

Научная статья  
УДК 656.615  
<https://doi.org/10.24143/2073-5537-2024-1-91-102>  
EDN PDKIAM

## **Расчет эксплуатационных расходов с учетом транспортно-технологической схемы и параметров оборудования контейнерного терминала**

**Александр Львович Кузнецов<sup>✉</sup>, Александр Викторович Кириченко,  
Анна Александровна Радченко, Антон Денисович Семенов**

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,  
Санкт-Петербург, Россия, kaf\_pgt@gumrf.ru<sup>✉</sup>*

**Аннотация.** Рассматривается метод оценки распределения производительности перегрузочного оборудования, осуществляющего операции в штабеле контейнерного терминала. Доказывается, что производительность операций является наиболее значительным показателем для оценки экономической эффективности работы морского или сухого контейнерного терминала. Оценка производительности осуществляется из предположения, что технологическое задание для перегрузочного оборудования является последовательностью контейнеров со случайными координатами в штабеле. Для выполнения этого технологического задания перегрузочному оборудованию необходимо переместиться из позиции последнего задания в позицию нового. Для каждого перемещения в работе рассчитывается скорость с учетом разгона и торможения механизмов. В качестве примера оценки производительности рассматривается складской контейнерный кран на пневмоколесном ходу, относящийся к перегрузочному оборудованию с верхним доступом. Данный тип оборудования является наиболее распространенным на современных контейнерных терминалах. Приводится описание имитационной модели, которая используется для выполнения оценки. Исходные данные модели о времени выполнения отдельных движений, а также о параметрах штабеля были собраны на российских контейнерных терминалах. Результатами работы имитационной модели является распределение вероятности производительности перегрузочного оборудования при выборке и укладке контейнеров в штабеле контейнерной площадки. Установлено, что полученные результаты сходятся с фактическими данными о работе российских контейнерных терминалов. Предложенный метод позволяет более точно оценивать производительность перегрузочного оборудования. Отмечено, что разработанный подход должен быть дополнен с учетом стратегий складирования контейнеров, а также методов алгебраической оценки трудоемкости выборки контейнеров.

**Ключевые слова:** морской порт, сухой порт, контейнерный терминал, перегрузочные операции, трудоемкость выборки контейнеров, производительность, себестоимость перевалки, время обработки груза, имитационное моделирование

**Для цитирования:** Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Радченко А. А., Семенов А. Д. Расчет эксплуатационных расходов с учетом транспортно-технологической схемы и параметров оборудования контейнерного терминала // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2024. № 1. С. 91–102. <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2024-1-91-102>. EDN PDKIAM.

Original article

## **Clarification of operational costs taking into account container handling system and equipment characteristics**

**Alexander L. Kuznetsov<sup>✉</sup>, Alexander V. Kirichenko, Anna A. Radchenko, Anton D. Semenov**

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint Petersburg, Russia, kaf\_pgt@gumrf.ru<sup>✉</sup>*

**Abstract.** A method for evaluating the performance distribution of transshipment equipment performing operations in a container terminal stack is considered. It is proved that the productivity of operations is the most significant indicator for assessing the economic efficiency of a marine or dry container terminal. Performance evaluation is carried out on the assumption that the technological task for reloading equipment is a sequence of containers with random coordi-

nates in a stack. To complete this technological task, the reloading equipment must move from the position of the last task to the position of the new one. For each movement in operation, the speed is calculated taking into account the acceleration and braking of the mechanisms. As an example of performance evaluation, a warehouse container crane with pneumatic wheels, related to overhead handling equipment, is considered. This type of equipment is the most common in modern container terminals. A description of the simulation model that is used to perform the assessment is provided. The initial data of the model on the execution time of individual movements, as well as on the parameters of the stack, were collected at Russian container terminals. A description of the simulation model that is used to perform the assessment is provided. The initial data of the model on the execution time of individual movements, as well as on the parameters of the stack, were collected at Russian container terminals. The results of the simulation model are the probability distribution of the performance of transshipment equipment during the selection and stacking of containers in the stack of the container site. It is established that the results obtained agree with the actual data on the operation of Russian container terminals. The proposed method makes it possible to more accurately assess the performance of reloading equipment. It is noted that the developed approach should be supplemented taking into account container warehousing strategies, as well as methods of algebraic estimation of the complexity of container sampling.

**Keywords:** seaport, dry port, container terminal, container handling operations, container handling laboriousness, productivity, operational costs, time of handling operations, simulation modeling

**For citation:** Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Radchenko A. A., Semenov A. D. Clarification of operational costs taking into account container handling system and equipment characteristics. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2024;1:91-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2024-1-91-102>. EDN PDKIAM.

### Введение

Контейнер, проходящий через склад морского или наземного порта, подвергается двум обобщенным перемещениям: поступления на терминал и убытия с него. Именно эти два «движения» составляют базу расчета тарифа за перевалку контейнера на терминале (terminal handling charge, t.h.c.), который является основным источником поступления денежных средств. В этот тариф в разных портах входят разные услуги, включая погрузку/выгрузку, транспортировку, хранение, обслуживание, швартовые операции, использование терминальных мощностей и оборудования. В различных финансово-экономических расчетах, касающихся планирования и анализа деятельности контейнерных терминалов, калькуляции себестоимости оказываемых услуг, совершенствования управления операционной деятельностью и оценки коммерческих результатов, используются различные методы учета операционных затрат, связанных с использованием специализированного контейнерного подъемно-транспортного оборудования.

В данной работе не анализируется весь набор вышеперечисленных операций и калькуляция соответствующих затрат. Основной задачей является изучение лишь одного фактора, наиболее скрытого от специалистов по финансово-экономической деятельности: влияние транспортно-технологической схемы и параметров перегрузочного оборудования на эксплуатационные расходы. Если методики расчета достаточно хорошо изучены и стандартизированы, то в этой компоненте расчетов имеется значительная неопределенность. Обычно считается, что одна минута работы складского перегрузочника на пневмоходу (rubber tyred gantry, RTG) стоит 1 USD, т. е. час его работы оценивается суммой в 60 USD. Поскольку паспортная произ-

водительность этого оборудования указывается в диапазоне около 30 движений в час, то каждый RTG считается выполняющим около 15 полных движений тарифа, т. е. 15 укладок контейнера в штабель склада терминала и 15 выборок из него. Таким образом, операционные затраты на каждое движение RTG составляют 2 USD, а их доля в полной себестоимости обеспечения коммерческого тарифа составляет 4 USD. В то же время указываемая производителями паспортная производительность оборудования никогда не достигается в условиях реальной работы, а оплачиваемые «коммерческие движения» (входящие в установленные тарифы) составляют лишь часть всех операций, выполняемых оборудованием на складе контейнерного терминала. В данном исследовании на примере анализа операций складского перегрузочника на пневмоколесном ходу приводится алгоритм расчета реальных показателей производительности, на которые следует ориентироваться при планировании и управлении работой контейнерного терминала.

Современные тенденции развития транспортно-логистической инфраструктуры в нашей стране впервые за много лет поставили перед отраслью задачу создания собственных центров контейнерного грузораспределения, не аффилированных с зарубежными партнерами и владельцами. Экономическая эффективность нового строительства, технического перевооружения и модернизации объектов транспортной инфраструктуры на морском транспорте во многом определяется правильной и точной оценкой баланса затрат и прибыли, которая в контейнерных транспортно-технологических системах сильно зависит от капиталоемкого перегрузочного оборудования. В то же время инструментарий технологического проектирования

и финансово-экономического анализа технологических процессов и операций жестко регламентируется нормами технологического проектирования морских торговых портов, разработанных на основе практики прошлого века. Проблема состоит в том, что многие ключевые экономические параметры проекта сильно зависят от специфики выполняемых на терминале технологических операций и игнорирование этой зависимости может привести к негативным результатам для всего проекта.

Технологическая операция является частью процесса обработки проходящего через терминал контейнерного потока, характеризуется определенной направленностью и цикличностью (начальное действие, движение, конечное действие, возврат) [1]. Измеряемая временем трудоемкость операций является критерием эффективности всего технологического процесса и обычно определялась на основе тем или иным способом технически обоснованных норм времени [2, 3]. Традиционно это выполнялось на основе единых комплексных норм выработки и времени на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые в морских портах. Этот документ был введен в действие почти полвека назад и в настоящее время утратил свою актуальность. Ненамного актуальные, но более общие рекомендации в этом отношении даются нормами технологического проектирования морских торговых портов [4, 5]. На практике проектирования и эксплуатации современных контейнерных терминалов все подобные документы были признаны устаревшими и не способствующими достижению не только оптимальных, но хотя бы правдоподобных показателей [6, 7].

Норма времени представляет собой регламентированную длительность выполнения определенного объема работ в определенных производственных условиях. В отличие от расчета традиционных операций на транспортных грузовых фронтах

(морском, железнодорожном, автомобильном), для определения трудоемкости технологических операций, выполняемых на складе контейнерного терминала, важно учесть время работы погрузочного оборудования, характеризующее коэффициентом управления оперативной работой. Как правило, значение этого коэффициента определяется квалификацией управленческого персонала среднего звена, качеством используемой терминальной операционной системы, внешними коммерческими условиями работы терминала [8, 9]. Рассмотрение этого аспекта работы контейнерного терминала выходит за рамки данной статьи. Кроме потерь времени работы подъемно-транспортного оборудования из-за несовершенства управления, для адекватной оценки его валовой производительности необходимо принять во внимание степень использования технических возможностей, снижающуюся относительно сообщаемых производителем. В данной работе рассматривается метод оценки эксплуатационной и коммерческой производительности перегрузочного оборудования контейнерного терминала.

#### Методы и материалы исследования

Рассмотрим детально структуру некоторой абстрактной операции перегрузочного процесса с использованием таких понятий, как номинальная скорость рабочего движения и время разгона. Пусть номинальная (сообщаемая производителем максимальная) скорость рабочего движения погрузочного оборудования составляет величину  $V$ , а время разгона до указанной скорости есть  $t_0$ . Предположим для простоты, что время торможения также есть  $t_0$ . Ускорение и замедление при этом составит постоянную величину  $a = V / t_0$ .

На рис. 1 приведен график изменения скорости во времени при передвижении на достаточно большое расстояние (длинное движение).

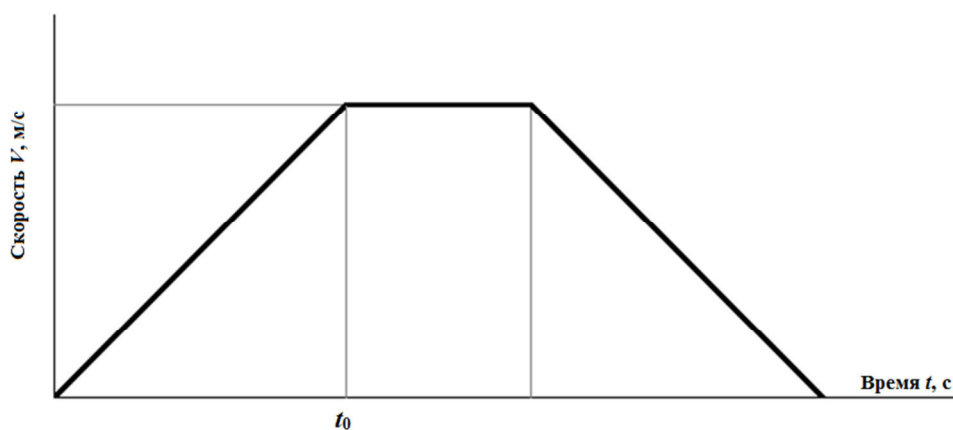


Рис. 1. Изменение скорости при длинном движении

Fig. 1. Speed change during long movement

Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Радченко А. А., Семенов А. Д. Расчет эксплуатационных расходов с учетом транспортно-технологической схемы и параметров оборудования контейнерного терминала

Если расстояние мало (короткое движение), то максимальная скорость не будет достигнута и торможение начнется раньше (рис. 2).

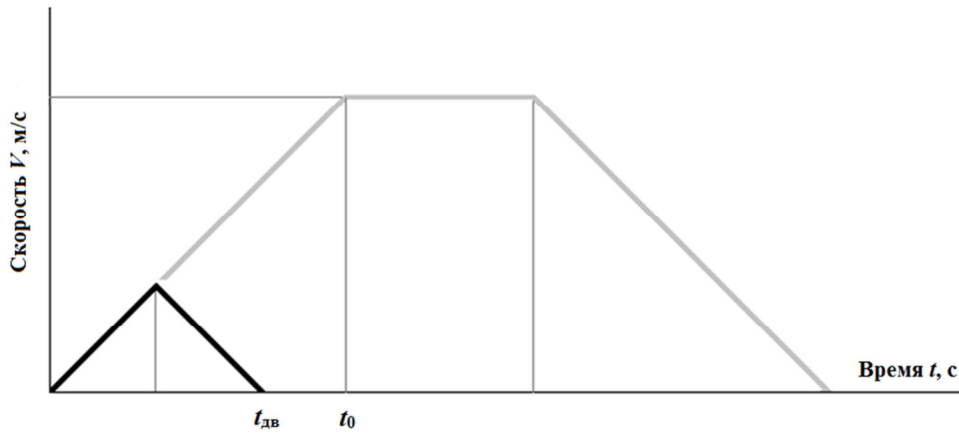


Рис. 2. Изменение скорости при длинном и коротком движении

Fig. 2. Speed change during long and short movement

Расстояние, преодолеваемое за время движения  $t$  с постоянным ускорением  $a$ , есть  $L = \frac{at^2}{2} = \frac{Vt^2}{2}$ .

Такое же расстояние проходимое и при движении с замедлением. Расстояния, проходимые во время разгона до максимальной скорости и торможения,

одинаковы и составляют  $L_p = L_t = \frac{Vt_0^2}{2} = \frac{Vt_0}{2}$ . От-

сюда расстояние, проходимое за время набора максимальной скорости  $V$  и немедленного торможения, есть  $L_0 = Vt_0$ . Указанное значение является граничным, разделяющим расстояния, преодолеваемые при коротком и длинном движении (рис. 3).

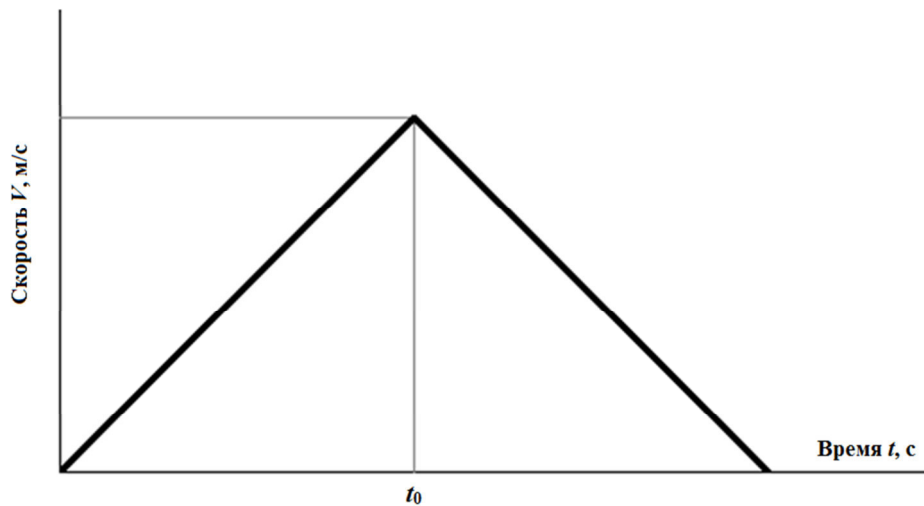


Рис. 3. Эпюра изменения скорости при наборе максимальной скорости

Fig. 3. A plot of the speed change when the maximum speed is set

Пусть требуется преодолеть короткое расстояние  $L \leq L_0$ . Поскольку половина дистанции уйдет на разгон и половина – на торможение,

$L = L_p + L_t = \frac{L}{2} + \frac{L}{2}$ . Исходя из того, что

$\frac{L}{2} = \frac{at^2}{2} = \frac{Vt^2}{2t_0}$ , время разгона и время торможения

составит  $t = \sqrt{\frac{Lt_0}{V}}$ . Следовательно, полное время

движения на расстояние  $L \leq L_0$  составит  $t = 2\sqrt{\frac{Lt_0}{V}}$ .

Если требуется преодолеть длинное расстояние, т. е. расстояние  $L > L_0$ , то средний участок длиной  $L - L_0$  потребует времени  $t_1 = \frac{L - L_0}{V}$ , а разгон и торможение по-прежнему совместно составят

$$V(L) = \frac{L}{2t_0 + \frac{L - L_0}{V}} = \frac{LV}{2t_0V + L - L_0} = \frac{LV}{2t_0V + L - t_0V} = V \frac{L}{t_0V + L}.$$

Иными словами, максимальная скорость движения будет умножаться на величину  $\frac{L}{t_0V + L} \leq 1$ .

Чем больше будет время разгона, тем меньше будет эффективная скорость движения относительно максимальной. При нулевом времени разгона (бесконечном ускорении) скорость движения будет

длительность  $2t_0$ . Время движения на расстояние  $L$  в таком случае  $t = 2t_0 + \frac{L - L_0}{V}$ , откуда эффективная скорость движения на расстояние  $L$ , или  $V(L)$ , будет определяться выражением

равна максимальной.

Пусть, например, максимальная скорость составляет величину 20 м/мин, или 0,33 м/с. В зависимости от расстояния перемещения и времени разгона/торможения эффективная скорость перемещения будет различной, что демонстрирует рис. 4.

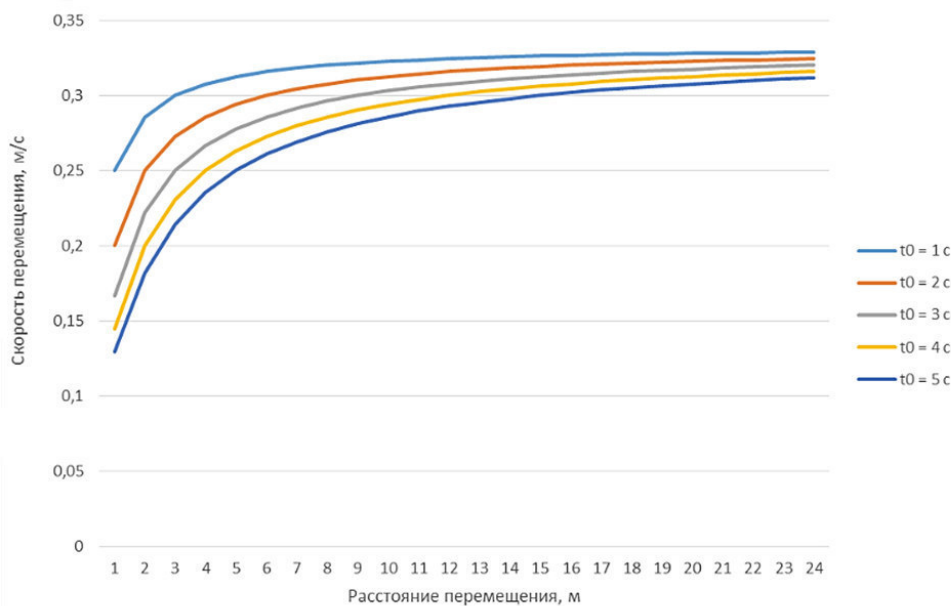


Рис. 4. Изменение эффективной скорости в зависимости от расстояния

Fig. 4. Change in effective speed depending on distance

Для вычисления среднего времени операций следует рассмотреть рабочий цикл операций складской машины. Вначале рассмотрим операцию погрузки контейнера, доставленного терминальным шасси в рабочую зону работы складского перегружателя к некоторой секции  $b$  и требующего помещения его в ряд  $r$  и ярус  $h$ .

Предположим, что складской перегружатель находится в некоторой начальной позиции  $b_0$ , тележка с рабочим органом (спредером) – в ряду  $r_0$ , а спредер – в транспортном положении. Как пра-

вило, это положение на ярус выше максимальной технической высоты складирования  $H_{\max} = h_{tech} + 1$ .

Для перемещения контейнера с шасси в позицию с координатами  $(b, r, h)$  необходимо выполнить несколько отдельных движений:

- переместить портал из начальной позиции  $b_0$  к секции, у которой расположено терминальное шасси  $b$ ;
- переместить тележку в позицию над шасси (от начальной позиции  $r_0$  в позицию над транспортным проездом – 0);

- опустить спредер до уровня контейнера на шасси (от  $H_{\max}$  до  $h = 1$ );
- наложить спредер и выполнить захват контейнера;
- вернуть рабочий орган в транспортное положение (на высоту  $H_{\max}$ );
- переместить рабочий орган по горизонтали в нужный ряд  $r$ ;
- опустить рабочий орган из транспортного в целевое положение  $h$ ;
- выполнить освобождение контейнера;
- поднять рабочий орган в транспортное положение.

Каждое из установочных (переезд) и рабочих движений (горизонтальное и вертикальное перемещение в секции) выполняется со своими максимальными скоростями и временами разгона, вследствие чего различные конечные ( $b, r, h$ ) или начальные положения ( $b_0, r_0, h_0$ ) связаны с корот-

кими или длинными перемещениями по введенной классификации. Расчет по описанной выше методике позволяет рассчитать для каждой позиции ( $b, r, h$ ) соответствующее время перемещения из предыдущей позиции ( $b_0, r_0, h_0$ ).

В упрощенном виде технологическое задание для перегрузочного оборудования будет выглядеть как последовательность координат ( $b_i, r_i, h_i$ ), предписывающих выполнить представленные выше движения. В общем случае эти координаты являются случайными. В связи с этим для оценки распределения производительности перегрузочного оборудования необходимо разработать имитационную модель.

Параметрами модели служат геометрические размеры штабеля (максимальная высота складирования, количество рядов в ширину, длина штабеля), степень его операционного наполнения (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Параметры штабеля в модели

Stack parameters in the model

| Параметр склада                       | Значение |
|---------------------------------------|----------|
| Число штабелей склада $S$             | 1        |
| Длина штабеля $B$ , TEU               | 40       |
| Ширина штабеля $R$ , ряды             | 6        |
| Техническая высота $H$ , ярусы        | 6        |
| Заполнение штабеля $k$ , %            | 80       |
| Размер эксперимента $N$ , контейнеров | 10 000   |

Другую группу параметров модели составляют скоростные характеристики используемого складировочного перегружателя. С целью сравнения результатов моделирования с практикой эти значения были выбраны на основании анализа статисти-

ческих данных о работе контейнерных терминалов порта Санкт-Петербург. Исходные и промежуточные параметры, рассчитанные по описанной выше методике, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Параметры движений складировочного перегружателя

Parameters of movements of the storage loader

| Параметр                                      | Значение |
|---|----------|
| Скорость подъема с грузом, м/мин              | 30,00    |
| Скорость подъема без груза, м/мин             | 60,00    |
| Скорость перемещения тележки, м/мин           | 80,00    |
| Скорость перемещения портала, м/мин           | 100,00   |
| Скорость подъема с грузом, м/с                | 0,50     |
| Скорость подъема без груза, м/с               | 1,00     |
| Скорость перемещения тележки, м/с             | 1,33     |
| Скорость перемещения портала, м/с             | 1,67     |
| Ускорение подъема с грузом, м/с <sup>2</sup>  | 0,15     |
| Ускорение подъема без груза, м/с <sup>2</sup> | 0,25     |

Окончание табл. 2  
 Ending of table 2

| Параметр  | Значение |
|---|----------|
| Ускорение перемещения тележки, $\text{м/с}^2$     | 0,20     |
| Ускорение перемещения портала, $\text{м/с}^2$     | 0,20     |
| Время разгона с грузом, $\text{м/с}^2$            | 3,33     |
| Время разгона подъема без груза, $\text{м/с}^2$   | 4,00     |
| Время разгона перемещения тележки, $\text{м/с}^2$ | 6,67     |
| Время разгона перемещения портала, $\text{м/с}^2$ | 8,33     |
| Расстояние разгона подъема с грузом, м            | 0,83     |
| Расстояние разгона подъема без груза, м           | 2,00     |
| Расстояние разгона перемещения тележки, м         | 4,44     |
| Расстояние разгона перемещения портала, м         | 6,94     |
| Граница короткого движения подъема с грузом, м    | 1,67     |
| Граница короткого подъема без груза, м            | 4,00     |
| Граница короткого перемещения тележки, м          | 8,89     |
| Граница короткого перемещения портала, м          | 13,89    |
| Время наложения/освобождения спредера, с          | 20,00    |

Блок-схема алгоритма разработанной имитационной модели в части укладки контейнеров в штабель представлена на рис. 5.

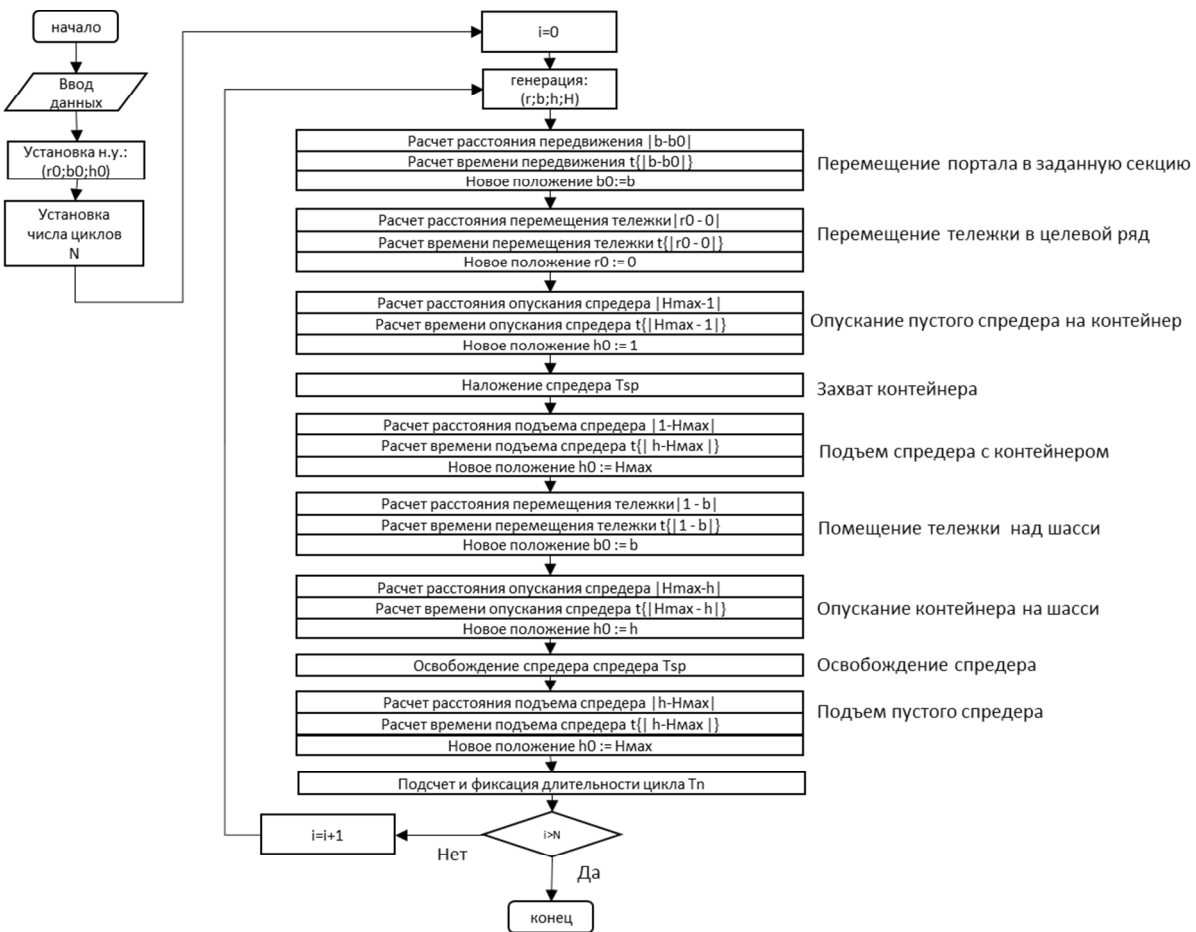


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета производительность укладки  
 Fig. 5. Block diagram of the algorithm for calculating the laying capacity

Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Radchenko A. A., Semenov A. D. Clarification of operational costs taking into account container handling system and equipment characteristics

Для моделирования выборки контейнеров из штабеля используется несколько более сложный алгоритм, предполагающий перемещение блоки-

рующих доступ контейнеров и использующий измененный порядок выполнения движения (рис. 6).

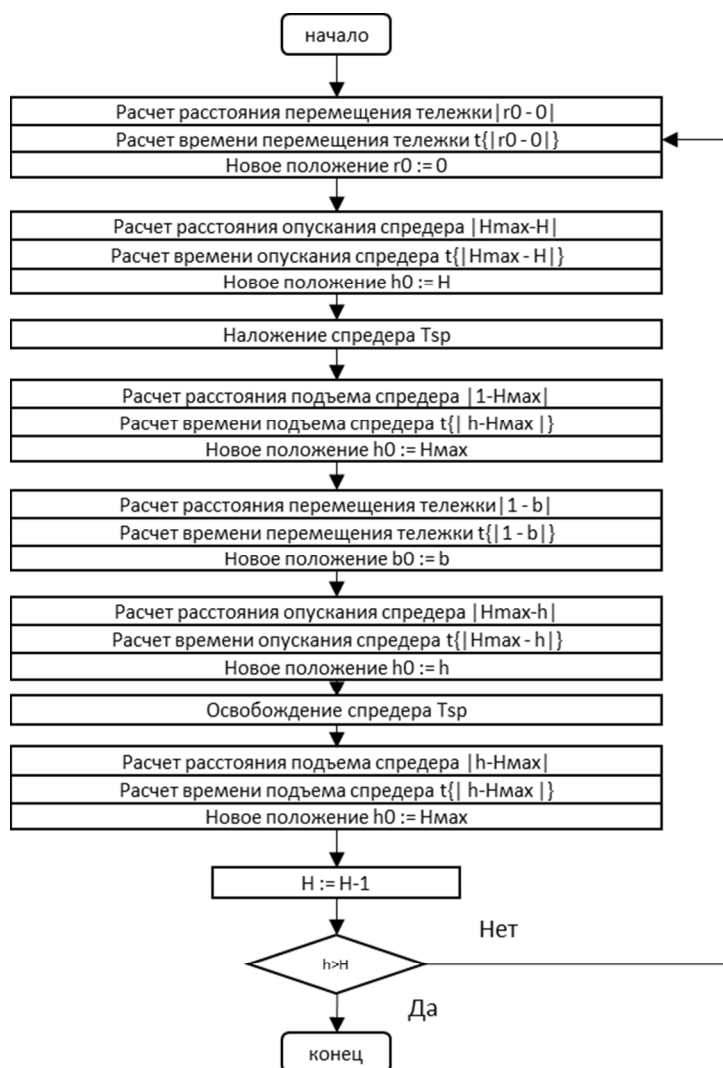


Рис. 6. Блок-схема алгоритма выборки контейнера

Fig. 6. Block diagram of the container sampling algorithm

### Результаты исследования

Результатом моделирования является оценка случайной величины – среднего времени цикла обработки контейнера. Пример полученных данных приведен на рис. 7.

Результаты экспериментов с моделью свидетельствуют о том, что часовая производительность укладки в штабель типового складировующего перегружателя типа RTG на штабеле с параметрами, приведенными в табл. 1, составляет в среднем около 18 движений в час. Распределение частоты значений этой характеристики приведено на рис. 8. При этом без учета времени разгона/торможения

(в предположении о движении с постоянной максимальной скоростью) производительность достигает значения 24 движений в час.

При снижении длины штабеля с 40 до 20 контейнеров часовая производительность за счет более короткого расстояния перемещения портала увеличивается до 19 контейнеров.

Процедура выборки контейнеров отличается тем, что контейнер не только не ставится на поверхность уже имеющегося штабеля, но и требует перемещения всех блокирующих доступ к нему. Исходя из этого, при тех же характеристиках штабеля и скоростей движения производительность



выборки из штабеля составляет в среднем 7 кон-  
тейнеров при длине штабеля 40 секций. Распреде-

ление соответствующей производительности пред-  
ставлено на рис. 9.

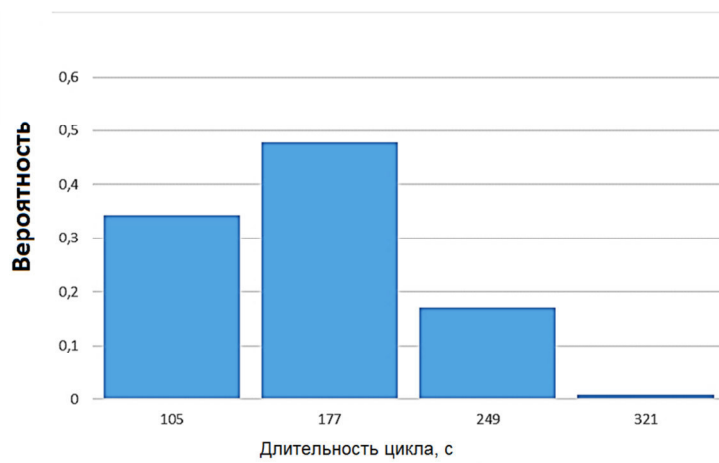


Рис. 7. Гистограмма распределения времени цикла укладки

Fig. 7. Histogram of the distribution of the laying cycle time



Рис. 8. Распределения часовой производительности укладки

Fig. 8. Distribution of hourly stacking performance

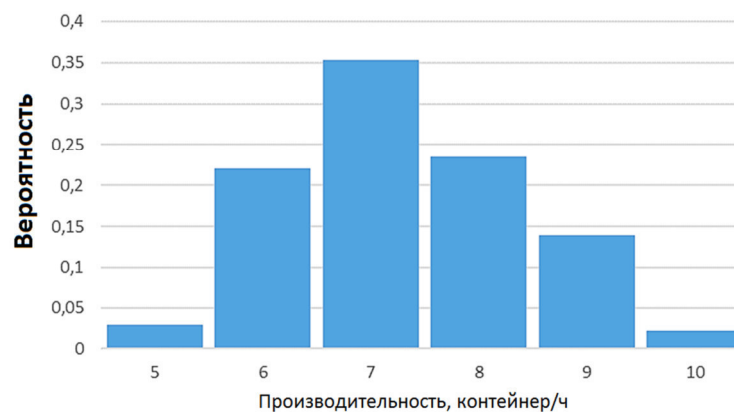


Рис. 9. Распределение часовой производительности выборки контейнеров

Fig. 9. Distribution of hourly container sampling capacity

При этом снижение длины штабеля до 20 секций увеличивает производительность менее чем на один контейнер в час. Такое малое изменение свидетельствует о том, что основную трудоемкость этой операции составляет «рытье» штабеля.

### Обсуждение результатов

Как следует из полученных результатов, складской перегружатель выполняет в час около 18 движений при помещении контейнеров в штабель и около 7 при выборке из него. Если через терминал проходит  $N$  контейнеров, укладка в штабель выполняется с производительностью  $P_1$ , а выборка – с производительностью  $P_2$ , то общее время этих операций составляет величину  $T = \frac{N}{P_1} + \frac{N}{P_2}$ . Таким образом, про-

изводительность «коммерческих», т. е. оплачиваемых, движений есть  $P = \frac{N}{T} = \frac{N}{\frac{N}{P_1} + \frac{N}{P_2}} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}$ .

В рассматриваем случае  $P = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} = \frac{18 \cdot 7}{18 + 7} = 5$ , что

значительно отличается от предполагаемых 30 движений в час. Этот факт следует учитывать при проведении финансово-экономических расчетов, связанных с эксплуатационными расходами подъемно-транспортного оборудования.

Кроме того, представленный метод может быть использован для более точной оценки производительности технологического оборудования для целей планирования и контроля выполнения операций. Так, предложенный метод может быть использован для оценки рисков выполнения заданного грузопотока и выработки множества решений для сокращения этих рисков. Также он может быть использован для оценки эффективности работы терминала, поскольку предоставляет данные о допустимых границах работы перегрузочного оборудования.

Описанный в работе метод может также применяться для целей проектирования морских и назем-

ных контейнерных терминалов. Он позволяет провести анализ чувствительности проектируемой системы, что, в свою очередь, дает возможность для принятия более рациональных решений.

Вместе с тем представленный метод необходимо дополнить более точными методами оценки трудоемкости выборки контейнеров из штабеля [10, 11]. Это позволит расширить применимость метода для технологического оборудования различного типа.

Отметим, что в описанном подходе все контейнеры считаются одинаковыми. В данной работе не рассматривался случай контейнерного штабеля, состоящего из секций, выделенных под определенные типы контейнеров. В практике работы контейнерных терминалов такое разделение называется *стратегиями складирования*. Анализ подобных стратегий является задачей последующих работ.

### Выводы

1. В работе была определена основная последовательность технологических движений перегрузочного оборудования контейнерного терминала, а также основные зависимости, определяющие время выполнения операций.

2. Разработанная имитационная модель позволяет оценить распределение производительности операций.

3. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что для типового контейнерного штабеля длиной 40 секций производительность перегрузочного оборудования на укладке контейнеров составляет 18 движений в час, а на выборке – 7 движений в час.

4. Полученные данные подтверждают, что коммерческая производительность оборудования в 2,5 раза ниже значений, обычно принимаемых в расчет при выполнении финансово-экономических расчетов.

5. Разработанный подход может быть использован для целей планирования и контроля выполнения операций на контейнерном терминале, а также для анализа чувствительности решений при проектировании морского контейнерного терминала.

### Список источников

1. Gharehgozli A., Roy D., de Koster R. Sea container terminals: New technologies and OR models // *Maritime Economics and Logistics*. 2016. N. 18. P. 103–140. <https://doi.org/10.1057/mel.2015.3>.
2. Кузнецов А. Л., Борович А. З., Радченко А. А. Стратегия управления штабелем контейнерного терминала // *Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова*. 2020. Т. 12. № 5. С. 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.
3. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Галин А. В., Семенов А. Д. Методика анализа технологических операций // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2018. № 3. С. 23–27.
4. СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Стандартинформ, 2018. 226 с.
5. РД 31.3.05-97. Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Минтранс РФ, 1998. 177 с.
6. Neugebauer J., Heilig L., Voß S. Digital twins in seaports: current and future applications // *International Conference on Computational Logistics*. Cham, Springer Nature Switzerland, 2023. P. 202–218.
7. Arango-Pastrana C. A. A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport // *Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)*. 2019. V. 35. Iss. 64. P. 96–109.

8. Tan C., Yan W., Yue J. Quay crane scheduling in automated container terminal for the trade-off between operation efficiency and energy consumption // *Advanced Engineering Informatics*. 2021. N. 48. P. 101285.

9. Nikolaou P., Dimitriou L. Lessons to be learned from top-50 global container port terminals efficiencies: A multi-period DEA-tobit approach // *Maritime Transport Research*. 2021. V. 2. P. 100032.

10. Jonker T., Duinkerken M. B., Yorke-Smith N., de Waal A., Negenborn R. R. Coordinated optimization of equipment operations in a container terminal // *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021. V. 33. P. 281–311.

11. Huang X., Dai X., Luo Y., Wang Y. Design of container terminal handling system based on index forecast and economic evaluation // *Journal of Coastal Research*. 2019. N. 94. P. 377–384.

## References

1. Gharehgozli A., Roy D., de Koster R. Sea container terminals: New technologies and OR models. *Maritime Economics and Logistics*, 2016, no. 18, pp. 103-140. <https://doi.org/10.1057/mel.2015.3>.

2. Kuznetsov A. L., Borevich A. Z., Radchenko A. A. Strategiiia upravleniia shtabelem konteinerenogo terminala [Container Terminal Stack Management Strategy]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 853-860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.

3. Kuznetsov. A. L., Kirichenko A. V., Galin A. V., Semenov A. D. Metodika analiza tekhnologicheskikh operatsii [The methodology of the analysis of technological operations]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiya*, 2018, no. 3, pp. 23-27.

4. SP 350.1326000.2018. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniia morskikh portov [SP 350.1326000.2018 Standards of technological design of seaports]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 226 p.

5. RD 31.3.05-97. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniia morskikh portov [WD 31.3.05-97. Standards of technological design of seaports]. Moscow, Mintrans RF, 1998. 177 p.

6. Neugebauer J., Heilig L., Voß S. Digital twins in seaports: current and future applications. *International Conference on Computational Logistics*. Cham, Springer Nature Switzerland, 2023. Pp. 202-218.

7. Arango-Pastrana C. A. A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)*, 2019, vol. 35, iss. 64, pp. 96-109.

8. Tan C., Yan W., Yue J. Quay crane scheduling in automated container terminal for the trade-off between operation efficiency and energy consumption. *Advanced Engineering Informatics*, 2021, no. 48, p. 101285.

9. Nikolaou P., Dimitriou L. Lessons to be learned from top-50 global container port terminals efficiencies: A multi-period DEA-tobit approach. *Maritime Transport Research*, 2021, vol. 2, p. 100032.

10. Jonker T., Duinkerken M. B., Yorke-Smith N., de Waal A., Negenborn R. R. Coordinated optimization of equipment operations in a container terminal. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2021, vol. 33, pp. 281-311.

11. Huang X., Dai X., Luo Y., Wang Y. Design of container terminal handling system based on index forecast and economic evaluation. *Journal of Coastal Research*, 2019, no. 94, pp. 377-384.

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 17.11.2023; принята к публикации 05.03.2024  
The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 05.03.2024

## Информация об авторах / Information about the authors

**Александр Львович Кузнецов** — доктор технических наук, профессор; профессор кафедры портов и грузовых терминалов; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Александр Викторович Кириченко** — доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой портов и грузовых терминалов; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Alexander L. Kuznetsov** — Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ports and Cargo Terminals; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Alexander V. Kirichenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Ports and Cargo Terminals; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Анна Александровна Радченко** – старший преподаватель кафедры портов и грузовых терминалов; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Anna A. Radchenko** – Senior Lecturer of the Department of Ports and Cargo Terminals; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; kaf\_pgt@gumrf.ru

**Антон Денисович Семенов** – аспирант кафедры портов и грузовых терминалов; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; asemyonov054@gmail.com

**Anton D. Semenov** – Postgraduate Student of the Department of Ports and Cargo Terminals; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; asemyonov054@gmail.com

