

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506

ASSESSMENT OF REQUIRED TECHNOLOGICAL RESOURCES BY STATISTICAL SIMULATION

O. A. Izotov, A. V. Gulyaev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article deals with the issues of ensuring the efficient operation of the terminal as a platform for active interaction at the “junction” of various modes of transport. Effective engineering, planning and management of the terminal is provided by its performance, which is defined as the number of operations performed for the selected time interval. In this case, the performance is described as the random and average value entered. The transformation of mathematical methods to the adequate definition of productivity has been performed, namely, multiple experiments and statistical tests (Monte Carlo method), using the confidence interval methods, simulated simulations to generate random variables according to a given distribution law to obtain the distribution of a new random quantity, the number of technological lines for mastering the estimated volume of the operation flow of the container terminal. The results allow us to formulate methods of calculation and analytical approach in terms of assessing the requirements for the calculations that ensure the implementation of time-varying volumes of operations. At the same time, we must understand that the consequences of time exceeding the requirements over the average values of this method cannot be estimated because it requires the use of a different paradigm that takes into account the internal state of the system – simulation modeling.

As a result of the study, the difference in the calculations according to the proposed methods was no more than 5 %, which testifies the reliability and applicability of the proposed approach.

The conclusion that the use of statistical testing methods, as well as the calculation of average values (which offer regulatory computational and analytical methods) can successfully be used to evaluate the requirements for the results, providing performance dynamic time volumes transport operations in order to optimize the transport process.

Keywords: logistics, port terminal, productivity, random variable, Monte Carlo method, Moore automaton, confidence intervals method, simulated simulation.

For citation:

Izotov, Oleg A., and Alexander V. Gulyaev. “Assessment of required technological resources by statistical simulation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-50.

УДК 656.076

ОЦЕНКА ТРЕБУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПУТЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О. А. Изотов, А. В. Гультяев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрены вопросы обеспечения эффективной работы терминала как площадки активного взаимодействия на «стыке» разных видов транспорта. Эффективное проектирование, планирование и управление работой терминала обеспечивается его производительностью, которая определяется как количество выполненных операций за выбранный интервал времени. В данном случае производительность описана как введённая случайная и средняя величина. Выполнена трансформация математических методов к адекватному определению производительности, а именно проведены многократные эксперименты и статистические испытания (метод Монте-Карло) с использованием доверительных интервалов и имитационного моделирования для генерации случайных величин по заданному закону их распределения для получения распределения уже новой случайной величины — числа технологических линий для освоения расчетного объема потока операций работы контейнерного терминала. Полученные результаты позволя-

ют сформулировать методы расчетно-аналитического подхода в части оценки требований к расчетам, обеспечивающим выполнение изменяющихся во времени объемов операций. При этом понимается, что последствия временного превышения требований над средними значениями данным способом оценены быть не могут, так как для этого требуется использование иной парадигмы, учитывающей внутреннее состояние системы — симуляционного моделирования.

В результате проведенного исследования разница в расчетах по предложенным методикам составила не более 5 %, что свидетельствует о достоверности и применимости предложенного подхода.

Обоснован вывод о том, что применение методов статистических испытаний, так же, как и расчетов по средним величинам, согласно нормативным расчетно-аналитическим методам, может успешно служить для оценки требований результатов, обеспечивающих выполнение динамичных во времени объемов транспортных операций в целях оптимизации перевозочного процесса.

Ключевые слова: логистика, портовый терминал, производительность, случайная величина, метод Монте-Карло, автомат Мура, метод доверительных интервалов, имитационное моделирование.

Для цитирования:

Изотов О. А. Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гульгьяев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-50.

Введение (Introduction)

Развитие транспортной отрасли и коммуникационных связей на современном этапе привели к необходимости создания интегрированной системы, отвечающей за грузоперевозки и включающей в себя не только логистику, но и систему мультимодальных перевозок, обеспечивающую перевозки на большие расстояния с меньшими затратами.

Транспорт является одной из ключевых отраслей материального производства любого государства. Как объем транспортных услуг во многом зависит от развития транспортной инфраструктуры страны, так и статус транспортной системы стимулирует повышение уровня активности самих перевозок. Поэтому актуальным является совершенствование уже имеющихся транспортных продуктов и создание новых транспортных решений для дальнейшего развития транспортно-логистического рынка [1], [2].

Рост популярности мультимодальных транспортных технологий влечёт за собой разработку новых, порой неординарных подходов к функциональным элементам данной перспективной технологии. Отметим, что идея мультимодальности подразумевает партнёрское взаимодействие различных видов транспорта «на стыке», т. е., например, на портовом терминале [3]. В связи с этим востребованной является адекватная оценка эффективности работы терминала и его производительности для обеспечения непрерывности перевозочного процесса.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Допустим, цикл некоторой технологической операции состоит из K отдельных стадий, или «движений». Например, для транспортировки груза, в том числе генерального и навалочного, между различными операционными зонами терминала это будут следующие стадии: погрузка груза на средство горизонтальной транспортировки, выполняемое в исходной операционной зоне; перемещение груза к целевой операционной зоне; разгрузка транспортного средства для укладки груза; возвращение средства горизонтальной транспортировки в исходную позицию [4], [5].

Каждое из стадий, или «движений», имеет свою длительность T_k , $k = \overline{1, K}$, и полное время выполнения операционного технологического цикла составляет, таким образом, величину

$$T_{\text{оп}} = \sum_{k=1}^K T_k. \quad (1)$$

Для проектирования, планирования и управления работой терминалов, как правило, используется не длительность операций, а ее производительность, определяемая как количество вы-

полненных операций за выбранный интервал времени $T - P_T$. Традиционным способом расчета производительности является использование формулы [6]:

$$P_T = \frac{T}{T_{\text{оп}}} = \frac{T}{\sum_{k=1}^K T_k}, \quad (2)$$

применение которой в случае детерминированных значений T_k является очевидным и корректным способом оценки производительности операций в большинстве теоретических расчетов и нормативных методик. Однако на практике все переменные T_k , $k = \overline{1, K}$ являются случайными величинами [7], а следовательно, и величина P_T является случайной.

Отсутствие математических приемов выполнения вычислений со случайными величинами, которые необходимы для получения значения производительности, заставляет использовать вместо этого средние величины. Таким образом, математическое ожидание оценивается детерминированной величиной P'_T , которая рассчитывается через средние величины T_k ($k = \overline{1, K}$). С этой целью случайная величина T_k заменяется на ее математическое ожидание: $t_k = \text{МО}[T_k]$, и производительность операции рассчитывается как

$$P'_T = \frac{T}{\sum_{k=1}^K t_k}. \quad (3)$$

Такой математический прием превращает искомую величину производительности операций из случайной в детерминированную, не позволяя судить о характере разброса значений вокруг этого значения.

Следует подчеркнуть, что полученное по этой формуле значение также не является математическим ожиданием оцениваемой величины.

Величина $\frac{1}{\sum_{k=1}^K T_k}$ есть новая случайная величина, и значение ее математического ожидания вовсе не равно обратному значению математического ожидания исходной величины, т. е.

$$\text{МО} \left[\frac{1}{\sum_{k=1}^K T_k} \right] \neq \frac{1}{\text{МО} \left[\sum_{k=1}^K T_k \right]}. \quad (4)$$

Вычисленное таким образом значение P'_T в лучшем случае приближает математическое ожидание искомой производительности операций, но неизвестно с какой точностью и с каким разбросом вокруг этого, возможно, смещенного значения. Как следствие, для формирования закона распределения случайной величины — производительности операции — при известном законе распределения длительности составляющих ее движений приходится использовать специальный математический прием — метод Монте-Карло [8], [9].

Суть метода статистических испытаний, или метода Монте-Карло, в данном случае состоит в том, чтобы последовательно генерировать значения случайных величин — длительности движений, составляющих операцию, в соответствии с индивидуальным законом их распределения. Сгенерированные данные суммируются, что позволяет получить длительность цикла операции в ее единичной реализации. Далее выполняется генерация следующего набора движений, и время ее цикла складывается с предыдущими показателями времени. Как только это суммарное время превысит интервал расчета производительности T , генерация для данного статистического испытания прекращается. Общее количество выполненных в течение этого интервала

времени операций составляет конкретное значение искомой случайной величины — производительности операций, полученное в единичном статистическом испытании. Эти статистические испытания проводятся многократно, что позволяет построить гистограмму распределения и с ее помощью определить частоту наблюдаемых значений. С ростом числа испытания данная частота будет приближаться к плотности вероятности искомой случайной величины — производительности операций.

Для определения необходимого объема статистических испытаний используется идея *метода доверительных интервалов* [10]. При недостаточном количестве испытаний полученные гистограммы обладают высокой вариативностью: повторение серии экспериментов для такого же количества испытаний даст гистограмму, значительно отличающуюся от предыдущей. С ростом объема выборки (числа испытаний в серии) полученные гистограммы начинают отличаться друг от друга все меньше и меньше. Можно ввести меру близости гистограмм (например, квадратичное отклонение) и установить значение, достижение которого будет свидетельствовать о необходимой точности.

Результаты (Result)

В случае конкретной реализации метода предполагается, что операция состоит из следующих четырех стадий, или движений: погрузка, транспортировка, выгрузка, возврат. Пусть длительность соответствующих движений определена экспериментальным путем в результате хронометража и описывается величинами, показанными на рис. 1.

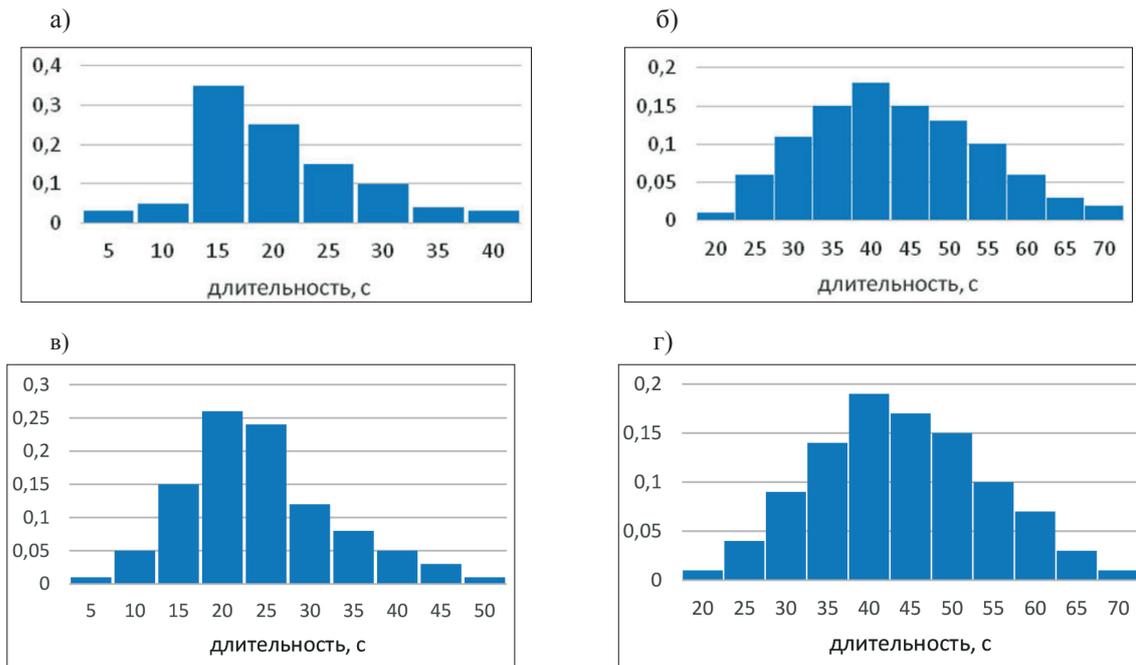


Рис. 1. Описание случайных величин:

а — длительности движения T_1 (погрузка); б — длительности движения T_2 (транспортировка);

в — длительности движения T_3 (выгрузка); г — длительности движения T_4

Условные обозначения: 0,1; 0,2, 0,3, 0,4 и т. д. по оси ординат — интервалы вероятности

Для приведенных на рис. 1 примеров средние математические ожидания составляют $MO[T_1] = 20,2$; $MO[T_2] = 43,1$; $MO[T_3] = 24,2$; $MO[T_4] = 43,9$.

Генерация, выполненная в объеме ста статистических испытаний, позволяет получить оценку случайной величины — производительности операций, приведенной на рис. 2, а. Если повторить эксперимент на такой же выборке, то полученная оценка будет отличаться от показанной на рис. 2, б.

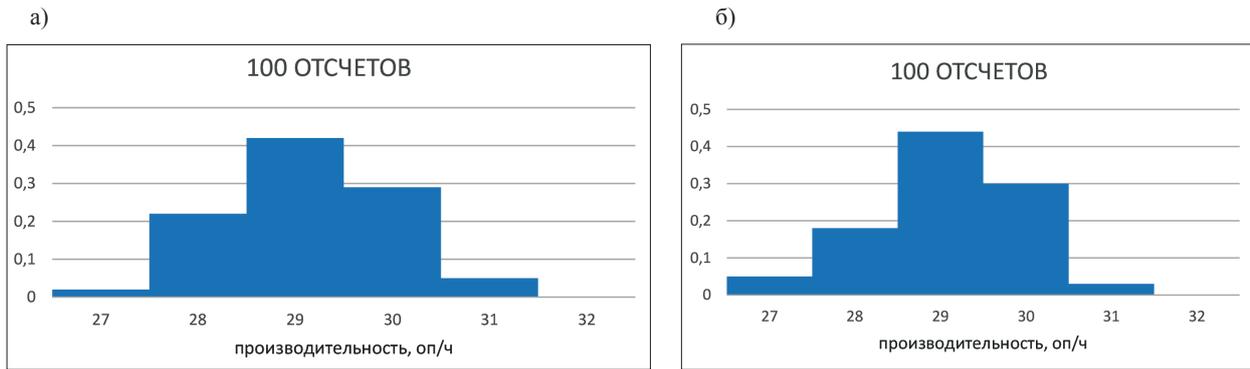


Рис. 2. Характеристика производительности как случайной величины:
 а — эксперимент 1; б — эксперимент 2

С ростом объема выборки статистических испытаний вариативность полученных кривых начинает снижаться (рис. 3). На этом рисунке каждая строка соответствует одному испытанию, а каждый столбец — различному объему выборок в нем. Видно, что при росте количества испытаний вариативность снижается (правый столбец показывает почти идентичные формы распределения).

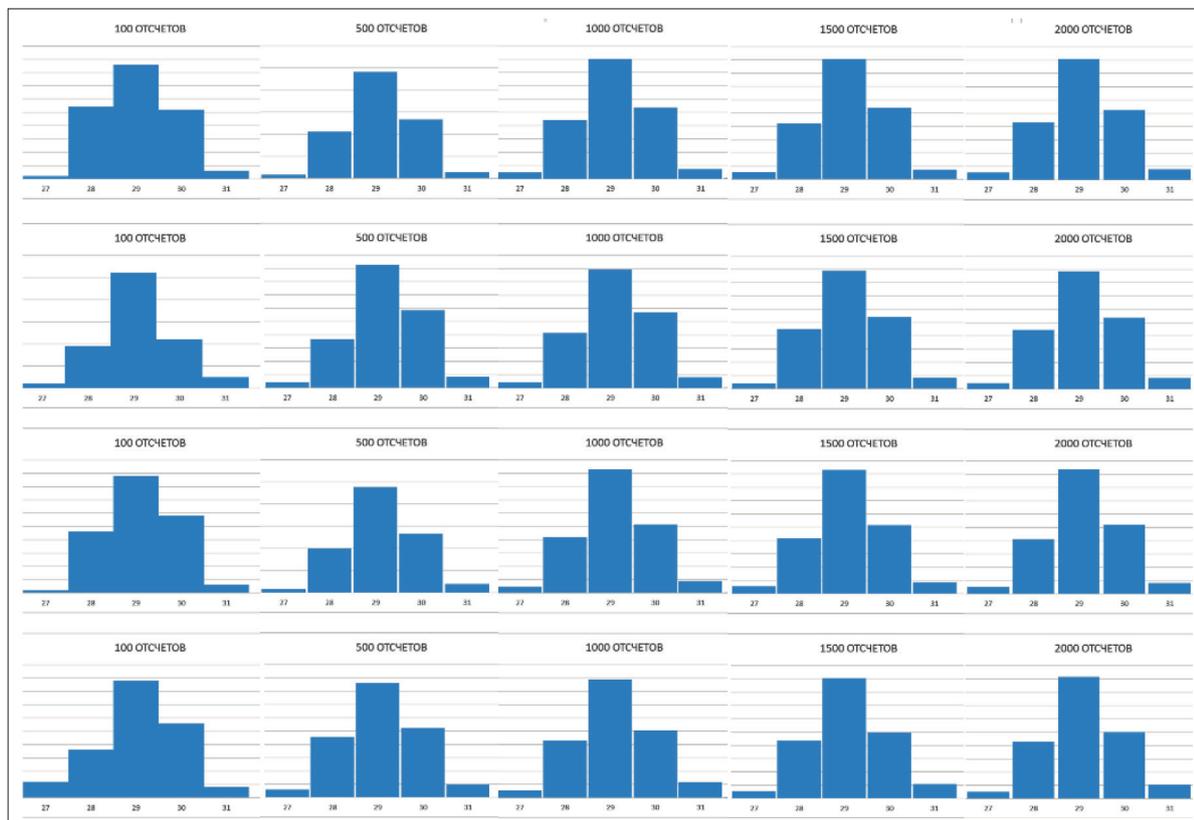


Рис. 3. Снижение вариативности оценок с ростом объема выборок

Для определения статистической достоверности выборки и, таким образом, момента прекращения испытаний в качестве меры близости между частотами распределений используется среднее квадратическое отклонение (СКО). Введем его следующим образом. Пусть p_i^m — значение разряда i в гистограмме, характеризующей частоту производительности, полученную в результате некоторого испытания n . Тогда расстоянием между испытаниями n и m назовем величину, определяемую по формуле

$$R_{m,n} = \sqrt{\sum_{i=1}^I (p_i^n - p_i^m)^2}. \quad (5)$$

На рис. 4 показано расстояние между частотами распределения, полученными для статистических испытаний объемом в 100, 500, 1500, и 2000 отсчетов.

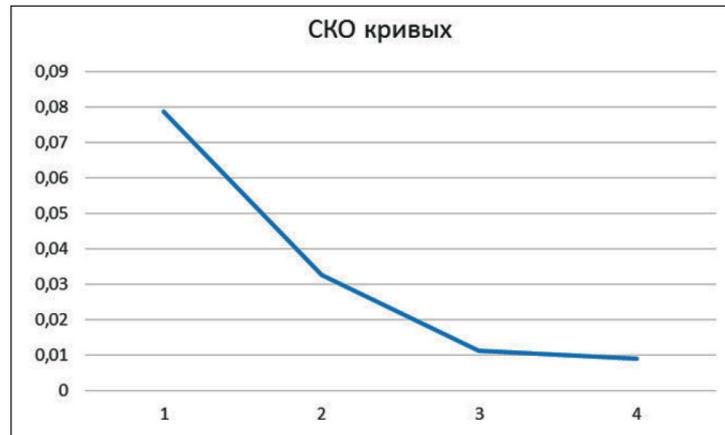


Рис. 4. Уменьшение расстояния между испытаниями с ростом объема выборки

Производительность технологической линии, рассчитанная по средним величинам (в соответствии с нормативными расчетно-аналитическими методами) [11], [12], для данного примера

дает величину $P_T' = \frac{T}{\sum_{k=1}^K t_k} = \frac{3600}{20,2 + 43,1 + 24,2 + 43,9} = 27,8$ оп./ч. Определенное с помощью статисти-

ческих испытаний значение составляет значение $P_T = 29,1$, т. е. различие между оценками производительности составляет $\frac{29,1 - 27,8}{27,8} = 5\%$.

Обсуждение (Discussion)

Полученная оценка случайной величины P_T позволяет оценить число технологических линий, необходимых для обеспечения заданного объема операций в некоторый период $T_{\text{зад}} \gg T$. Обозначив этот объем как $Q_{\text{зад}}$, можно выразить среднюю потребность в обработке за интервал

T на протяжении периода $T_{\text{зад}}$, как $q = \frac{Q_{\text{зад}}}{T_{\text{зад}}} = Q_{\text{зад}} \cdot \frac{T}{T_{\text{зад}}}$.

Традиционным и единственным способом получения оценки числа требуемых технологических линий является формула $n = \frac{q}{P_T}$. В то же время, как и в предыдущем случае, в ней участвуют случайные величины: производительность P_T , определенная по изложенной ранее методике, и поток q за интервал T , значения которого также колеблются вокруг некоторого среднего значения

$$Q_{\text{зад}} \cdot \frac{T}{T_{\text{зад}}}.$$

Использование такого же метода генерации случайных величин по заданному закону их распределения позволяет получить распределение новой случайной величины — числа технологических линий для освоения расчетного объема потока операций. Результат проведения указанной процедуры на примере потока q в течение интервала T на уровне 100 операций показан на рис. 5.

Использование расчетно-аналитического подхода дает число технологических линий $n' = \frac{100}{27,1} = 3,6$. Как показывают расчеты и видно на рис. 5, даже математическое ожидание случайной величины составляет значение 3,8 технологических линий, т. е. нормативная методика дает заведомо заниженное число технологических линий.

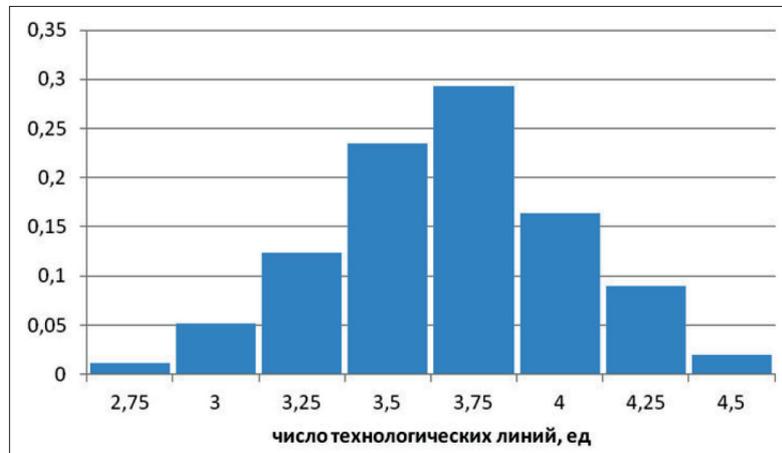


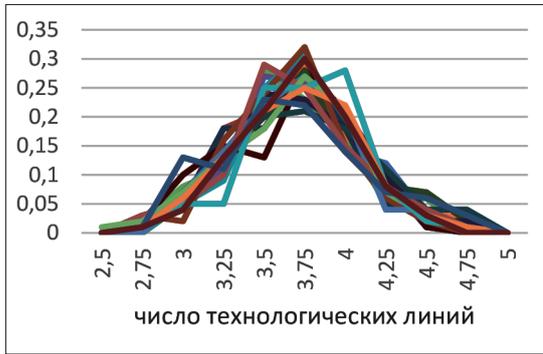
Рис. 5. Распределение искомой случайной величины n — числа технологических линий

Выполним для данного расчета также анализ статистической достоверности получаемых результатов. С этой целью выполним генерацию расчетных значений на выборках разного объема. Для выборки каждого объема проведем по двадцать независимых статистических испытаний, в результате которых будут получены индивидуальные значения гистограмм, характеризующих распределение случайной величины, пример которой был приведен на рис. 5.

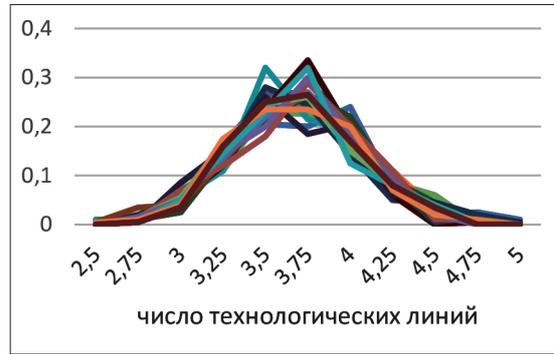
Каждая из этих двадцати гистограмм для выборки одного объема будет несколько отличаться от другой в этом кластере, поскольку ее получение носит случайный характер. Можно ожидать, что с ростом объема выборки различия между ними будут уменьшаться. Проведенные эксперименты подтверждают эту гипотезу (рис. 6). Как видно из рисунка, при выполнении статистических испытаний на выборке более 400 расчетных значений индивидуальные гистограммы начинают практически повторять друг друга, т. е. расстояние между ними стремится к нулю. Это позволяет предложить другую интерпретацию эмпирического принципа доверительных интервалов. Проведем K статистических испытаний на выборке объема N , т. е. получим K различных гистограмм вида, показанного на рис. 5 и 6. Пусть каждая гистограмма состоит из I разрядов и значение частоты для разряда i в выборке k есть p_i^k . Тогда для каждого разряда i можно определить среднее значение $p_i^0 = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K p_i^k$. Суммарный разброс значений частоты в рассматриваемом разряде i можно характеризовать суммой отклонений от этого среднего значения, т. е. дисперсией этого разряда, или $\sum_{k=1}^K (p_i^k - p_i^0)^2$. Суммарное отклонение во всех разря-

дах составит $\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (p_i^k - p_i^0)^2$, откуда СКО $\sigma_N = \sqrt{\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (p_i^k - p_i^0)^2}$ будет являться мерой разброса гистограмм, полученных при генерации на объеме расчетных значений N . Пример вычисления значения σ_N как функции от объема выборки N приведен на рис. 7. Из этого рисунка видно, что разброс при значениях объема выборки, начиная с 400 практически отсутствует, что определяет необходимый объем статистических испытаний. Указанный вывод является объективным подтверждением интуитивного представления, приведенного на рис. 6.

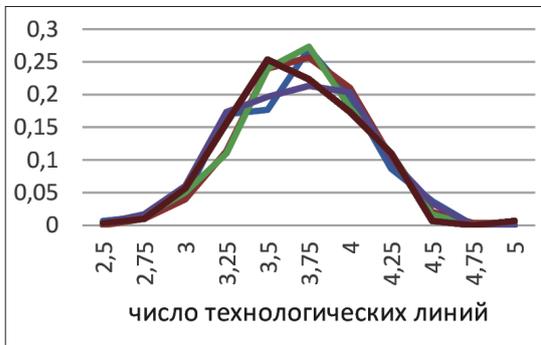
а)



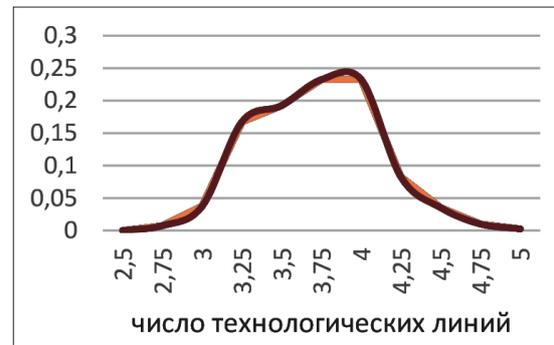
б)



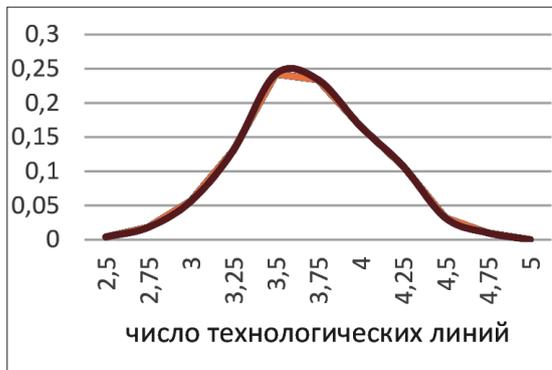
в)



г)



д)



е)

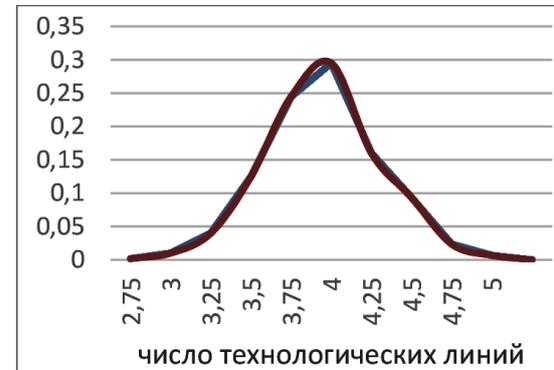


Рис. 6. Гистограммы случайной величины n для различного объема выборок N :
а — число выборок $N = 100$; б — число выборок $N = 200$; в — число выборок $N = 300$;
г — число выборок $N = 400$; д — число выборок $N = 500$; е — число выборок $N = 600$

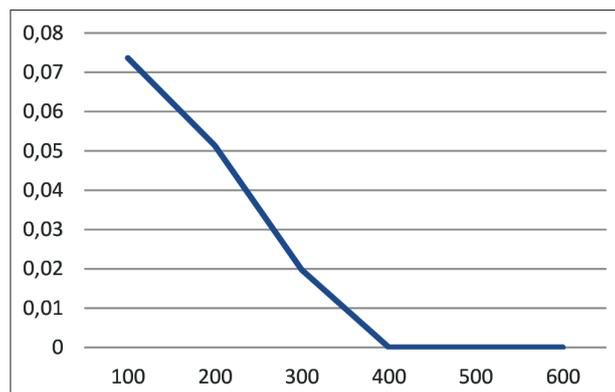


Рис. 7. Среднее квадратическое отклонение как функция от объема выборки

Приведенные ранее результаты касались уточнения методов расчетно-аналитического подхода в части оценки требований к результатам, обеспечивающим выполнение изменяющихся во времени объемов операций [13]. В то же время последствия временного превышения требований над средними значениями данной методикой оценить невозможно [14]. Для решения этой задачи требуется использование *иной парадигмы, учитывающей внутреннее состояние системы*, — симуляционного моделирования, составляющего следующий этап исследования.

Выводы (Summary)

1. Традиционный способ получения оценки числа требуемых технологических линий предполагает использование такой случайной величины как производительность самой технологической линии, значение которой колеблется вокруг некоторого среднего значения.

2. Использование предложенного метода генерации случайных величин по заданному закону позволяет получить распределение новой случайной величины — числа технологических линий для освоения расчетного объема потока операций. При этом разница в предложенных методах расчета производительности технологической линии составляет всего 5 %.

3. Применение методов статистических испытаний, так же, как и расчетов по средним величинам, в соответствии с использованием нормативных расчетно-аналитических методов, может успешно использоваться для оценки требований к результатам, обеспечивающим выполнение изменяющихся во времени объемов транспортных операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соляков О. В. Особенности развития национальных морских портов / О. В. Соляков, О. А. Изотов, В. В. Якунчиков // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15. — № 4 (71). — С. 110–121.
2. Robinson R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm / R. Robinson // Maritime Policy & Management. — 2002. — Vol. 29. — Is. 3. — Pp. 241–255. DOI: 10.1080/03088830210132623.
3. Кузнецов А. Л. Эволюция показателей, характеризующих эксплуатационную работу портов и терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 909–924. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-909-924.
4. Майоров Н. Н. Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н. Н. Майоров, А. В. Кириченко, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 7–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-7-15.
5. Wil van der Aalst. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / Wil van der Aalst. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p.
6. Деружинский Г. В. Концептуальный анализ моделей создания региональных логистических центров в транспортно-распределительных узлах / Г. В. Деружинский // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2012. — № 1 (1). — С. 55–62.
7. Кузнецов А. Л. Расчет времени ожидания и занятости причала для произвольных судов, неоднородных причалов и произвольных характеристиках потока судов / А. Л. Кузнецов, А. Н. Китиков, С. Н. Протопович // Транспортное дело России. — 2013. — № 1. — С. 36–40.
8. Бонтарюк М. В. К вопросу о новых направлениях развития портовой инфраструктуры / М. В. Бонтарюк, С. И. Кондратьев // Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2016. — № 1 (14). — С. 47–49.
9. Perego A. ICT for logistics and freight transportation: a literature review and research agenda / A. Perego, S. Perotti, R. Mangiaracina // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. — 2011. — Vol. 41. — Is. 5. — Pp. 457–483. DOI: 10.1108/09600031111138826.
10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. — М.: Высш. шк., 2013. — 479 с.
11. РД 31.3.01.01-93. Руководство по технологическому проектированию морских портов. — М., 1993.
12. Фетисов В. А. Исследование и реализация оптимального варианта работы портовой логистической системы с использованием имитационных моделей систем массового обслуживания / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров // Эксплуатация морского транспорта. — 2012. — № 3. — С. 3–7.

13. Кузнецов А. Л. Морская контейнерная транспортно-технологическая система: монография / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко. — СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2017. — 320 с.
14. Мицель А. А. Исследование операций и методы оптимизации: в 2 ч. / А. А. Мицель. — Томск: Изд. ТУСУР, 2016. — Ч. 1. — 167 с.

REFERENCES

1. Soliakov, Oleg V., Oleg A. Izotov, and Vladimir V. Yakunchikov. "Features of development of national seaports." *World of Transport* 15.4(71) (2017): 110–121.
2. Robinson, Ross. "Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm." *Maritime Policy & Management* 29.3 (2002): 241–255. DOI: 10.1080/03088830210132623.
3. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. "The evolution of indicators describing the operation of ports and terminal." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.5 (2017): 909–924. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-909-924.
4. Maiorov, Nikolai Nikolaevich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Vladimir Andreevich Fetisov. "Research operational management container terminal based on the transport model and simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 7–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-7-15.
5. Wil van der Aalst. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
6. Deruzhinskiy, G.V. "Models conceptual analysis of founding regional logistic centers in transportation distributional junctions." *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 1(1) (2012): 55–62.
7. Kuznetsov, A., A. Kitikov, and S. Protopovich. "Timing and employment expectations berth for arbitrary ships heterogeneous berths and any characteristic flow of vessels." *Transport business of Russia* 1 (2013): 36–40.
8. Botnaryuk, M.V., and S. Kondratiev. "To the question of the new directions of port infrastructure development." *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 1(14) (2016): 47–49.
9. Perego, Alessandro, Sara Perotti, and Riccardo Mangiaracina. "ICT for logistics and freight transportation: a literature review and research agenda." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 41.5 (2011): 457–483. DOI: 10.1108/09600031111138826.
10. Gmurman, V.E. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika*. M.: Vysshaya shkola, 2013.
11. Russian Federation. Manual RD 31.3.01.01-93. Guide to Design of Seaports. M., 1993.
12. Fetisov, V.A., and N.N. Maiorov. "Research and realization of an optimum variant of work of port logistical system, using imitating models of systems of mass service." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3 (2012): 3–7.
13. Kuznetsov, A.L., A.V. Kirichenko, and A.A. Davydenko. *Morskaya konteynernaya transportno-tekhnologicheskaya sistema: monografiya*. SPb.: Izd-vo MANEB, 2017.
14. Mitsel', A.A. *Issledovanie operatsii i metody optimizatsii: in 2 parts. Chast' 1*. Tomsk: Izd. TUSUR, 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Изотов Олег Альбертович — кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: izotovoa@gumrf.ru, iztv65@rambler.ru

Гультяев Александр Вадимович — аспирант
Научный руководитель: Изотов Олег Альбертович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: alex_gulyaev@inbox.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Izotov, Oleg A. — PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
e-mail: izotovoa@gumrf.ru, iztv65@rambler.ru

Gulyaev, Alexander V. — Postgraduate
Supervisor: Izotov, Oleg A.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
e-mail: alex_gulyaev@inbox.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 15 мая 2018 г.
Received: May 15, 2018.