



Прогноз операционного взаимодействия на контейнерных площадках



Алексей МАКОВСКИЙ

Alexey S. MAKOVSKY

Объектом изучения в статье выступает контейнерная площадка с имитационным моделированием взаимодействия ее основных элементов. Автором предлагается рассматривать операции по переработке контейнеров как марковский процесс с поглощением. Приведены алгоритм и результаты моделирования работы площадки, даны рекомендации по планированию технического обслуживания, а также шкала оценки рисков, связанных с задержками отправки контейнерных грузов. В совокупности представленный материал помогает руководителю процесса определить не только реальный потенциал перерабатывающих мощностей, но и прогнозировать возможные дополнительные затраты или неординарные для обычной практики ситуации.

Ключевые слова: транспортно-грузовой комплекс, автомобильный транспорт, железная дорога, логистика, надежность, контейнерный терминал, имитационное моделирование, прогноз, планирование, отказы, марковский процесс.

Маковский Алексей Константинович — ассистент кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

На рынке перевозок транспортно-грузовые комплексы для контейнеров представляют собой наиболее бурно развивающееся сегодня направление. Ежегодный прирост объемов контейнерных грузов на некоторых маршрутах достигает 20%. С участием железнодорожного и автомобильного транспорта осуществляется около 95% внутреннего грузооборота России. Поэтому согласованная работа грузовых терминалов играет все более важную роль, а такие ее параметры, как сроки доставки продукции, качество обслуживания клиентов, стали для рыночных отношений ключевыми.

К сожалению, сейчас техническое оснащение контейнерных терминалов на железнодорожных станциях не соответствует современным требованиям. Большое количество эксплуатируемого оборудования уже превысило срок своего нормативного использования. И подобные факторы, безусловно, негативно сказываются на эффективности терминалов. В качестве иллюстрации сказанного можно привести такой характерный пример: только за первое полугодие 2012 года упущенная выгода терминала на станции Кунцево-2 в Москве составила 1542,5 тыс. руб., а средний про-

стой крана по причине неисправностей – 758 часов.

В сложившейся ситуации на первый план выходят именно задачи по прогнозированию и предупреждению технических сбоев при переработке контейнеров. На рис. 1 представлена схема типовой контейнерной площадки по переработке крупнотоннажных контейнеров, которая оборудована двумя погрузочно-разгрузочными механизмами (ПРМ).

Каждый из элементов контейнерной площадки, показанной на рис. 1, имеет свои показатели надежности, которые зависят от специфики работы. Так, например, для железнодорожного транспорта характерно движение по твердым ниткам графика, что свидетельствует о малой неравномерности при подаче вагонов под грузовые операции. Напротив, автомобильный транспорт обладает высоким уровнем неравномерности поступления на площадку за счет влияния на него внешних обстоятельств: дорожных условий, наличия определенных путей подъезда, местного регулирования движения грузового транспорта и т. д. На работу ПРМ оказывают свое воздействие метеорологические условия, нормативный срок службы механизма и др. Независимость наступления такого рода обстоятельств создает немалое количество ситуаций, которые необходимо изучать и знать, чтобы адекватно представлять в управленческих моделях.

Проведем анализ функционирования элементов контейнерной площадки. Для уменьшения объема вычислений введем следующее предположение: контейнерная площадка не может быть абсолютно пустой и абсолютно полной, в любой момент времени существует возможность как разместить на ней контейнер, так и взять его с места хранения для осуществления погрузки на транспортное средство.

Четыре элемента контейнерной площадки (автомобиль, вагон, кран № 1, кран № 2) могут независимо друг от друга принимать одно из двух возможных состояний: 0 – рабочее; 1 – нерабочее.

Автомобиль:

0 – автомобиль находится на фронте погрузки-выгрузки для осуществления грузовых операций;

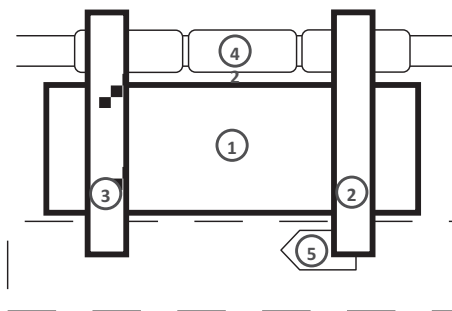


Рис. 1. Схема контейнерной площадки:
1 – место для хранения контейнеров; 2 – ПРМ № 1;
3 – ПРМ № 2; 4 – поданный состав; 5 – автомобиль.

1 – автомобиль на фронте погрузки-выгрузки отсутствует или грузовые операции с ним уже произведены.

Кран:

0 – кран исправен;

1 – кран неисправен.

Вагон:

0 – вагон подан на фронт погрузки-выгрузки для осуществления грузовых операций;

1 – вагон не подан на фронт погрузки-выгрузки или грузовые операции с ним уже произведены.

Таким образом, общее количество возможных комбинаций совокупности работоспособности и неработоспособности элементов является размещением с повторениями (из n по k), что представляет собой упорядоченный набор из k различных элементов некоторого n -элементного множества:

$$\overline{A}(n, k) = \overline{A}_n^k = n^k.$$

В нашем примере:

$$\overline{A}_n^k = \overline{A}_2^4 = 2^4 = 16.$$

В соответствии с расчетом всего насчитывается 16 возможных состояний, в которых может находиться контейнерная площадка (таблица 1).

В процессе функционирования контейнерная площадка пребывает в том или ином состоянии, которое изменяется с течением времени. Введем следующие допущения:

1. Процесс перехода от одного этапа к другому происходит скачкообразно.

2. Вероятность перехода в каждое последующее состояние зависит только от пре-



Таблица 1

Варианты возможных состояний контейнерной площадки

№ п/п	Код	Описание
1	(0,0,0,0)	Автомобиль и состав готовы к осуществлению грузовых операций. Оба крана работают.
2	(0,0,1,0)	Автомобиль и состав готовы к осуществлению грузовых операций. Один из кранов не работает.
3	(0,1,0,0)	Автомобиль и состав готовы к осуществлению грузовых операций. Один из кранов не работает.
4	(0,1,1,0)	Автомобиль и состав готовы к осуществлению грузовых операций. Оба крана не работают.
5	(0,0,0,1)	Автомобиль готов для осуществления грузовых операций любым из двух кранов. Грузовые операции с вагонами проводиться не могут.
6	(0,0,1,1)	Автомобиль готов для осуществления грузовых операций одним из кранов. Грузовые операции с вагонами проводиться не могут.
7	(0,1,0,1)	Автомобиль готов для осуществления грузовых операций одним из кранов. Грузовые операции с вагонами проводиться не могут.
8	(0,1,1,1)	Автомобиль ожидает погрузочно-разгрузочных операций.
9	(1,0,0,0)	Вагоны готовы для осуществления грузовых операций любым из кранов. Грузовые операции с автомобилями проводиться не могут.
10	(1,0,1,0)	Вагоны готовы для осуществления грузовых операций одним из кранов. Грузовые операции с автомобилями проводиться не могут.
11	(1,1,0,0)	Вагоны готовы для осуществления грузовых операций одним из кранов. Грузовые операции с автомобилями проводиться не могут.
12	(1,1,1,0)	Вагоны ожидают погрузочно-разгрузочных операций.
13	(1,0,0,1)	Оба крана ожидают подачи автомобилей или вагонов для выполнения грузовых операций.
14	(1,0,1,1)	Кран ожидает подачи автомобилей или вагонов для выполнения грузовых операций.
15	(1,1,0,1)	Кран ожидает подачи автомобилей или вагонов для выполнения грузовых операций.
16	(1,1,1,1)	Автомобили и вагоны не готовы к осуществлению с ними грузовых операций. Оба крана не работают.

Таблица 2

Поглощающие состояния системы

№	Код	Описание
4	(0,1,1,0)	Автомобиль и состав готовы к осуществлению грузовых операций. Оба крана не работают.
8	(0,1,1,1)	Автомобиль ожидает погрузочно-разгрузочных операций. Оба крана не работают.
12	(1,1,1,0)	Вагоны ожидают погрузочно-разгрузочных операций. Оба крана не работают.
16	(1,1,1,1)	Автомобили и вагоны не готовы к осуществлению с ними грузовых операций. Оба крана не работают.

дыдущего состояния (отсутствие последствий).

Эти допущения позволяют интерпретировать процесс как дискретную марковскую цепь.

В шестнадцати состояниях, описанных в таблице 1, наглядно видно, что, попав в некоторые из состояний, система не может самопроизвольно вернуться к более «работоспособному» для нее варианту без дополнительного вмешательства извне (так, поломка крана не является штатным

признаком его работы). То есть остановка процесса переработки контейнеров на терминале сопряжена с двумя последующими событиями:

а) способным к самопроизвольному восстановлению процесса (например, подача вагона или автомобиля для проведения грузовых операций);

б) не способным к самопроизвольному восстановлению процесса (выход из строя обоих кранов).

Состояния, в которых процесс модели-

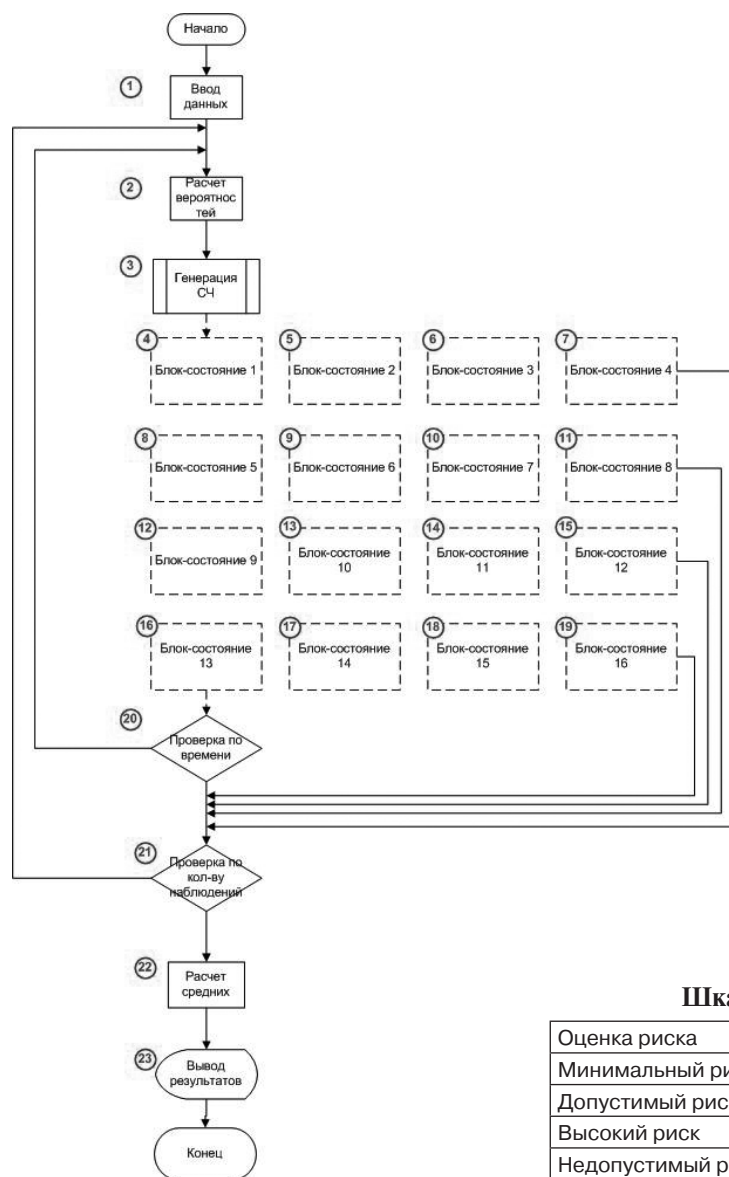


Рис. 2. Схема-алгоритм работы контейнерной площадки.

Таблица 3

Шкала оценки риска

Оценка риска	Значение K_p
Минимальный риск	0–0,1
Допустимый риск	0,1–0,3
Высокий риск	0,3–0,6
Недопустимый риск	>0,6

рования останавливается без возможности самопроизвольного восстановления, называются «поглощающие».

Проведя анализ состояний, представленных в таблице 1, можно заметить, что в решаемой там задаче поглощающими следует считать четыре состояния (таблица 2).

В состояниях 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15 обработка контейнеров возможна с использованием одного крана.

Создадим алгоритм, описывающий процесс переработки контейнеров на терминале (рис. 2), и затем составим программу для реализации имитационной модели.

В качестве периода моделирования целесообразно принять интервал времени в 240 часов, что соответствует 10 суткам. Данный интервал обозначен в правилах перевозок грузов как минимально необходимый для подачи заявки на транспортную операцию.

Результаты моделирования работы системы за 240 часов представлены на рис. 3.

На практике для оценки риска часто используют упрощенные коэффициентные методы — например, с помощью коэффициента риска K_p , который в нашем случае можно принять как отношение времени вынужденного простоя к общему времени работы терминала:

$$K_p = T_{\text{п}} / T_p,$$





Рис. 3. Результаты моделирования работы системы за 240 часов.

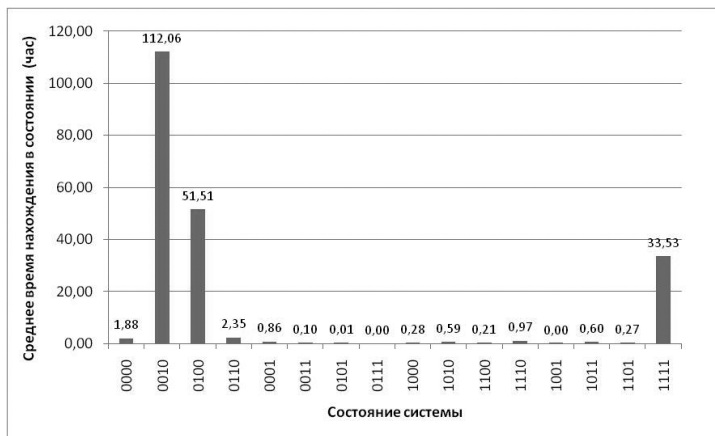


Рис. 4. Кривая коэффициента риска K_p во времени.

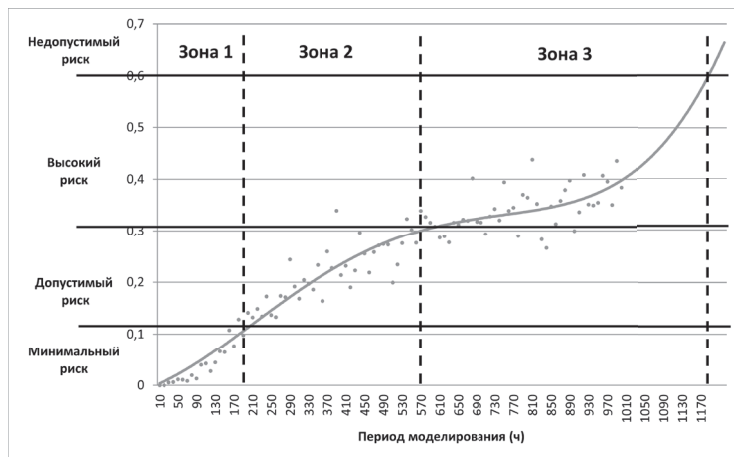


Таблица 4

Периодичность плановых мероприятий технического обслуживания и ремонта погрузочно-разгрузочных машин

Наименование машин	Обслуживание		Вид ремонта			
	ЕТО	ТО	ТР		КР	
	сутки	сутки	годы	тыс.т	годы	тыс. т
Краны козловые контейнерные грузо-подъемностью от 15 до 50 т	ежесменно	20	1	200	10	2000
Погрузчики для переработки крупно-тоннажных контейнеров	ежесменно	20	1	500	3	1500

где T_n – максимально возможная величина простоев за моделируемый период работы терминала; T_p – моделируемый период работы.

Как видно из приведенной зависимости, коэффициент риска включает в свою конструкцию наиболее важные обобщенные характеристики, по которым однозначно можно сделать вывод о приемлемости последствий проводимых операций.

Шкала оценки риска, в основе которой лежат значения показателя K_p , имеет четы-

ре градации: от минимального до недопустимого (таблица 3).

Таким образом, для рассматриваемого случая есть основание заключить, что K_p при поглощающем процессе составит:

$$K_p = 36,85 / 240 = 0,15.$$

Что соответствует зоне с допустимым риском.

На рис. 4 показана зависимость коэффициента риска от времени с начала моделируемого периода.

Из рисунка следует, что можно выделить четыре зоны работы:

- зона 1 ($t < 170$ ч);
- зона 2 ($170 \text{ ч} < t < 550$ ч);
- зона 3 ($550 \text{ ч} < t < 1170$ ч);
- зона 4 ($1170 \text{ ч} < t$).

Принимая во внимание сказанное ранее, отметим, что наибольший риск задержки может быть вызван одновременным выходом из строя грузоподъемного оборудования.

В механизированных дистанциях с учетом вероятности рисков установлены следующие виды профилактических плановых мероприятий:

- ежесменное техническое обслуживание (ЕТО);
- сезонное обслуживание (СО);
- периодическое техническое обслуживание (ТО);
- текущий ремонт (ТР);
- капитальный ремонт (КР).

Периодичность плановых мероприятий технического обслуживания и ремонта приведена в таблице 4.

Периодическое техническое обслуживание является основным звеном в планово-предупредительной системе. Оно ведется выделенными для этого рабочими из состава ремонтного контингента с участием машиниста крана или водителя погрузчика [1]. Сопоставляя данные в табли-

це 4 с графиком отказов, получим, что при проведении ТО с периодичностью 1 раз в 20 дней терминал постоянно пребывает в пограничном состоянии — между зонами с допустимым и высоким рисками.

С учетом подобного расклада для снижения уровня риска необходимо скорректировать периодичность проведения осмотров до 170 часов, что при круглосуточной работе терминала составляет 7 суток. То есть это — рекомендуемая периодичность ТО.

Организованное подобным образом моделирование работы контейнерной площадки дает руководителю терминала возможность оценивать техническое состояние своих перерабатывающих мощностей и вместе с тем прогнозировать моменты возникновения дополнительных затрат, критических или неординарных ситуаций, требующих вмешательства и коррекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по эксплуатации погрузочно-разгрузочных машин. Утверждена 20 августа 2001 г. № ЦММ-20. — М.: Транспорт, 2002. — 144 с.
2. Ревюз Д. Цепи Маркова. — М.: РФФИ, 1997. — 432 с.
3. Шенон Р. Имитационное моделирование систем — Искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 420 с.
4. Токаренко Г. С. Методы оценки рисков // Финансовый менеджмент. — 2006. — № 5. — С.129–138. ●

FORECASTING OF OPERATION INTERACTION AT CONTAINER YARD

Makovsky, Alexey C. — assistant lecturer at the department of logistics transport systems and technology of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The article describes a study on simulation of interaction of the main elements of a container yard. The author suggests considering operation of container handling as an absorbing Markov process. The article contains algorithm and the results of simulation of operations at container yard,

recommendations for planning of maintenance works, as well as a scale of assessment of the risks related to delays in container goods dispatch. The contents are deemed to help a manager to determine the real capacity of handling resources, to forecast probable supplementary costs or extraordinary situations.

Key words: transport cargo complex, motor cars, railway, logistics, reliability, container yard, simulation, forecasting, planning, scheduling, faults, Markov process.

REFERENCES

1. Instruction on operation of loading-and-unloading machines [*Instruktsiya po ekspluatatsii pogruzochno-razgruzochnykh mashin*]. Adopted on August, 20, 2001. Moscow, Transport publ., 2002. 144 p.
2. Revuz D. Markov chains [*Russian title: Tsepi Markova*]. Moscow, RFFI, 1997. 432 p.
3. Shannon, Robert E. Systems Simulation: The Art and Science [*Russian title: Imitatsionnoe modelirovanie sistem — iskusstvo i nauka*]. Moscow, Mir publ., 1978, 420 p.
4. Tokarenko G. S. Risk assessment methods [*Metody otsenki riskov*]. Finansovyy menedzhment, 2006, № 5, pp.129–138.

Координаты автора (contact information): Маковский А. К. (Makovsky A. C.) — alexey.makovskiy@gmail.com.

Статья поступила в редакцию / article received 26.11.2012
Принята к публикации / article accepted 18.12.2012

