определение плотностей распределения вероятности возникновения внешних факторов
2. Определение количества итераций метода —  $n$ .
3. Выполнение первой итерации определения значений внешних факторов с использованием генератора случайных чисел.
4. Определение значений коэффициентов использования бюджета рабочего времени терминала по каждому из значений внешних факторов, полученных при первой итерации.
5. Определение итогового значения коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала для первой итерации.
6. Выполнение следующей (второй) итерации метода.
7. Повторение операций, изложенных в пп. 4 и 5, до достижения заданного количества итераций метода.
8. Визуализация полученных результатов в виде графика изменения значений коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала в зависимости от количества итераций.

### Результаты (Results)

По результатам выполнения оценки коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала с применением метода Монте-Карло получены следующие значения (рис. 4).

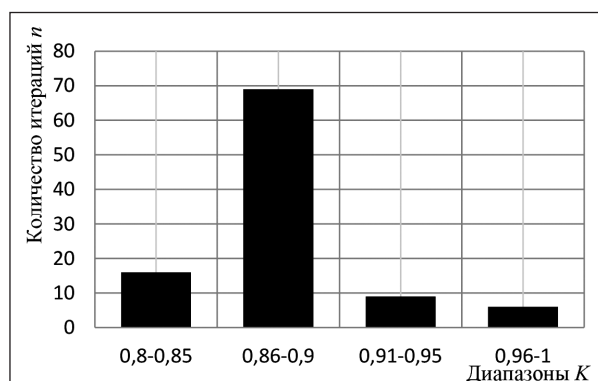


Рис. 4. Плотность распределения коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала

Из полученной плотности распределения коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала видно, что наибольшее количество итераций метода пришлось на значения коэффициента в диапазоне 0,86–0,9. Соответственно в связи с наибольшим количеством «попаданий» значений коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала в диапазон 0,86–0,9, можно сделать вывод о том, что значения из этого диапазона следует использовать для оценки эффективности использования бюджета рабочего времени терминала. При реализации сценариев с неблагоприятными внешними факторами коэффициент использования бюджета рабочего времени терминала варьируется в диапазонах 0,8–0,85.

Анализ результатов моделирования, показанный на рис. 4, позволяет сделать вывод о высоких значениях коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала и возможности реализации проекта в заданных условиях.

### Обсуждение (Discussion)

Проектирование, строительство и эксплуатация морского терминала является весьма затратным мероприятием. Развитие подходов к концептуальному проектированию морских терминалов, основанных на статистическом моделировании гидрометеорологических условий

функционирования терминала, позволит снизить эксплуатационные издержки предприятия, связанные с простоями производственных мощностей.

Предлагаемые нормативными документами подходы не позволяют корректно определить коэффициент использования бюджета рабочего времени причала ввиду следующих причин:

- не учитываются простои терминала, вызванные неисправностями оборудования грузовых судов, судов портового флота и оборудования на причалах;
- учет простоев предлагается вести только по месяцу наибольшей работы терминала, а не в целом по году;
- метеорологические факторы предлагается учитывать только тогда, когда они достигают значений, при которых нельзя выполнять погрузочно-разгрузочные работы.

Практическая значимость работы выражается в том, что разработанный метод позволяет выполнить оценку коэффициента использования бюджета рабочего времени терминала морского терминала на основе стохастических моделей, использующих статистику реализации внешних факторов, характерных для данного района проектирования и ограничивающих работу предприятия. Учет получаемой в процессе моделирования информации позволяет проработать мероприятия, направленные на повышение качества принимаемых проектных решений, а также оценить их эффективность.

В связи с грядущими перспективами освоения ресурсной базы морей Северного Ледовитого океана, перспективами роста грузоперевозок по Северному морскому пути и недостаточной развитостью транспортной инфраструктуры создание морских терминалов в арктических и субарктических регионах становится особенно актуальным и, соответственно, решения о географическом расположении терминалов в указанных регионах должны приниматься на основе расчетного обоснования возможности функционирования объектов в заданных природно-климатических условиях.

В целях наглядной демонстрации работы модели в статье использованы данные инженерных изысканий, выполненных при проектировании морского порта Сабетта.

### **Выводы (Summary)**

В результате проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. В статье кратко представлена суть метода Монте-Карло, описан алгоритм работы математической модели по определению коэффициента использования бюджета рабочего времени морского терминала, составленной на основе использования метода Монте-Карло; на конкретном примере изложены методика подготовки исходных данных и результат работы модели.
2. Проведенный анализ внешних факторов, ограничивающих работу морского терминала, показал, что эффективная работа предприятия будет зависеть от плотности распределения вероятностей возникновения внешних факторов.
3. Анализ подходов к оценке функционирования морского терминала показал, что наиболее удобным способом является ее выполнение с использованием метода Монте-Карло.
4. Модель, разработанная на основе метода Монте-Карло, позволяет реализовать различные сценарии работы морского терминала, сочетая внешние факторы, ограничивающие эффективное время работы терминала. Результатом, полученным в процессе работы модели, является диапазон значений коэффициента использования бюджета рабочего времени морского терминала.
5. Следует отметить, что для каждого конкретного случая перечень внешних факторов данных должен актуализироваться с учетом характерных для района проектирования гидрометеорологических условий и специфики технологических процессов.
6. Важно обратить внимание на необходимость решения задачи оптимизации в определении значений критериев эффективности морского терминала в сочетании с капитальными затратами, необходимыми для его создания, что является темой отдельного исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купцов Н. В. Современные методы технологического проектирования морских портов в условиях Российской нормативной базы / Н. В. Купцов // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2012. — № 2. — С. 39–45.
2. Спасский Я. Б. Актуальные задачи автоматизации проектирования распределенных человеко-машинных систем на примере портовых терминалов / Я. Б. Спасский // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2012. — № 5 (157). — С. 85–88.
3. Suarez-Aleman A. When it comes to container port efficiency, are all developing regions equal? / A. Suárez-Alemán, J. M. Sarriera, T. Serebrisky, L. Trujillo // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. — 2016. — Vol. 86. — Pp. 56–77. DOI: 10.1016/j.tra.2016.01.018
4. Янченко А. А. Научные подходы к исследованию процессов функционирования морских портов и портовых терминалов / А. А. Янченко // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2018. — № 55. — С. 185–192.
5. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование в задачах анализа операций в морских портах / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.
6. Кузнецов А. Л. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. А. Погодин, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
7. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование как инструмент расчета наземных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. С. Ткаченко, Г. Б. Попов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2018. — № 1. — С. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
8. Kwak Y. H. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management / Y. H. Kwak, L. Ingall // *IEEE Engineering management review*. — 2009. — Vol. 37. — No. 2. — Pp. 83–91.
9. Fishman G. S. Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications / G.S. Fishman. — Springer, 1996. — 587 p.
10. Захаров М. Н. Оценка надежности системы снабжения предприятия на основе метода Монте-Карло / М. Н. Захаров, П. А. Николаев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2013. — № 1. — С. 75–83.
11. Захаров М. Н. Метод оценки надежности систем снабжения предприятий при выполнении госзаказа / М. Н. Захаров, П. А. Николаев // Контроллинг. — 2015. — № 57. — С. 30–36.
12. McNamara D. Application of the Monte Carlo method to marine system maintenance studies considering failure modes and spare part stock control / D. McNamara, A. Cunningham, I. Jenkinson, J. Wang // *Journal of Marine Engineering & Technology*. — 2014. — Vol. 13. — Is. 1. — Pp. 37–58. DOI: 10.1080/20464177.2014.11020291.
13. Marseguerra M. Biased Monte Carlo unavailability analysis for systems with time-dependent failure rates / M. Marseguerra, E. Zio, F. Cadini // *Reliability Engineering and System Safety*. — 2002. — Vol. 76. — Is. 1. — Pp. 11–17. DOI: 10.1016/S0951-8320(01)00139-9.

## REFERENCES

1. Kuptsov, Nikolay Vladimirovich. “Modern methods of port planning in Russian legal framework.” *Construction of Unique Buildings and Structures* 2 (2012): 39–45.
2. Spasskii, Ya. B. “Aktual’nye zadachi avtomatizatsii proektirovaniya raspredelennykh cheloveko-mashinnykh sistem na primere portovykh terminalov.” *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* 5(157) (2012): 85–88.
3. Suárez-Alemán, Ancor, Javier Morales Sarriera, Tomás Serebrisky, and Lourdes Trujillo. “When it comes to container port efficiency, are all developing regions equal?” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 86 (2016): 56–77. DOI: 10.1016/j.tra.2016.01.018.

4. Yanchenko, A. A. "Scientific Approaches to the Sea Ports and Port Terminals Operating Processes Study." *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta* 55 (2018): 185–192.
5. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. "Simulation in the tasks of sea port operational analyses." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.
6. Kuznetsov, Alexander L'vovich, Alexander Viktorovich Kirichenko, Vladimir Alekseyevich Pogodin, and Victoria Nikolaevna Shcherbakova-Slyusarenko. "Importance of simulation modelling for technological design and evaluating parameters of cargo terminals." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2017): 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
7. Kuznetsov, Alexander L'vovich, Alexander Viktorovich Kirichenko, Andrei Stanislavovich Tkachenko, and German Borisovich Popov. "Simulation modelling as a dry cargo terminals' calculation tool." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2018): 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
8. Kwak, Young Hoon, and Lisa Ingall. "Exploring Monte Carlo simulation applications for project management." *IEEE Engineering Management Review* 37.2 (2009): 83–91.
9. Fishman, G. S. *Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications*. Springer, 1996.
10. Zakharov, Mikhail Nikolaevich, and Peter Alexandrovich Nikolaev. "Assessment of the enterprise supply system reliability based on the Monte Carlo." *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building* 1 (2013): 75–83.
11. Zakharov, Michael, and Peter Nikolaev. "The method for assessing of enterprises supply systems reliability during realization of the state order." *Controlling* 57 (2015): 30–36.
12. McNamara, D., A. Cunningham, I. Jenkinson, and J. Wang. "Application of the Monte Carlo method to marine system maintenance studies considering failure modes and spare part stock control." *Journal of Marine Engineering & Technology* 13.1 (2014): 37–58. DOI: 10.1080/20464177.2014.11020291.
13. Marseguerra, Marzio, Enrico Zio, and Francesco Cadini. "Biased Monte Carlo unavailability analysis for systems with time-dependent failure rates." *Reliability Engineering & System Safety* 76.1 (2002): 11–17. DOI: 10.1016/S0951-8320(01)00139-9.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Сампиев Адам Михайлович** —  
кандидат экономических наук,  
главный инженер проекта  
АО «Ленморниипроект»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
Межевой канал, 3, корп. 2  
e-mail: adam.sampiev@lenmor.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Sampiev, Adam M.** —  
PhD,  
Chief Project Engineer  
JSC «Lenmorniiproekt»  
3/2 Mezhevoy kanal, St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: adam.sampiev@lenmor.ru

Статья поступила в редакцию 14 января 2019 г.

Received: January 14, 2019.